

①



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

⑪

Numéro de publication:

0 239 820
B1

⑫

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

⑬

Date de publication du fascicule du brevet:
18.10.89

⑭

Int. Cl.: **G 04 C 11/00, G 04 C 10/00**

⑮

Numéro de dépôt: **87103046.6**

⑯

Date de dépôt: **04.03.87**

⑰

Convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique.

⑱

Priorité: **26.03.86 CH 1247/86**

⑲

Date de publication de la demande:
07.10.87 Bulletin 87/41

⑳

Mention de la délivrance du brevet:
18.10.89 Bulletin 89/42

㉑

Etats contractants désignés:
CH DE FR GB LI

㉒

Documents cités:
DE-A- 2 118 057
DE-A- 2 125 224
FR-A- 2 138 117
FR-A- 2 249 378
US-A- 3 914 706

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 8, no. 265
(P-318)[1702], 5 décembre 1984; & JP-A-59 135 388

㉓

Titulaire: **ASULAB S.A., Faubourg du Lac 6,**
CH-2501 Bienne (CH)

㉔

Inventeur: **Tu Xuan, Mai, Blancherie 34,**
CH-1022 Chavannes (CH)
Inventeur: **Taghezout, Daho, Tombet 20,**
CH-2034 Peseux (CH)

㉕

Mandataire: **de Montmollin, Henri et al, ICB Ingénieurs**
Conseils en Brevets SA Passage Max. Meuron 6,
CH-2001 Neuchâtel (CH)

EP 0 239 820 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

La présente invention a pour objet un convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique.

Les piles et les batteries utilisées pour alimenter des dispositifs portables, tels que des pièces d'horlogerie électroniques, des appareils de photo ou des récepteurs de radio, présentent de nombreux inconvénients. En particulier, leur durée de vie est limitée, ce qui impose leur remplacement plus ou moins fréquent, et leur étanchéité n'est souvent pas parfaite, ce qui peut provoquer des dégâts aux appareils qu'elles alimentent.

Il a été proposé de remplacer ces piles et ces batteries par des convertisseurs comportant un générateur rotatif d'énergie électrique entraîné en rotation par une source d'énergie mécanique.

Le brevet CH-B-597 636, par exemple, décrit une pièce d'horlogerie électronique alimentée en énergie électrique par un tel convertisseur. Dans ce convertisseur, la source d'énergie mécanique est constituée par un ressort de barillet du genre, bien connu, de ceux qui entraînent les pièces d'horlogerie mécaniques de petit volume, qui est relié à un dispositif de remontage manuel ou automatique.

Le générateur d'énergie électrique décrit dans ce brevet CH-B-597 636 comporte six aimants permanents fixés à un rotor entraîné en rotation par le ressort, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages. Il comporte également une bobine fixe, disposée à proximité du rotor, de manière que le déplacement des aimants permanents par rapport à cette bobine induise dans cette dernière une tension alternative.

Le convertisseur comporte en outre un circuit redresseur qui transforme la tension alternative produite par la bobine en réponse à la rotation des aimants en une tension redressée, et un condensateur de stockage et de filtrage qui emmagasine temporairement l'énergie électrique produite par le générateur et la restitue sous la forme d'une tension sensiblement continue.

La pièce d'horlogerie décrite dans ce brevet CH-B-597 636 comporte en outre des aiguilles d'affichage de l'heure qui sont également reliées au ressort par au moins une partie du train d'engrenages reliant ce ressort au rotor du générateur.

La vitesse moyenne de rotation des aiguilles, qui doit bien entendu avoir une valeur bien déterminée, est contrôlée par un circuit électronique de réglage de la vitesse moyenne de rotation du rotor du générateur.

Ce circuit de réglage est alimenté par la tension sensiblement continue présente aux bornes du condensateur de stockage mentionné ci-dessus. Il comporte des moyens de freinage électrique reliés en parallèle avec le condensateur de stockage, et un circuit de commande de ces moyens de freinage. Ces derniers sont constitués par une résistance de freinage et un interrupteur électronique reliés en série l'un avec l'autre.

Le circuit de commande des moyens de freinage comporte une source délivrant un signal de référence ayant une fréquence bien déterminée.

La source du signal de référence est constituée par un oscillateur à quartz relié à l'entrée d'un circuit divi-

seur de fréquence dont la sortie délivre le signal de référence sous la forme d'impulsions.

Le circuit de commande comporte en outre un compteur réversible, ou compteur-décompteur, dont l'entrée de décomptage reçoit le signal de référence et dont l'entrée de décomptage reçoit un signal de mesure ayant une fréquence égale à la fréquence de la tension alternative produite par la bobine, et donc proportionnelle à la vitesse de rotation du rotor.

Le compteur réversible produit un signal qui ferme l'interrupteur branché en série avec la résistance de freinage lorsque son contenu est supérieur à zéro, et qui ouvre cet interrupteur dans le cas contraire.

Les divers éléments du train d'engrenages sont dimensionnés de manière que si le rotor tournait en permanence à une vitesse telle que la fréquence du signal de mesure soit égale à celle du signal de référence, les aiguilles d'affichage de l'heure tourneraient à leur vitesse normale, c'est-à-dire un tour toutes les douze heures pour l'aiguille des heures, un tour par heure pour l'aiguille des minutes et, le cas échéant, un tour par minute pour l'aiguille des secondes.

Cette vitesse de rotation du rotor sera appelée vitesse de consigne V_c dans la suite de cette description.

Les éléments du convertisseur sont en outre dimensionnés de manière que si l'interrupteur est ouvert, c'est-à-dire si la résistance de freinage n'est pas reliée aux bornes du condensateur de stockage, le rotor est accéléré jusqu'à une vitesse supérieure à cette vitesse de consigne V_c en réponse au couple moteur qui lui est appliqué par le ressort par l'intermédiaire du train d'engrenages.

Les éléments du convertisseur sont également dimensionnés de manière que, si l'interrupteur est fermé, et que la résistance de freinage est donc branchée en parallèle avec le condensateur de stockage, le rotor est freiné jusqu'à une vitesse qui est, en moyenne, inférieure à la vitesse V_c en réponse au couple de freinage électrique causé par le branchement de la résistance de freinage en parallèle avec le condensateur de stockage.

Il est facile de voir que, dans ces conditions, la vitesse instantanée du rotor oscille de part et d'autre de cette vitesse de consigne V_c .

En effet, lorsque le contenu du compteur réversible est inférieur à zéro, l'interrupteur est ouvert et le rotor est accéléré. Lorsque sa vitesse devient supérieure à la vitesse de consigne V_c , la fréquence du signal de mesure devient supérieure à la fréquence du signal de référence. Le compteur réversible est donc incrémenté plus vite qu'il n'est décrémenté, et son contenu augmente. Lorsque ce contenu devient supérieure à zéro, le compteur réversible ferme l'interrupteur en série avec la résistance de freinage. Depuis cet instant, le rotor est donc freiné, et sa vitesse diminue.

Lorsque cette vitesse devient inférieure à la vitesse de consigne V_c , la fréquence du signal de mesure devient inférieure à celle du signal de référence. Le compteur réversible est donc décrémenté plus vite qu'il n'est incrémenté, et son contenu diminue. Lorsque ce contenu devient inférieure à zéro, le compteur réversible ouvre à nouveau l'interrupteur. Depuis cet instant, le rotor n'est donc plus freiné, sa vitesse augmente, et le processus décrit ci-dessus recommence.

Si elle est mesurée sur un temps suffisamment long, la vitesse moyenne du rotor est donc bien égale à la vitesse de consigne V_c .

Le rotor du générateur décrit ci-dessus présente le grave inconvénient d'avoir une grande inertie, ce qui le rend très sensible aux chocs de toutes natures que peut subir la pièce d'horlogerie. En outre, la bobine de ce générateur ne comporte pas de noyau, ce qui complique et renchérit sa fabrication et empêche de lui donner un nombre de spires élevé.

Pour éviter ces inconvénients, il est possible de remplacer le générateur décrit ci-dessus par celui qui est décrit dans la demande de brevet japonais JP-A-52-85 851, qui se prête beaucoup mieux à un emploi dans une pièce d'horlogerie.

Ce générateur ressemble aux moteurs pas à pas tels qu'ils sont couramment utilisés dans les pièces d'horlogerie électroniques. Il comporte un rotor comprenant un seul aimant bipolaire qui est couplé magnétiquement à une bobine par un stator.

Comme dans les moteurs pas à pas, le stator de ce générateur présente deux épanouissements polaires entourant presque complètement le rotor et terminant, chacun, une pièce polaire dont l'autre extrémité est reliée à l'une des extrémités du noyau de la bobine. Les épanouissements polaires sont séparés par des entrefers disposés symétriquement par rapport à l'axe du rotor.

Par contre, ce stator ne comporte pas les encoches, ou autres moyens, qui, dans les moteurs, servent à créer un couple de positionnement du rotor.

Dans un convertisseur tel que celui vient d'être décrit, les pertes par frottement mécanique des diverses parties mobiles entre elles et leurs paliers sont directement proportionnelles à la vitesse de consigne V_c du rotor. En outre, les pertes par hystérèse et par courants de Foucault dans le stator du générateur, lorsque ce dernier en comporte un, sont respectivement proportionnelles à cette vitesse de consigne V_c et à son carré.

Il est donc impératif de choisir pour cette vitesse de consigne V_c une valeur aussi faible que possible, pour que le rendement du convertisseur soit aussi élevé que possible, et que son autonomie, c'est-à-dire le temps pendant lequel il peut fonctionner sans que le ressort qui lui fournit l'énergie mécanique doive être remonté, soit aussi longue que possible.

Dans le convertisseur décrit par le brevet CH-B-597 636, la résistance de freinage reste enclenchée tant que le contenu du compteur-décompteur est plus grand que zéro. Il peut donc se produire que le rotor soit freiné sans interruption pendant un temps assez long, notamment si un choc angulaire l'a auparavant fortement accéléré.

Les instants d'enclenchement et de déclenchement de la résistance de freinage surviennent en outre de manière pratiquement aléatoire par rapport à la position angulaire du rotor. Il peut donc arriver, pendant plusieurs tours consécutifs du rotor, que la tension alternative produite par la bobine du générateur soit proche de zéro entre chacun de ces instants de déclenchement et l'instant d'enclenchement suivant, et que ce générateur ne fournisse donc aucune énergie électrique.

Pour éviter que la tension d'alimentation des circuits électroniques ne diminue trop dans de tels cas, il est nécessaire de dimensionner le convertisseur de manière que le générateur continue à fournir l'énergie électrique consommée par ces circuits même lorsque le rotor est freiné.

La vitesse de rotation du rotor lorsqu'il est freiné ne doit donc pas être choisie à une valeur trop faible, car sinon le nombre de spires de la bobine du générateur devrait être très élevé pour que la condition ci-dessus soit remplie. Cette bobine aurait alors un encombrement incompatible avec la place à disposition dans une pièce d'horlogerie de petit volume. Ou alors, si le diamètre de son fil est choisi suffisamment faible pour que cet encombrement ne soit pas trop grand, les difficultés techniques de sa fabrication, et donc son prix de revient, deviendraient très élevés.

Il est bien connu que la tension fournie par la bobine dépend non seulement du nombre de spires de cette dernière et de la vitesse de rotation du rotor, mais également du nombre de pôles de l'aimant permanent et de la quantité de flux magnétique produit par cet aimant et traversant la bobine. Cette dernière quantité est généralement appelée «flux couplé».

Il serait donc théoriquement possible d'augmenter ces deux derniers facteurs, ou au moins l'un d'entre eux, pour augmenter la tension produite par une bobine ayant un nombre de spires relativement faible en réponse à la tension d'un rotor tournant à une vitesse également faible.

Ces augmentations ne sont cependant pas pratiquement réalisables. D'une part, les aimants permanents multipolaires sont difficiles à réaliser, et donc chers. En outre, pour un matériau et un volume donnés, le produit du flux couplé par le nombre de paires de pôles de l'aimant diminue lorsque ce nombre de paires de pôles augmente.

D'autre part, l'augmentation du flux couplé nécessite une diminution de la largeur de l'entrefer séparant l'aimant permanent du stator qui l'entoure ou l'emploi d'un aimant ayant un champ coercitif plus élevé. Ces modifications entraînent un resserrement des tolérances qui peuvent être admises pour la fabrication du stator et de l'aimant, et donc une augmentation de leur prix de revient. En outre, ces modifications entraînent également une augmentation du couple de positionnement résiduel du rotor et des frottements de son axe dans ses paliers, ce couple et ces frottements étant causés par les inexactitudes qui existent toujours dans les dimensions et les positions relatives réelles de l'aimant et du stator. Enfin, ces modifications entraînent une augmentation des pertes d'origine magnétique dans le stator.

Toujours dans le but de pouvoir utiliser une bobine ayant un nombre de spires pas trop élevé et de pouvoir choisir pour la vitesse de rotation du rotor une valeur faible, il serait aussi théoriquement possible d'utiliser un redresseur multiplicateur de tension pour redresser la tension produite par la bobine. Mais de tels redresseurs comportent un grand nombre de condensateurs, qui sont des éléments encombrants. Pratiquement, il n'est possible d'utiliser, dans un dispositif tel que celui qui a été décrit ci-dessus, que des redresseurs simples ou, au plus, des redresseurs dits «doubleurs de tension».

Il découle de ce qui précède que la vitesse de rotation du rotor du générateur d'un convertisseur tel que celui qui est décrit par le brevet CH-B-597 636 lorsqu'il est freiné doit être choisie à une valeur relativement élevée. La vitesse de consigne V_c de ce rotor, qui doit bien entendu être supérieure à cette dernière, ne peut donc pas être choisie à une valeur arbitrairement basse.

Comme le rendement du convertisseur est d'autant plus grand que cette vitesse de consigne V_c est basse, cette dernière est choisie aussi proche que possible de la vitesse du rotor du générateur lorsqu'il est freiné. Il en découle que les éléments du convertisseur doivent être dimensionnés de manière que la vitesse du rotor du générateur lorsqu'il n'est pas freiné soit également proche de la vitesse de consigne V_c . Les variations de la vitesse instantanée du rotor autour de la vitesse de consigne V_c sont donc faibles.

Des considérations théoriques, qui ne seront pas reproduites ici, confirmées par des essais pratiques, ont montré que la vitesse de consigne V_c ci-dessus ne peut pas être inférieure à 8 à 10 tours par seconde si la bobine du générateur doit avoir un volume compatible avec le volume disponible dans une pièce d'horlogerie telle qu'une montre-bracelet, et si le diamètre du fil de cette bobine doit être compatible avec les exigences de fabrication en série et de faible prix de revient.

Ces mêmes considérations et ces mêmes essais montrent que, pour une telle vitesse de consigne, le rendement et l'autonomie du convertisseur sont insuffisants pour qu'il puisse être utilisé pratiquement dans une pièce d'horlogerie de petit volume.

Le convertisseur décrit par le brevet CH-B-597 636 présente encore un autre inconvénient, dû au fait que les moyens de freinage du rotor sont reliés directement en parallèle avec le condensateur de stockage de l'énergie électrique fournie par le générateur.

Lorsque l'interrupteur en série avec la résistance de freinage est fermé, le condensateur de stockage se décharge donc dans cette résistance, et une partie de l'énergie dissipée dans la résistance de freinage est fournie par le condensateur de stockage. Le freinage du rotor est donc moins efficace que si l'énergie dissipée dans la résistance de freinage était fournie uniquement par le générateur. En outre, le rendement global du convertisseur est diminué par le fait que l'énergie provenant du condensateur de stockage qui est dissipée dans la résistance de freinage est perdue pour l'alimentation des circuits à laquelle elle était destinée.

Le but de la présente invention est de proposer un convertisseur du genre de celui qui a été décrit ci-dessus, mais qui ne présente pas les inconvénients de celui-ci, c'est-à-dire un convertisseur dans lequel la vitesse de consigne du rotor du générateur peut être choisie à une valeur faible pour que le rendement et l'autonomie de ce convertisseur soient grands, dans lequel le nombre de spires de la bobine de ce générateur est cependant assez faible pour que cette bobine puisse être fabriquée dans un volume et à un prix bas, et dans lequel le générateur fournit en toutes circonstances, avec sécurité, une quantité d'énergie suffisante pour que la tension aux bornes du condensateur

de stockage reste en permanence assez élevée pour que les circuits électroniques alimentés par cette tension fonctionnent correctement.

Ce but est atteint par le convertisseur revendiqué.

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

— la figure 1 représente schématiquement une forme d'exécution du convertisseur selon l'invention;

— les figures 2a et 2b sont des diagrammes permettant d'expliquer le fonctionnement du convertisseur de la figure 1;

— la figure 3 représente schématiquement la variation du facteur de couplage entre le rotor et la bobine du générateur des figures 1 et 7, ou les bobines du générateur de la figure 5.

— la figure 4 représente le schéma d'une variante du circuit de commande des moyens de freinage de la figure 1;

— la figure 5 représente schématiquement une autre forme d'exécution du convertisseur selon l'invention;

— la figure 6 représente le schéma d'une variante du circuit de commande des moyens de freinage de la figure 5;

— la figure 7 représente schématiquement une autre forme d'exécution du convertisseur selon l'invention;

— la figure 8 représente schématiquement les couples exercés sur le rotor du générateur de la figure 7; et

— la figure 9 est un diagramme permettant d'expliquer le fonctionnement du convertisseur de la figure 7.

Le convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique représenté à la figure 1 est destiné à équiper une pièce d'horlogerie.

Il comporte une source d'énergie mécanique 1 constituée par un ressort de barillet qui n'a été représenté que de manière schématique car il est du même genre que ceux qui sont utilisés dans les pièces d'horlogerie mécanique et qui sont bien connus. Ce ressort est couplé à un mécanisme de remontage manuel ou automatique qui n'a pas été représenté car il peut être semblable à n'importe lequel des nombreux mécanismes de ce genre qui sont bien connus en horlogerie.

Le convertisseur de la figure 1 comporte également un générateur d'énergie électrique 2, semblable à celui qui est décrit par la demande de brevet JP-A-5 285 851 déjà mentionnée.

Ce générateur 2, qui est représenté schématiquement, ressemble aux moteurs pas à pas tels qu'ils sont couramment utilisés dans les pièces d'horlogerie électroniques. Comme ces moteurs, il comporte un rotor 3 comprenant un aimant permanent bipolaire 3a ayant un axe d'aimantation sensiblement perpendiculaire à l'axe de rotation 3b du rotor 3. Pour éviter de compliquer inutilement le dessin, le rotor 3 n'a pas été représenté en détail dans les figures où il est simplement symbolisé par l'aimant 3a.

Le rotor 3, et donc l'aimant 3a, sont entraînés en rotation autour de l'axe 3b par le ressort 1, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages 4 symbolisé par un trait mixte.

Le générateur 2 comporte également un stator 5 qui couple magnétiquement l'aimant 3a à une bobine 6.

Comme dans certains moteurs pas à pas, le stator 5 présente deux entrefers 5a et 5b disposés symétriquement par rapport à l'axe 3b du rotor 3 et qui séparent l'un de l'autre deux épanouissements polaires terminant chacun une pièce polaire dont l'autre extrémité est reliée à l'une des extrémités du noyau de la bobine 6. Les entrefers 5a et 5b peuvent d'ailleurs être remplacés par des parties métalliques ne formant qu'une pièce avec le reste du stator et dont les dimensions sont telles qu'elles ont une réluctance très élevée.

Par contre, le stator 5 ne comporte aucun des moyens tels que des encoches ménagées dans la paroi des épanouissements polaires, qui sont destinés, dans les moteurs pas à pas, à créer un couple de positionnement du rotor.

Le convertisseur comporte en outre un circuit redresseur 7 qui transforme la tension alternative produite par la bobine 6 en réponse à la rotation de l'aimant 3a en une tension redressée, et un condensateur de stockage 8 qui filtre cette tension redressée et qui emmagasine temporairement l'énergie électrique produite par le convertisseur.

Le redresseur 7 n'a pas été représenté en détail, car il peut être semblable à n'importe lequel des redresseurs qui sont bien connus des spécialistes. Il peut être, par exemple, un simple redresseur en pont, ou un redresseur doubleur de tension. Dans ce dernier cas, le condensateur 8 peut être avantageusement constitué par les deux condensateurs qui font partie intégrante de ce genre de redresseur.

Les circuits électroniques du convertisseur de la figure 1, qui seront décrits ci-dessous, sont alimentés par la tension sensiblement continue présente aux bornes du condensateur 8, par des connexions qui n'ont pas été représentées.

Il est évident que ni la borne 8a ni la borne 8b du condensateur 8 n'est au même potentiel électrique que la borne 6a ou la borne 6b de la bobine 6.

Dans la suite de cette description, il sera admis à titre d'exemple non limitatif que le potentiel de la borne 6a de la bobine 6 est le potentiel de référence du convertisseur ou, en d'autres termes, que cette borne 6a est reliée à la masse du convertisseur. Il sera également admis que le redresseur 7 est agencé de manière que la tension présente aux bornes 8a et 8b du condensateur 8 soit sensiblement symétrique par rapport à ce potentiel de référence, les potentiels des bornes 8a et 8b étant respectivement négatif et positif par rapport à ce potentiel de référence.

De même, dans la description des circuits logiques qui va suivre, les points dont le potentiel sera sensiblement égal à celui de la borne 8a ou de la borne 8b seront respectivement décrits comme étant à l'état logique «0» et à l'état logique «1».

La pièce d'horlogerie équipée du convertisseur de la figure 1 comporte en outre des aiguilles 9 d'affichage de l'heure. Elle peut également comporter un mécanisme de calendrier, ou d'autres mécanismes annexes.

Les aiguilles 9 et, le cas échéant, le mécanisme annexe, sont également reliés au ressort 1 et au rotor 3 par au moins une partie du train d'engrenages 4.

La vitesse moyenne de rotation des aiguilles 9, qui doit bien entendu avoir une valeur bien déterminée, est contrôlée par un circuit 10 de réglage de la vitesse de rotation du rotor 3.

Ce circuit de réglage 10 comporte des moyens de freinage électrique 11 du rotor 3 et un circuit de commande 12 de ces moyens de freinage 11.

Dans cet exemple, ces moyens de freinage 11 comportent une résistance de freinage 13 et un interrupteur électronique 14 constitué par une porte de transmission qui est bloquée ou conductrice selon que son électrode de commande 14a est respectivement à l'état logique «0» ou «1».

Ces moyens de freinage 11 sont branchés directement aux bornes de la bobine 6 et non pas aux bornes du condensateur 8 de stockage de l'énergie électrique comme dans le convertisseur décrit par le brevet CH-B-597 636 mentionnée ci-dessus.

Dans l'exemple de la figure 1 et dans les exemples qui seront décrits par la suite à l'aide des figures 4, 5 et 6, la vitesse de consigne V_c du rotor 3 a été fixée, à titre d'exemple non limitatif, à 4 tours par seconde, et les éléments du dispositif, notamment le train d'engrenages 4, ont été dimensionnés de manière que les aiguilles 9 de la pièce d'horlogerie tournent à leur vitesse normale lorsque la vitesse de rotation du rotor 3 est égale à cette vitesse de consigne V_c .

Dans le convertisseur de la figure 1, le circuit de commande 12 des moyens de freinage 11 comporte un oscillateur à quartz 21 qui délivre un signal sous la forme d'impulsions ayant une fréquence de 32 768 Hz.

La sortie de cet oscillateur 21 est reliée à l'entrée d'un compteur 22 composé de treize flip-flops reliés en cascade les uns aux autres de manière classique. Ces treize flip-flops n'ont pas été représentés séparément.

Ce compteur 22 a donc une capacité de comptage de 8192, c'est-à-dire que son contenu, qui est représenté par le nombre binaire formé par les états logiques «0» et «1» des sorties directes de ses treize flip-flops, varie périodiquement et cycliquement, lorsqu'il est exprimé en notation décimale, de 0 à 8191.

La sortie 22a du compteur 22 est constituée par la sortie inverse, généralement désignée par \overline{Q} , du dernier des treize flip-flops de ce compteur 22. Cette sortie 22a délivre donc un signal ayant une fréquence de 4 Hz ou, en d'autres termes, une période de 250 millisecondes.

Ce signal passe de l'état «0» à l'état «1» chaque fois que le contenu du compteur 22 passe de sa valeur maximum 8191 à sa valeur minimum 0, et repasse à l'état «0» 125 millisecondes plus tard.

Il sera rendu évident par la suite de cette description que la fréquence de ce signal détermine la vitesse moyenne de rotation du rotor 3, et que cette valeur de 4 Hz est celle qui donne à cette vitesse moyenne une valeur égale à la valeur de consigne choisie, soit 4 tours par seconde.

Le signal produit par la sortie 22a du compteur 22 sera appelé signal de référence dans la suite de cette description.

La sortie 22a du compteur 22 est reliée à l'entrée d'horloge C_k d'un flip-flop 23. Ce flip-flop 23 est de type T, de sorte que ses sorties Q et \overline{Q} changent

d'état chaque fois que le signal de référence passe de l'état logique «0» à l'état logique «1», pour autant que son entrée de remise à zéro R soit à l'état «0» à ce moment. Lorsque cette entrée R est à l'état logique «1», les sorties Q et \bar{Q} du flip-flop 23 sont respectivement à l'état «0» et «1», indépendamment de l'état de l'entrée Ck. Ce dernier état du flip-flop 23 sera désigné comme étant son état de repos.

Les sorties Q des treize flip-flops qui composent le compteur 22, dont seule la première, Q1, et la dernière, Q13, ont été représentées, sont reliées aux treize premières entrées d'un comparateur numérique binaire 24 dont, à nouveau, seule la première et la dernière ont été représentées. Ces premières entrées seront désignées globalement comme étant les entrées A du comparateur 24.

Le comparateur 24 comporte en outre des deuxièmes entrées, également au nombre de treize, qui seront désignées, globalement, comme étant ses entrées B. A nouveau, seules la première et la dernière des entrées B ont été représentées. Le comparateur 24 comporte également une sortie 24a qui est normalement à l'état logique «0» et qui prend l'état «1» lorsque les nombres binaires représentés respectivement par les états logiques des entrées A et B sont égaux. Cette sortie 24a est reliée à l'entrée R de remise à zéro du flip-flop 23.

Les entrées B du comparateur 24 sont reliées aux sorties Q de treize flip-flops qui font partie d'un compteur réversible 25. Ces flip-flops n'ont pas été représentés séparément, et seules les sorties du premier, Q1, et du dernier, Q13, de ces flip-flops ont été représentées.

Le compteur réversible 25 comportant le même nombre de flip-flops que le compteur 22, les capacités de comptage de ces deux compteurs sont donc égales.

Le compteur 25 est agencé, de manière bien connue, pour que son contenu soit augmenté d'une unité chaque fois que son entrée de comptage C passe de l'état «0» à l'état «1», et que ce contenu soit diminué d'une unité chaque fois que son entrée de décomptage D passe de l'état «0» à l'état «1».

Les entrées C et D de ce compteur 25 sont respectivement reliées aux sorties de deux portes ET 26 et 27.

Les premières entrées de ces portes 26 et 27 sont reliées, ensemble, à la sortie d'un circuit formateur 28, et leurs deuxièmes entrées sont respectivement reliées aux sorties Q et \bar{Q} du flip-flop 23.

Cette sortie \bar{Q} du flip-flop 23 est en outre reliée à l'électrode de commande 14a de la porte de transmission 14.

Le circuit formateur 28 est agencé de manière que sa sortie délivre une impulsion chaque fois que la tension de son entrée, qui est reliée à la borne 6b de la bobine 6, passe par zéro depuis ses valeurs négatives vers ses valeurs positives. Il comporte, par exemple, un amplificateur 28.1 à grand gain et à grande impédance d'entrée, un condensateur 28.2 et une résistance 28.3 reliés les uns aux autres de la manière représentée.

Le fonctionnement du convertisseur de la figure 1 va être décrit à l'aide des figures 2a et 2b dans lesquelles les diagrammes désignés par 22a, Q23 et

28a représentent respectivement les états logiques des signaux mesurés à la sortie 22a du compteur 22, à la sortie Q du flip-flop 23 et à la sortie 28a du formateur 28, et les diagrammes désignés par V et X représentent schématiquement la vitesse du rotor 3 et, respectivement, sa position angulaire en fonction du temps.

Cette position angulaire est repérée par la position angulaire de l'axe d'aimantation de l'aimant 3a, et l'origine des angles X est choisie arbitrairement à la position par laquelle ce rotor 3 passe lorsque, en l'absence de tout courant par la bobine 6, la tension de la borne 6b de cette dernière passe par zéro en croissant ou, en d'autres termes, de ses valeurs négatives à ses valeurs positives.

Cette position, qui sera appelée position zéro du rotor 3 dans la suite de cette description, est l'une de celles où l'axe d'aimantation de l'aimant 3a est perpendiculaire à la droite joignant le milieu des deux entrefers 5a et 5b. Elle correspond pratiquement à la position par laquelle le rotor 3 passe lorsque le formateur 28 délivre une impulsion.

Dans la description qui va suivre, les instants où le signal de référence passe de l'état «0» à l'état «1» seront désignés par la référence t0. Cette référence sera parfois complétée par un numéro d'ordre permettant de distinguer les différents instants t0 les uns des autres.

Il sera rendu évident par la suite de cette description que si le rotor 3 faisant chacun de ses tours à une vitesse moyenne constante égale à la vitesse de consigne Vc, il passerait par sa position zéro à chaque instant t0. En réalité, la vitesse moyenne du rotor 3 pendant chacun de ses tours est toujours légèrement supérieure ou légèrement inférieure à la vitesse de consigne Vc. Il en découle que, à chaque instant t0, le rotor 3 est légèrement en avance ou en retard par rapport à sa position zéro. Comme cela sera également rendu évident par la suite de cette description, cette avance ou ce retard est détecté par les portes 26 et 27 qui forment, ensemble, un circuit de comparaison entre la position angulaire réelle du rotor 3 à chaque instant t0 et sa position zéro.

La description du fonctionnement du convertisseur de la figure 1 commence à un instant t0, désigné par t01.

On admettra, par exemple, que le rotor 3 a déjà passé par sa position zéro à cet instant t01, et a donc commencé un tour, qui sera appelé arbitrairement premier tour, juste avant cet instant t01. Le formateur 28 a donc délivré une impulsion également juste avant cet instant t01, et le contenu du compteur 25 a pris une valeur N différente de zéro et de sa valeur maximum en réponse à cette impulsion.

Il sera montré par la suite que juste avant chacun des instants t0 et donc également juste avant l'instant t01, le flip-flop 23 est dans son état de repos, et sa sortie \bar{Q} est donc à l'état «1». La porte de transmission 14 est donc conductrice, et le rotor 3 est freiné par la résistance 13 qui est branchée en parallèle avec la bobine 6. La vitesse V du rotor 3 est donc faible.

Il faut noter que lorsque le rotor 3 est freiné, sa vitesse V n'est pas constante, car le couple de freinage qui lui est appliqué dépend notamment du flux

magnétique de l'aimant 3a passant dans la bobine 6, qui dépend lui-même de la position angulaire du rotor 3. Pour simplifier les figures 2a et 2b, c'est la vitesse moyenne du rotor 3 pendant qu'il est freiné qui a été représentée avec référence V1.

Comme cela a été mentionné plus haut, le signal de référence passe de l'état «0» à l'état «1» à l'instant t01.

A cet instant t01, le flip-flop 23 prend donc l'état où ses sorties Q et \bar{Q} sont respectivement à l'état «1» et à l'état «0». Ce dernier état «0» provoque le blocage de la porte de transmission 14. Le rotor 3 n'est donc plus freiné par la résistance 13, et sa vitesse V augmente rapidement pour prendre une valeur élevée.

La vitesse V du rotor 3 n'est pas non plus constante lorsque ce rotor 3 n'est pas freiné. Cette vitesse dépend notamment du courant fourni par la bobine 6 au condensateur 8. Or, tant que la tension à vide de sortie du redresseur 7, c'est-à-dire la tension qui serait mesurée à ses bornes si ces dernières n'étaient pas reliées au condensateur 8 ni au reste du circuit, est inférieure à la tension aux bornes du condensateur 8, la bobine 6 ne fournit aucun courant, et le rotor 3 n'est donc soumis à aucun freinage électrique. Par contre, dès que la tension à vide de sortie du redresseur 7 devient supérieure à la tension aux bornes du condensateur 8, la bobine 6 commence à fournir un courant qui charge ce condensateur 8. Le rotor 3 est donc soumis à un couple de freinage électrique dû à la fourniture de ce courant. Ce dernier n'est d'ailleurs pas non plus constant car il dépend, entre autres, de la vitesse de rotation du rotor 3 et de la position angulaire de celui-ci. Toujours pour simplifier le dessin, c'est la vitesse moyenne du rotor 3 lorsqu'il n'est pas freiné qui est représentée aux figures 2a et 2b avec la référence V2.

A chaque instant t0, et donc à l'instant t01, le contenu du compteur 22 passe de sa valeur maximum à zéro.

Après l'instant t01, le contenu du compteur 22 augmente régulièrement, à partir de sa valeur zéro, en réponse aux impulsions fournies par l'oscillateur 21.

A un instant désigné par t11, le contenu de compteur 22 devient égal au nombre N contenu dans le compteur 25.

Les nombres binaires appliqués aux entrées A et B du comparateur 24 étant alors égaux, la sortie 24a de ce comparateur 24 passe à l'état «1», ce qui remet le flip-flop 23 dans son état de repos.

La sortie \bar{Q} de ce flip-flop 23 repasse donc à l'état «1», ce qui rend à nouveau la porte de transmission 14 conductrice. Le rotor 3 est à nouveau freiné par la résistance 13, et sa vitesse V reprend une valeur faible.

On voit que le temps T1 séparant les instants t01 et t11, qui est le temps pendant lequel le rotor 3 n'est pas freiné, est proportionnel au nombre N contenu dans le compteur 25 à cet instant t11.

Le passage du signal de référence de l'état «1» à l'état «0», 125 millisecondes après l'instant t01, n'a aucune influence sur le circuit qui reste dans le dernier état décrit ci-dessus jusqu'à ce que l'un des deux cas suivants se présente.

Dans le premier cas, qui est illustré par la figure

2a, le signal de référence repasse à l'état «1», à un instant t02, avant que le rotor 3 ait terminé son premier tour. Le rotor 3 est donc en retard.

Comme cela a été décrit ci-dessus, ce passage à l'état «1» du signal de référence provoque le blocage de la porte de transmission 14. Le rotor 3 n'étant plus freiné depuis cet instant t02, il termine très rapidement son premier tour, et commence un deuxième tour, à un instant t21 postérieur à l'instant t02 et très proche de celui-ci.

La sortie Q du flip-flop 23 étant à l'état «1» depuis l'instant t02, le circuit de comparaison formé par les portes 26 et 27 délivre un signal de comparaison sous la forme d'une impulsion qui apparaît à la sortie de la porte 26 en réponse à l'impulsion délivrée par le formateur 28 à l'instant t21. La sortie de la porte 26 étant reliée à l'entrée C du compteur 25, le contenu de ce dernier prend donc la valeur (N + 1) à cet instant t21, en réponse à ce signal de comparaison.

A l'instant t02, le contenu du compteur 22 passe de sa valeur maximum à zéro. Après cet instant t02, comme après l'instant t01, ce contenu croît régulièrement en réponse aux impulsions produites par l'oscillateur 21.

Lorsque le contenu du compteur 22 atteint une valeur égale à la valeur (N + 1), à un instant t12, la sortie du comparateur 24 passe à nouveau à l'état «1». Comme à l'instant t11, la sortie \bar{Q} du flip-flop 23 repasse donc à l'état «1» à cet instant t12, ce qui rend la porte de conduction 14 à nouveau conductrice et provoque donc le freinage du rotor 3 par la résistance 13.

Comme pendant son premier tour, le rotor 3 continue à tourner à faible vitesse après l'instant t12.

Il faut noter que, dans ce cas, le temps T2 qui sépare les instants t02 et t12, c'est-à-dire le temps pendant lequel le rotor 3 n'est pas freiné, est plus long que le temps T1 mentionné ci-dessus. En effet, ce temps T2 est proportionnel au nombre (N + 1) contenu dans le compteur 25 à l'instant t12, nombre qui est évidemment plus grand que le nombre N qui déterminait la durée du temps T1.

Le deuxième des cas qui peuvent se présenter à la fin du premier tour du rotor 3 est illustré par la figure 2b dans laquelle la partie de gauche correspond également à ce premier tour et ne sera pas décrite à nouveau.

Dans ce deuxième cas, le rotor 3 termine son premier tour à un instant t21' situé avant l'instant t02' où le signal de référence passe de l'état «0» à l'état «1». Il est donc en avance.

La sortie \bar{Q} du flip-flop 23 étant encore à l'état «1» à l'instant t21', le signal de comparaison a, dans ce cas, la forme d'une impulsion qui apparaît à la sortie de la porte 27 en réponse à l'impulsion fournie à cet instant t21' par le formateur 28. La sortie de la porte 27 étant reliée à l'entrée D du compteur 25, le contenu de ce compteur prend une valeur (N-1) en réponse à ce signal de comparaison.

Lorsque le signal de référence repasse à l'état «1», à l'instant t02', le freinage du rotor 3 est supprimé et ce rotor 3 prend une vitesse élevée jusqu'à un instant t12' où la valeur du contenu du compteur 22 devient égale à cette valeur (N-1).

Comme dans les autres cas décrits ci-dessus, le

rotor 3 est freiné à partir de cet instant $t_{12'}$ et continue ensuite à tourner à faible vitesse.

On voit que, dans ce cas, le temps $T_{2'}$ qui sépare les instants $t_{02'}$ et $t_{12'}$ et pendant lequel le rotor n'est pas freiné est plus court que le temps T_1 mentionné ci-dessus, puisqu'il est proportionnel au nombre $(N-1)$ contenu dans le compteur 25 à l'instant $t_{12'}$, nombre qui est évidemment inférieur au nombre N .

En résumé, on voit que le contenu du compteur 25 est incrémenté ou décrémenté selon que le signal de comparaison entre la position angulaire réelle du rotor 3 à chaque instant t_0 et sa position zéro montre qu'il est en retard ou en avance.

Il est clair que l'un ou l'autre des deux cas décrits ci-dessus se présente à la fin de chaque période du signal de référence, mais pas forcément alternativement. Il est en effet possible qu'à deux ou plusieurs instants t_0 successifs, le rotor 3 soit toujours en avance ou, au contraire, toujours en retard. Le nombre contenu dans le compteur 25 est alors respectivement diminué ou augmenté chaque fois.

Il est évident que pendant chacune des périodes du signal de référence, la vitesse moyenne V_t du rotor 3 dépend directement du temps pendant lequel il n'est pas freiné et tourne donc à une vitesse élevée, temps qui est proportionnel au nombre contenu dans le compteur 25. Toutes autres choses étant égales, une augmentation ou une diminution de ce nombre provoque donc une augmentation ou, respectivement une diminution de cette vitesse moyenne V_t .

Si, à un instant t_0 , le rotor 3 est en retard, sa vitesse moyenne V_t pendant la période du signal de référence qui commence à cet instant t_0 est donc augmentée par rapport à sa vitesse moyenne pendant la période précédente. Cette augmentation de la vitesse moyenne a comme conséquence que, toutes autres choses restant égales, le rotor 3 aura probablement de l'avance à l'instant t_0 suivant ou, tout au moins, son retard aura diminué.

Un raisonnement analogue peut être fait dans le cas où, à un instant t_0 , le rotor 3 est en avance. Dans ce cas, à l'instant t_0 suivant, le rotor sera probablement en retard ou, tout au moins, son avance aura diminué.

On voit donc que, pendant le fonctionnement du convertisseur, la position angulaire réelle du rotor 3 à chaque t_0 oscille de part et d'autre de sa position zéro. La position angulaire moyenne du rotor 3 aux instants t_0 , mesurée sur un temps assez long, est donc identique à sa position zéro.

Il en découle que la vitesse moyenne du rotor 3, également mesurée sur un temps assez long, est égale à la vitesse de consigne V_c . Cette égalité est maintenue, indépendamment des variations du couple moteur exercé par le ressort 1 par l'intermédiaire du train d'engrenages 4, pour autant bien sûr que ce ressort 1 ne soit pas complètement désarmé, et indépendamment des variations éventuelles des frottements mécaniques et/ou des pertes électriques et magnétiques dans le convertisseur.

En résumé, on voit que le circuit 10 règle la vitesse moyenne du rotor 3 pendant chaque période du signal de référence en fonction du résultat d'une comparaison, effectuée juste avant ou juste après le

début de cette période, entre la position réelle du rotor 3 et la position qu'il occuperait s'il tournait en permanence à la vitesse de consigne V_c .

Cette régulation périodique est effectuée grâce au fait que le circuit 12 ouvre systématiquement l'interrupteur 14 en série avec la résistance de freinage 13 au début de chaque période du signal de référence, ce qui permet au rotor 3 de tourner à une vitesse supérieure à la vitesse de consigne V_c , et referme cet interrupteur après un temps qui est toujours inférieur à la période du signal de référence et qui dépend du résultat de la comparaison ci-dessus, ce qui provoque le freinage du rotor 3 jusqu'à une vitesse qui est en moyenne inférieure à la vitesse de consigne V_c .

Dans l'exemple de la figure 1, la période du signal de référence est égale au temps que mettrait le rotor 3 pour faire exactement un tour, soit 360° , s'il tournait à la vitesse de consigne V_c . Cette période du signal de référence est évidemment aussi égale à la période qu'aurait la tension fournie par la bobine 6 si le rotor 3 tournait à la vitesse de consigne V_c .

Il résulte de ce qui précède que l'angle parcouru par le rotor lorsqu'il n'est pas freiné reste à peu près constant quel que soit le couple mécanique qui lui est appliqué. En effet, si ce couple est élevé, la vitesse du rotor lorsqu'il n'est pas freiné est relativement élevée, mais le temps pendant lequel ce rotor tourne à cette vitesse est relativement court. Au contraire, si ce couple est faible, cette vitesse du rotor est relativement faible, mais le temps pendant lequel le rotor tourne à cette vitesse est relativement long.

Cette propriété est conservée quelle que soit la différence entre la vitesse du rotor lorsqu'il est freiné, ou lorsqu'il ne l'est pas, avec la vitesse de consigne V_c .

Le fait que, dans le convertisseur de la figure 1, l'interrupteur 14 soit ouvert systématiquement au début de chaque période de référence garantit que le rotor 3 n'effectue jamais, quelles que soient les circonstances, plusieurs tours consécutifs, ni même un seul tour complet, en étant freiné. A chacun de ses tours, le rotor 3 tourne pendant un temps plus ou moins long sans être freiné et donc à une vitesse supérieure à la vitesse de consigne V_c .

Des considérations théoriques vérifiées par des essais pratiques ont montré que toute l'énergie électrique consommée par les divers circuits électroniques du convertisseur de la figure 1 pendant la durée d'une période du signal de référence peut être fournie par le générateur 2 pendant la partie de cette période où le rotor 3 n'est pas freiné.

Il est donc possible de renoncer à la fourniture d'énergie électrique par le générateur 2 lorsque le rotor 3 est freiné, puisque ce dernier n'est jamais freiné sans interruption durant un tour complet ou plusieurs tours consécutifs.

Les composants du convertisseur, et notamment la résistance de freinage 13, peuvent donc être dimensionnés de manière que la vitesse 3 lorsqu'il est freiné soit beaucoup plus faible que dans le convertisseur connu décrit par le brevet CH-B-597 636. La valeur minimum de la résistance de freinage 13 n'est limitée que par le fait que la tension aux bornes de la bobine 6 doit avoir une valeur suffisante pour que le formateur 28 fonctionne correctement même

lorsque la porte de transmission 14 est conductrice. A la limite, il est possible de remplacer la résistance de freinage 13 par un court-circuit, et de concevoir le formateur 28 de manière que la faible tension qui subsiste aux bornes de la porte de transmission 14 lorsque celle-ci est conductrice soit suffisante pour qu'il fonctionne correctement.

En pratique, la vitesse du rotor 3 lorsqu'il est freiné peut être choisie à une valeur aussi basse que 1 tour pas seconde environ.

Le fait que la vitesse du rotor 3 lorsqu'il est freiné peut être très faible permet de choisir pour la vitesse de consigne V_c une valeur nettement plus faible que dans le convertisseur connu décrit ci-dessus, tout en étant cependant encore nettement différente de cette vitesse du rotor 3 lorsqu'il est freiné.

Dans l'exemple de la figure 1, la vitesse de consigne V_c est de quatre tours par seconde, alors qu'elle ne peut être inférieure à huit à dix tours par seconde dans le convertisseur connu, comme cela a été expliqué ci-dessus.

Il en résulte que le rendement du convertisseur de la figure 1, et donc son autonomie, sont nettement augmentés par rapport à ceux d'un convertisseur connu utilisant des composants comparables.

Le fait que la vitesse de consigne V_c est choisie à une valeur nettement différente de la vitesse du rotor 3 lorsqu'il est freiné permet de choisir pour la vitesse de ce rotor 3 lorsqu'il n'est pas freiné une valeur assez élevée.

Il en découle que le nombre de spires de la bobine 6 peut être assez faible pour que son volume soit compatible avec la place à disposition dans une pièce d'horlogerie telle qu'une montre-bracelet, que sa fabrication ne pose aucun problème particulier, et que son prix de revient soit donc faible.

De même, la résistance interne de la bobine 6 étant plus faible que dans le convertisseur connu décrit ci-dessus, les pertes par effet Joule dans cette bobine 6 sont également plus faibles, ce qui améliore encore le rendement du convertisseur.

Enfin, la tension continue nécessaire au fonctionnement des divers circuits électroniques peut être facilement obtenue en utilisant un redresseur simple, ou éventuellement un redresseur doubleur de tension, pour redresser la tension alternative fournie par la bobine 6.

En résumé, dans le convertisseur de la figure 1, le déclenchement systématique de la résistance de freinage 13 au début de chaque période du signal de référence fourni par le compteur 22 a comme conséquence que la vitesse de consigne du rotor du générateur peut être choisie à une valeur nettement plus basse que dans le convertisseur connu décrit ci-dessus. Toutes autres choses étant égales, le rendement et l'autonomie du convertisseur de la figure 1 sont donc nettement supérieurs à ceux du convertisseur connu.

Le déclenchement systématique et périodique de la résistance de freinage 13 a en outre comme conséquence que la tension continue nécessaire au fonctionnement des circuits électroniques du convertisseur et, le cas échéant, des circuits annexes, peut être obtenue à l'aide d'un générateur dont la bobine a un nombre de spires suffisamment faible pour que sa

fabrication et son montage dans une pièce d'horlogerie de petit volume ne posent aucun problème.

Des calculs théoriques confirmés par des essais pratiques ont montré que, dans le convertisseur de la figure 1, le rotor 3 parcourt à grande vitesse un angle de 200° à 300° environ à chacun de ses tours, le reste de ce tour étant bien entendu parcouru à faible vitesse.

Il est bien connu que la valeur instantanée de la tension aux bornes de la bobine 6 dépend, notamment, du produit des valeurs instantanées de la vitesse de rotation du rotor 3 et d'un terme appelé généralement facteur de couplage magnétique entre l'aimant 3a et la bobine 6.

Le facteur de couplage, qui sera désigné par C_1 dans la suite de cette description, est égal à la dérivée partielle, par rapport à l'angle X défini ci-dessus, du produit du flux de l'aimant 3a passant dans la bobine 6 par le nombre de spires de cette bobine 6. Il a une variation sensiblement sinusoïdale en fonction de l'angle X , avec des valeurs maximum, l'une positive et l'autre négative, correspondant aux positions du rotor 3 pour lesquelles l'angle X vaut 90° et 270° . Cette variation est représentée schématiquement à la figure 3.

En outre, le générateur 2 ne peut fournir de l'énergie électrique au condensateur 8 que lorsque la tension à vide de sortie du redresseur 7, c'est-à-dire la tension qui serait mesurée à ses bornes si celles-ci n'étaient pas reliées au condensateur 8 et au reste du circuit, devient supérieure à la tension aux bornes du condensateur 8.

Il résulte de ce qui précède que, immédiatement après chaque instant t_0 , le générateur 2 ne fournit aucune énergie électrique au condensateur 8, la vitesse instantanée du rotor 3 et le facteur de couplage C_1 ayant tous deux une valeur relativement faible à ce moment. Le générateur 2 fonctionne donc «à vide», et la vitesse du rotor 3 augmente très rapidement.

Mais, puisque le rotor 3 parcourt au moins 200° à vitesse élevée, le produit de la vitesse instantanée du rotor 3 et du facteur de couplage C_1 atteint forcément à chaque tour du rotor une valeur telle que le générateur 2 commence à fournir de l'énergie électrique au condensateur 8.

Cette fourniture d'énergie électrique provoque, de manière bien connue, un certain freinage du rotor 3 dont la vitesse instantanée diminue légèrement.

Cette vitesse instantanée reste cependant suffisante pour que l'énergie électrique continue à être fournie au condensateur 8 jusqu'à ce que le facteur de couplage C_1 atteigne une valeur telle que cette fourniture ne soit plus possible, ou jusqu'à ce que le circuit de commande 12 provoque le freinage du rotor 3 en rendant la porte de transmission 14 conductrice.

Dans les deux cas, plus aucune énergie n'est fournie au condensateur 8 jusqu'à l'instant t_0 suivant, où le processus décrit ci-dessus recommence.

Le redresseur 7, comme tous les redresseurs, permet le transfert d'énergie électrique de la bobine 6 vers le condensateur 8, mais empêche le transfert de cette énergie en sens inverse. Le fait que, dans le convertisseur de la figure 1, les moyens de freinage

11 sont branchés directement aux bornes de la bobine 6 a donc encore comme avantage que le condensateur 8 ne peut pas se décharger dans la résistance de freinage 13 lorsque la porte de transmission 14 est conductrice. L'énergie électrique stockée dans le condensateur 8 ne peut donc en aucun cas être dissipée dans la résistance de freinage 13, ce qui a pour conséquence, toutes autres choses étant égales, d'augmenter encore le rendement du convertisseur de la figure 1 et donc son autonomie par rapport à ceux du convertisseur décrit dans le brevet CH-B-597 636.

La figure 4 représente le schéma d'un circuit de commande 12' des moyens de freinage 11 du convertisseur de la figure 1, qui est une variante du circuit 12 de cette figure 1.

Dans ce circuit 12', les compteurs 22 et 25 du circuit 12 sont remplacés par d'autres compteurs 22' et 25' comportant chacun quinze flip-flops. La capacité de comptage de ces compteurs 22' et 25' est donc égale à 32'768, et la période du signal de référence produit par la sortie 22'a du compteur 22' est égale à 1 seconde.

Le circuit 12' comporte un comparateur 24' semblable au comparateur 24 du circuit 12 mais comprenant quinze premières entrées A et quinze deuxièmes entrées B reliées respectivement aux quinze sorties Q des Flip-flops des compteurs 22' et 25'.

En outre, un compteur 29 comportant deux flip-flops est intercalé entre la sortie du formateur 28 et les premières entrées des portes 26 et 27. La capacité de comptage de ce compteur 29 est de 4.

Le fonctionnement du convertisseur comprenant ce circuit de commande 12' est le suivant:

Comme avec le circuit 12, le passage du signal de référence à l'état «1» provoque le basculement du flip-flop 23 dans l'état où sa sortie \bar{Q} est à l'état logique «0», et donc le blocage de la porte de transmission 14 qui était précédemment conductrice.

Le freinage du rotor 3 est donc supprimé, et ce dernier commence à tourner à grande vitesse.

Lorsque le contenu du compteur 22' devient égal au contenu du compteur 25', la sortie 24'a du comparateur 24' passe à l'état «1». La sortie \bar{Q} du flip-flop 23 est donc remise à l'état «1», la porte de transmission 14 redevient conductrice et le rotor 3 est à nouveau freiné. Il continue ensuite à tourner à faible vitesse jusqu'à ce que le signal de référence passe à l'état «1».

Les impulsions produites par le formateur 28 chaque fois que le rotor 3 passe par sa position zéro sont comptées par le compteur 29. La sortie de ce dernier passe donc à l'état «1» chaque fois que le rotor 3 a fait quatre tours.

Si cette sortie du compteur 29 passe à l'état «1» alors que la sortie Q du flip-flop 23 est à l'état «0», ce qui signifie que le rotor 3 est en avance par rapport à la position qu'il occuperait s'il tournait à une vitesse égale à la vitesse de consigne V_c , le contenu du compteur 25' est diminué d'une unité en réponse au signal de comparaison fourni, dans ce cas, par la sortie de la porte 27. La durée pendant laquelle le rotor 3 tournera à grande vitesse pendant la période du signal de référence suivante sera donc plus courte que pendant la période précédente, et sa vitesse moyenne sera donc plus faible.

Si, par contre, cette sortie du compteur 29 passe à l'état «1» après que la sortie Q du flip-flop 23 a passé à l'état «1», ce qui signifie que le rotor 3 est en retard par rapport à la position qu'il occuperait s'il tournait à la vitesse de consigne V_c , le contenu du compteur 25' est augmenté d'une unité en réponse au signal de comparaison fourni, dans ce cas, par la sortie de la porte 26. La durée pendant laquelle le rotor 3 tournera à grande vitesse pendant la période du signal de référence suivante sera donc plus longue que pendant la période précédente, et sa vitesse moyenne sera plus élevée.

Des calculs théoriques confirmés par des essais pratiques ont montré que, avec un tel circuit 12', le contenu du compteur 25', qui détermine le temps pendant lequel le rotor 3 tourne à grande vitesse, se stabilise à une valeur telle que ce rotor 3 fait environ trois tours à grande vitesse, et donc environ un tour à faible vitesse.

Ce circuit 12' réalise donc également une régulation périodique de la vitesse de rotation du rotor 3. Comme dans le cas de la figure 1, la régulation de la vitesse moyenne du rotor 3 est faite pendant chaque période du signal de référence en fonction d'une comparaison, effectuée au début de cette période, entre la position angulaire réelle du rotor et la position qu'il occuperait s'il tournait à la vitesse de consigne V_c . Cependant, dans ce cas de la figure 4, la période du signal de référence correspond au temps que mettrait le rotor 3 pour faire quatre tours, soit 1440° , s'il tournait à une vitesse moyenne égale à la vitesse de consigne V_c .

Il est évident que le principe de régulation décrit à l'aide de la figure 4 peut s'appliquer quelles que soient les valeurs choisies pour l'angle parcouru par le rotor 3 entre deux signaux de comparaison successifs et pour la vitesse de consigne V_c . Cet angle est, d'une manière générale, égal à $k \cdot 360^\circ$, et le facteur k peut être en principe quelconque. Pour des raisons évidentes de simplicité, on choisira pour k une valeur entière, égale ou supérieure à 1. Il sera montré plus loin, dans la description de la figure 5, que l'on peut choisir pour le facteur k une valeur égale à 0,5.

Quelle que soit la valeur choisie pour ce facteur k , c'est-à-dire quelle que soit la valeur de l'angle parcouru par le rotor entre deux signaux de comparaison successifs, il faut bien entendu que la période du signal de référence soit égale au rapport entre cet angle et la vitesse de consigne choisie.

Il est également évident que les avantages du convertisseur selon l'invention tels qu'ils ont été décrits en relation avec la forme d'exécution de la figure 1, et qui sont apportés par le fait que la résistance de freinage du rotor est déclenchée périodiquement, se retrouvent inchangés dans les autres formes d'exécution décrites ci-dessus, même si dans ces dernières le rotor 3 peut, dans certains cas, faire plus d'un tour à faible vitesse.

Le symbole V_t a été utilisé dans la description de la figure 1 pour désigner la vitesse moyenne réelle du rotor 3 pendant qu'il fait, à peu près, le seul tour qu'il doit faire pendant chaque période du signal de référence. Ce même symbole V_t sera utilisé dans la suite de cette description pour désigner, d'une manière générale, la vitesse moyenne réelle du rotor 3 pen-

dant une période du signal de référence, quel que soit le nombre de tours qu'il fait, à peu près, pendant cette période.

Comme cela a déjà été mentionné ci-dessus, les pertes mécaniques et magnétiques dans les convertisseurs d'énergie mécanique en énergie électrique du genre de ceux qui ont été décrits dépendent directement de la vitesse de consigne V_c choisie ou de son carré. Il est donc souhaitable de choisir cette vitesse V_c à une valeur aussi faible que possible pour diminuer ces pertes et augmenter le rendement du convertisseur.

Il faut cependant que le circuit de commande soit capable de maintenir en toutes circonstances la vitesse moyenne V_t du rotor 3 à un valeur proche de la vitesse de consigne V_c choisie.

Cette vitesse V_t dépend bien entendu, entre autres, de la vitesse moyenne du rotor 3 pendant les périodes où il est freiné, vitesse moyenne qui est désignée par la référence V_1 à la figure 2.

Pour pouvoir choisir une vitesse V_c faible, il faut donc que cette vitesse moyenne V_1 soit également faible. Il est clair que la vitesse moyenne V_1 la plus faible qui puisse être atteinte est celle à laquelle tourne le rotor 3 lorsque les bornes de la bobine 6 sont court-circuitées.

Cependant, la vitesse instantanée du rotor 3 lorsqu'il est freiné n'est pas constante. Cette vitesse instantanée dépend du facteur de couplage magnétique C_1 entre l'aimant 3a et la bobine 6, qui a été mentionné ci-dessus, et donc la variation en fonction de la position angulaire X du rotor 3 est représentée schématiquement à la figure 3.

Il est évident que, toutes autres choses restant égales, la vitesse instantanée du rotor 3 augmente lorsque celui-ci s'approche, pendant les périodes où il est freiné, des positions où le facteur de couplage C_1 est nul, et que cette vitesse instantanée diminue à nouveau lorsque le rotor 3 s'éloigne de ces positions.

La valeur de la vitesse moyenne V_1 du rotor 3 pendant qu'il est freiné est influencée défavorablement par ces augmentations de sa vitesse instantanée, ce qui impose par conséquent une limite inférieure à la valeur qui peut être choisie pour la vitesse de consigne V_c .

Le convertisseur représenté à la figure 5 permet de pallier cet inconvénient. Comme le convertisseur de la figure 1, il est destiné à équiper une pièce d'horlogerie, et il comporte un ressort 1 entraînant, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages 4, le rotor 3 d'un générateur d'énergie électrique qui est désigné, dans ce cas, par la référence 30, et des aiguilles 9 d'affichage de l'heure.

Le ressort 1, le train d'engrenages 4 et les aiguilles 9 n'ont pas été représentés dans cette figure 5. Le rotor 3 est identique à celui du générateur 2 de la figure 1 et, comme ce dernier, il est symbolisé par l'aimant 3a qui en fait partie.

Le générateur 30, qui est représenté schématiquement, a une structure qui le fait ressembler au moteur décrit dans le brevet US-A-4 371 821. Comme ce moteur, le générateur 30 comporte un stator 31 comprenant trois pièces polaires 32, 33 et 34.

Les premières extrémités de ces pièces polaires 32, 33 et 34 sont séparées les unes des autres par des entrefers 35, 36 et 37 et délimitent un espace

sensiblement cylindrique dans lequel l'aimant permanent 3a du rotor 3 est disposé.

La deuxième extrémité de la pièce polaire 32 est reliée à la deuxième extrémité de la pièce polaire 33 par une armature 38 et à la pièce polaire 34 par une armature 39. Deux bobines 40 et 41 sont respectivement disposées sur les armatures 38 et 39.

Contrairement au moteur mentionné ci-dessus, le générateur 30 de la figure 5 ne comporte aucun moyen de positionnement du rotor 3.

Le convertisseur de la figure 5 comporte un redresseur 7, semblable à celui de la figure 1, dont l'entrée est reliée aux bornes 40a et 40b de la bobine 40 et dont la sortie est reliée à un condensateur de stockage et de filtrage 8, également semblable à celui de la figure 1.

La vitesse de rotation du rotor 3 du générateur 30 est réglée par un circuit qui comporte des moyens de freinage 11' et un circuit de commande 12 de ces moyens de freinage 11' qui est identique, dans cet exemple, au circuit 12 de la figure 1 et qui n'a donc pas été représenté en détail à nouveau. L'entrée et la sortie de ce circuit 12, désignées par 12a et par 12b à la figure 5, correspondent respectivement à l'entrée du circuit formateur 28 et à la sortie \bar{Q} du flip-flop 23 de la figure 1.

Les moyens de freinage 11' comportent une résistance 13 et une porte de transmission 14 branchées, en série l'une avec l'autre, aux bornes 40a et 40b de la bobine 40. Cette résistance 13 et cette porte 14 sont semblables à celles de la figure 1.

Les moyens de freinage 11' comportent en outre une porte de transmission 42 branchée directement aux bornes 41a et 41b de la bobine 41. L'électrode de commande 42a de cette porte 42 est reliée, comme l'électrode de commande 14a de la porte 14, à la sortie 12b du circuit de commande 12.

La borne 41a de la bobine 41 est reliée à la borne 40a de la bobine 40 dont le potentiel est pris comme potentiel de référence du circuit. La porte de transmission 42 répond donc comme la porte de transmission 14 au signal produit par le circuit de commande 12. Lorsque ce signal est à l'état logique «0», ces deux portes 14 et 42 sont bloquées, et lorsqu'il est à l'état logique «1», elles sont conductrices.

Enfin, l'entrée 12a du circuit de commande 12 est reliée à la borne 40b de la bobine 40.

La bobine 40 joue donc le même rôle que la bobine 6 du convertisseur de la figure 1. Elle fournit notamment l'énergie électrique destinée à alimenter le circuit 12 et les autres circuits éventuels, et la tension présente à sa borne 40b est utilisée par ce circuit 12 pour déterminer les instants où le rotor 3 passe par sa position zéro.

Le facteur de couplage magnétique de l'aimant 3a avec la bobine 40 a une variation en fonction de la position angulaire du rotor 3 qui est, au moins en première approximation, identique à celle du facteur de couplage C_1 dans le cas de la figure 1. Dans un générateur tel que celui qui a été représenté à la figure 5, les positions angulaires où ce facteur de couplage est nul sont proches de celles où la direction de l'axe d'aimantation de l'aimant 3a fait un angle de 60° environ avec la droite passant par le milieu de l'entrefer 35 et par l'axe de rotation du rotor 3. L'une de ces deux positions est la position zéro du rotor 3 définie précédemment.

L'aimant 3a est évidemment également couplé magnétiquement à la bobine 41. Le facteur de couplage C2 de cet aimant 3a et de cette bobine 41 a une variation semblable à celle du facteur C1, mais avec des valeurs nulles qui sont proches des positions angulaires du rotor 3 où la direction de l'axe d'aimantation de l'aimant 3a fait un angle de 60° environ avec la droite passant par le milieu de l'entrefer 36 et par l'axe de rotation du rotor 3.

Le décalage des courbes représentant la variation des facteurs de couplage C1 et C2 l'une par rapport à l'autre dépend évidemment de la position angulaire relative des entrefers 35, 36 et 37. La figure 3, où la courbe représentant la variation du facteur de couplage C2 a également été dessinée, représente un cas où ce décalage est de 60° environ.

Le fonctionnement du dispositif de la figure 5 est identique à celui du dispositif de la figure 1 et ne sera donc pas décrit à nouveau ici.

Il faut cependant noter que les deux portes de transmission 14 et 42 sont conductrices ou bloquées en même temps, puisqu'elles sont commandées par le même signal.

Il en résulte que lorsque ce signal est à l'état logique «0», c'est-à-dire pendant les périodes où le rotor 3 n'est pas freiné, la bobine 41 est en circuit ouvert et n'influence pas la rotation de ce rotor 3.

Par contre, lorsque le signal de commande fourni par le circuit 12 est à l'état «1», c'est-à-dire pendant les périodes où le rotor 3 est freiné, la bobine 41 est mise pratiquement en court-circuit par la porte de transmission 42. Comme le facteur de couplage C2 de cette bobine 41 et de l'aimant 3a a une valeur élevée lorsque le facteur de couplage C1 de la bobine 40 et de cet aimant 3a a une valeur faible, cette bobine 41 assure un freinage efficace du rotor 3 lorsque la bobine 40 n'est pas en mesure de le faire.

Le rotor 3a est donc efficacement freiné quelle que soit sa position angulaire, et sa vitesse instantanée, lorsqu'il est freiné, ne présente plus les variations importantes qu'elle présentait dans le cas de la figure 1.

Grâce à cette caractéristique, qui est due au fait que le générateur 30 est muni de deux bobines 40 et 41 dont les facteurs de couplage avec l'aimant 3a sont décalés par rapport à la position angulaire du rotor 3, la vitesse de consigne Vc peut donc être choisie à une valeur encore plus basse que dans le cas de la figure 1, ce qui diminue d'autant les pertes mécaniques et magnétiques dans le convertisseur et augmente donc son rendement.

La capacité de comptage des compteurs 22 et 25 ainsi que, le cas échéant, la fréquence du signal fourni par l'oscillateur 21 doivent bien entendu être adaptées à la vitesse de consigne choisie.

Il faut noter que le circuit de commande 12' de la figure 4 peut également être utilisé dans un convertisseur équipé du générateur 30 de la figure 5. Cette variante ne sera pas décrite ici.

La figure 6 représente le schéma d'un circuit de commande 12'' des moyens de freinage 11 qui peut être utilisé à la place du circuit 12 dans le convertisseur de la figure 5.

Dans ce circuit 12'', les compteurs 22 et 25 du circuit 12 sont remplacés par des compteurs 22'' et

25'' comprenant chacun douze flip-flops. La capacité de comptage de ces compteurs 22'' et 25'' n'est donc que de 4096. Le comparateur 24 du circuit 12 est bien entendu remplacé par un comparateur 24'' ayant douze premières et douze deuxième entrées, également désignées respectivement par A et B. En outre, le formateur 28 du circuit 12 est remplacé par un formateur 28'' dont la sortie délivre une impulsion chaque fois que la tension aux bornes de la bobine 40 passe par zéro dans un sens ou dans l'autre, c'est-à-dire deux fois par tour du rotor 3.

Le formateur 28'' comporte, dans cet exemple, un amplificateur 28.1, un condensateur 28.2 et une résistance 28.3 semblables aux éléments portant les mêmes références dans la figure 1, un inverseur 28.4 un deuxième condensateur 28.5, une deuxième résistance 28.6 et une porte OU 28.7. Tous ces éléments sont reliés les uns aux autres de la manière représentée.

Les autres composants du circuit 12'' sont semblables aux composants du circuit 12 portant les mêmes références.

Le fonctionnement du convertisseur équipé de ce circuit de commande 12'' est comparable à celui du convertisseur de la figure 5 et ne sera pas décrit en détail. Il faut simplement relever que la période du signal de référence produit par la sortie 22''a du compteur 22'' n'est que de 125 millisecondes, et qu'elle correspond au temps que mettrait le rotor 3 pour faire un demi-tour, ou 180°, si sa vitesse moyenne pendant ce demi-tour était égale à la vitesse de consigne Vc, qui a également été fixée à quatre tours par seconde dans cet exemple.

En outre, la période du signal de référence correspondant à environ un demi-tour du rotor 3, et le facteur de couplage C1 entre l'aimant 3a et la bobine 40 atteignant une valeur élevée pendant la partie de cette période où le rotor 3 n'est pas freiné, le générateur 30 fournit de l'énergie électrique à chaque demi-tour du rotor 3.

Le freinage du rotor 3 pendant la partie de la période du signal de référence où il doit être freiné est cependant efficace puisque le facteur de couplage C2 de l'aimant 3a avec la bobine 41 atteint une valeur élevée pendant cette partie de cette période. Comme dans le convertisseur de la figure 5, la vitesse de consigne Vc du rotor 3 pourrait donc être choisie à une valeur plus faible que quatre tours par seconde. Il faudrait bien entendu, dans un tel cas, adapter en conséquence les divers composants du convertisseur notamment l'oscillateur 21 et/ou le compteur 22'' pour que la période du signal de référence ait une valeur correspondant à la vitesse de consigne choisie.

Il est évident que, dans le convertisseur de la figure 5 et dans sa variante décrite ci-dessus, la bobine 41 pourrait être reliée à l'entrée d'un redresseur, semblable au redresseur 7, dont la sortie serait également reliée au condensateur de stockage 8. Dans cette forme d'exécution, qui n'a pas été représentée, la bobine 41 fournirait donc également de l'énergie électrique au condensateur 8.

Il est également évident que les bobines 40 et 41 pourraient être branchées en série, au moins lorsque le rotor 3 n'est pas freiné. Les moyens nécessaires à

ce branchement ne seront pas décrits ici car leur réalisation est à la portée de l'homme du métier.

Dans un tel cas, la tension appliquée au redresseur 7 serait évidemment plus élevée que dans le cas de la figure 5, ce qui améliorerait le rendement de ce redresseur 7, et donc du convertisseur ainsi modifié.

Dans les convertisseurs décrits ci-dessus, la vitesse moyenne V_t du rotor 3 pendant une période du signal de référence commençant à un instant t_0 est réglée en modifiant d'une durée fixe, à cet instant t_0 , le temps T_2 ou T_2' pendant lequel le rotor 3 ne sera pas freiné au cours de cette période, le sens de cette modification étant déterminé par le sens de l'écart entre la position angulaire réelle du rotor 3 à cet instant t_0 et sa position zéro.

En d'autres termes, la vitesse moyenne V_t du rotor 3 pendant chaque période du signal de référence est simplement réglée en fonction du sens de la différence entre la vitesse moyenne V_t pendant la période précédente et la vitesse de consigne V_c .

Ce mode de réglage a l'avantage d'être particulièrement simple à mettre en oeuvre. Cependant, selon le type de convertisseur dans lequel il est mis en oeuvre, et notamment selon les caractéristiques mécaniques des divers éléments mobiles de ce convertisseur et les caractéristiques électriques et magnétiques de son générateur 2, ce mode de réglage n'est pas toujours le mieux adapté.

Notamment, si la modification du temps T_2 ou T_2' faite à chaque instant t_0 est faible, comme dans les exemples décrits où elle est égale à une période du signal produit par l'oscillateur 21, soit 30,5 microsecondes environ, la rapidité du réglage, c'est-à-dire la rapidité avec laquelle la vitesse moyenne V_t est ramenée à une valeur proche de la vitesse de consigne V_c après s'en être notablement écartée pour une raison quelconque, peut être également faible.

Il est évidemment possible d'augmenter la rapidité de ce réglage en augmentant la variation imposée aux temps T_2 ou T_2' à chaque instant t_0 .

Selon les caractéristiques du convertisseur mentionnées ci-dessus, cette augmentation de la rapidité de réglage peut cependant causer une instabilité de la vitesse V_t qui peut se mettre à osciller avec une amplitude relativement grande autour de la vitesse de consigne V_c .

De nombreux autres modes de réglage de la vitesse moyenne V_t peuvent être utilisés et le choix de celui qui est le mieux adapté à un type de convertisseur particulier dépend évidemment des caractéristiques de celui-ci.

Parmi tous ces modes de réglage, on peut mentionner celui qui consiste à déterminer, à chaque instant t_0 , le sens de l'écart entre la position angulaire réelle du rotor 3 et sa position zéro, ainsi que le sens de la variation de la valeur de cet écart par rapport à la valeur qu'il avait à l'instant t_0 précédent, et à modifier le temps T_2 ou T_2' en fonction de ces deux informations.

Ce mode de réglage peut être avantageusement mis en oeuvre dans pratiquement n'importe quel type de convertisseur car l'influence de chacune des informations qu'il utilise sur la valeur de la modification imposée au temps T_2 ou T_2' peut être adaptée en fonction des caractéristiques du convertisseur de

manière à assurer une grande rapidité du réglage de la vitesse V_t tout en éliminant pratiquement tout risque d'oscillation exagérée de cette vitesse V_t autour de la vitesse de consigne V_c .

Les moyens nécessaires à la mise en oeuvre d'un tel mode de réglage, ou d'un autre mode de réglage qui serait mieux adapté dans ce cas particulier ou un autre, ne seront pas décrits ici car leur constitution dépend des caractéristiques du convertisseur mentionnées ci-dessus et leur réalisation est en outre à la portée de l'homme du métier.

Dans toutes les formes d'exécution du convertisseur selon l'invention qui viennent d'être décrites, la régulation de la vitesse moyenne du rotor est assurée en ajustant, pendant chaque période du signal de référence, la durée pendant laquelle il tourne à une vitesse supérieure à la vitesse de consigne en fonction de la mesure plus ou moins directe, faite au début de cette période, de sa vitesse moyenne pendant la période précédente du signal de référence. Il est évident que cette régulation peut également être assurée en ajustant, pendant chaque période du signal de référence, la durée pendant laquelle le rotor tourne à une vitesse inférieure à la vitesse de consigne en fonction de la même comparaison. Des formes d'exécution de convertisseurs selon l'invention faisant usage de cette possibilité n'ont pas été représentées car elles se déduisent aisément de celles qui ont été décrites ci-dessus.

Il faut encore noter que, dans toutes les formes d'exécution du convertisseur selon l'invention qui viennent d'être décrites, le compteur 25, 25' ou 25'' qui détermine la durée du temps T_2 ou T_2' peut être conçu de manière que son contenu prenne automatiquement une valeur prédéterminée au moment où, après la mise en marche du convertisseur, la tension aux bornes du condensateur 8 atteint une valeur suffisante pour que les circuits électroniques qu'elle alimente fonctionnent correctement. Cette valeur prédéterminée peut être égale, par exemple, à la moitié de la valeur maximum que peut prendre le contenu de ce compteur 25, 25' ou 25''.

Cette disposition, qui ne sera pas décrite plus en détail car sa réalisation est à la portée du spécialiste, permet de diminuer sensiblement le temps nécessaire pour que la vitesse moyenne du rotor 3 se stabilise à la vitesse de consigne lorsque le convertisseur est remis en marche après un arrêt.

Dans tous les convertisseurs qui ont été décrits ci-dessus, le rotor 3 tourne en permanence, tantôt à grande vitesse, tantôt à faible vitesse. La vitesse de consigne V_c ne peut donc pas être choisie à une valeur arbitrairement basse. Pratiquement, la valeur minimum qui peut être choisie est d'environ deux à trois tours par seconde.

La figure 7 représente le schéma d'un convertisseur dans lequel la vitesse de consigne V_c du rotor 3 peut être choisie à une valeur pratiquement aussi faible qu'on le désire. Dans l'exemple de cette figure 7, cette valeur a été choisie à 0,5 tour par seconde.

Le convertisseur de la figure 7 comporte, comme ceux qui ont été décrits ci-dessus, une source d'énergie mécanique constituée par un ressort de barillet, qui est semblable à ceux des précédents convertisseurs et qui n'a donc pas été représenté.

Ce ressort de barillet est relié, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages, également non représenté, au rotor 3 d'un générateur 50. Ce rotor 3 est également semblable aux rotors des générateurs des précédents convertisseurs, et comme ceux-ci, il est symbolisé par l'aimant permanent 3a qui en fait partie.

Le générateur 50 diffère du générateur 2 de la figure 1 uniquement par la présence de deux encoches 51 et 52 qui sont ménagées dans la paroi des épanouissements polaires qui entourent l'aimant 3a et qui sont diamétralement opposées l'une à l'autre.

Il est bien connu que la présence de ces encoches 51 et 52 a pour effet de créer un couple, généralement appelé couple de positionnement, qui s'exerce sur le rotor 3 et qui a une variation sensiblement sinusoïdale en fonction de la position angulaire du rotor 3, avec une période égale à 180° , c'est-à-dire à un demi-tour du rotor 3. Ce couple de positionnement a été représenté à la figure 8 avec la référence CP.

Par convention, le couple CP tend à faire tourner le rotor 3 dans le sens croissant de l'angle X lorsqu'il est représenté comme positif dans la figure 8, et dans le sens décroissant de l'angle X lorsqu'il est représenté comme négatif. La même convention sera utilisée pour la représentation des autres couples qui seront décrits plus loin.

En l'absence de toute autre influence, le couple CP tend donc à amener ou à maintenir le rotor 3 dans l'une ou l'autre de deux positions d'équilibre stable, qui sont désignées par CP1 et CP2 dans la figure 8.

Ces positions CP1 et CP2 sont celles pour lesquelles l'axe d'aimantation de l'aimant 3a du rotor 3 a une direction sensiblement perpendiculaire à la droite joignant le milieu des encoches 51 et 52. Dans l'exemple de la figure 7, la droite joignant le milieu des encoches 51 et 52 fait un angle de 10° avec la droite prise comme origine des angles X. Comme dans l'exemple de la figure 1, cette droite prise comme origine des angles X est perpendiculaire à la droite joignant le milieu des entrefers 5a et 5b.

En l'absence de toute autre influence, les deux positions d'équilibre stable CP1 et CP2 du rotor 3 sont donc celles où l'axe d'aimantation de l'aimant 3a fait un angle de 80° avec l'origine des angles X et un angle de 90° avec la droite joignant le milieu des encoches 51 et 52.

Cependant, dans le convertisseur de la figure 7, le rotor 3 est en outre soumis au couple moteur mécanique transmis par le train d'engrenages 4 qui le relie au ressort 1. Les divers composants du convertisseur sont choisis de manière que la valeur maximum de ce couple mécanique soit inférieure à la valeur maximum du couple de positionnement CP.

Une valeur arbitraire du couple mécanique a été représentée à la figure 8 avec la référence CM.

En l'absence de toute autre influence, le rotor 3 est donc soumis à un couple résultant égal à la somme du couple mécanique CM et du couple CP. Ce couple résultant a également été représenté à la figure 8 avec la référence CR.

Comme celle du couple CP, la variation du couple CR est périodique, avec une période égale à 180° . Comme en outre la valeur maximum du couple mécanique CM est inférieure à la valeur maximum du cou-

ple CP, le couple CR présente, sur un tour du rotor, quatre valeurs nulles dont deux, séparées par un angle de 180° , correspondent à des positions d'équilibre stable et les deux autres, également séparées par un angle de 180° , correspondent à des positions d'équilibre instable du rotor 3. Dans la figure 8, les deux positions d'équilibre stable ont été désignées par P1 et P2 et les deux positions d'équilibre instable ont été désignées par P3 et P4.

Le convertisseur de la figure 7 comporte des moyens de freinage 11, un redresseur 7 et un condensateur 8 semblables à ceux de la figure 1 et qui ne seront pas décrits à nouveau ici.

Le convertisseur de la figure 7 comporte également un circuit 53 de commande des moyens de freinage 11. Ce circuit 53 comprend un oscillateur 54 qui délivre un signal sous la forme d'impulsions ayant une fréquence de 32'768 Hz par exemple.

La sortie de l'oscillateur 54 est reliée à l'entrée d'un compteur 55 composé de quinze flip-flops qui n'ont pas été représentés séparément. Ces quinze flip-flops sont connectés les uns aux autres en cascade de manière classique, de sorte que la capacité de comptage du compteur 55 est égale à 32'768.

Le compteur 55 comporte une sortie 55a constituée par la sortie inverse du quinzième des flip-flops ci-dessus et qui délivre donc un signal ayant une période de 1 seconde. Cette sortie 55a est reliée aux entrées d'horloge Ck de trois flip-flops 56, 57 et 58, tous trois de type T.

Le compteur 55 comporte en outre des sorties 55b, 55c et 55d qui sont constituées par les sorties directes de ses cinquième, septième et huitième flip-flops. Ces sorties 55b, 55c et 55d délivrent donc des signaux ayant respectivement des fréquences de 2048 Hz, 256 Hz et 128 Hz.

Les sorties 55b, 55c et 55d du compteur 55 sont reliées aux entrées d'une porte ET 59 dont la sortie est reliée à l'entrée R de remise à zéro du flip-flop 56.

Les sorties 55b et 55c du compteur 55 sont reliées aux entrées d'une autre porte ET 60 dont la sortie est reliée à l'entrée R de remise à zéro du flip-flop 58.

La sortie Q du flip-flop 56 est reliée à l'électrode de commande 14a de la porte de transmission 14.

Les sorties Q des flip-flops 57 et 58 sont reliées aux entrées d'une porte NON-ET 61 dont la sortie est reliée à l'électrode de commande d'un transistor MOS de type P désigné par Tr1.

La sortie Q du flip-flop 58 est en outre reliée à une entrée d'une porte ET 62 ayant une deuxième entrée reliée à la sortie Q du flip-flop 57. La sortie de la porte 62 est reliée à l'électrode de commande d'un transistor MOS de type N désigné par Tr2.

Les drains des transistor Tr1 et Tr2 sont reliés, ensemble, à la borne 6b de la bobine 6 et leurs sources sont reliées respectivement aux bornes 8b et 8a du condensateur 8. Les liaisons de ces sources avec ces bornes n'ont pas été représentées. Comme dans le cas de la figure 1, ces bornes 8a et 8b constituent respectivement les bornes négative et positive de l'alimentation du circuit.

Le fonctionnement du convertisseur de la figure 7 va être décrit à l'aide des figures 8, déjà mentionnée, et 9 qui représente les états logiques mesurés en quelques points du circuit 53.

La sortie 55a du compteur 55 délivre un signal ayant une période de 1 seconde dont il sera montré par la suite qu'il constitue un signal de référence comparable aux signaux de référence décrits ci-dessus. Les instants où ce signal 55a passe à l'état «1» seront désignés par t_0 , comme ci-dessus.

Il sera rendu évident par la suite de cette description que, juste avant chaque instant t_0 , le rotor 3 est arrêté dans l'une ou l'autre de ses positions d'équilibre stable P1 et P2, et la sortie Q du flip-flop 56 est à l'état «1». La porte de transmission 14 est donc conductrice, et la résistance de freinage 13 est reliée en parallèle avec la bobine 6. Si, dans cette situation, le rotor 3 est soumis à une accélération angulaire due, par exemple, à un choc, il est donc freiné par le couple CR et par le couple dû au courant induit par le déplacement du rotor et circulant dans cette résistance 13, et ramené à sa position d'équilibre par le couple CR.

Egalement juste avant chaque instant t_0 , la sortie Q du flip-flop 58 est à l'état «0». Les sorties des portes 61 et 62 sont donc respectivement à l'état «1» et à l'état «0», et les deux transistors Tr1 et Tr2 sont bloqués.

On admettra que, avant l'instant t_0 où commence cette description, qui sera désigné par t_{01} , le rotor 3 est arrêté dans la position P1.

On admettra encore que, toujours avant l'instant t_{01} , la sortie Q du flip-flop 57 est à l'état «0».

On admettra enfin que la bobine 6 est conformée et disposée sur le stator 5 de manière que lorsque sa borne 6b est reliée au pôle positif de l'alimentation, d'une manière qui sera décrite plus loin, elle crée un champ magnétique qui provoque la rotation du rotor 3 dans le sens positif de l'angle X lorsque ce rotor 3 se trouve dans sa position d'équilibre stable P1. De même, lorsque la borne 6b de la bobine 6 est reliée au pôle négatif de l'alimentation, le champ magnétique créé par cette bobine 6 provoque la rotation du rotor 3 également dans le sens positif de l'angle X, mais lorsque ce rotor 3 se trouve dans sa position d'équilibre stable P2.

A l'instant t_{01} , la sortie 55a du compteur 55 passe à l'état «1». Au même instant, les sorties 55b, 55c et 55d de ce compteur 55 passent à l'état «0». Les entrées R des flip-flops 56 et 58 passent donc à l'état «0». La sortie Q du flip-flop 56 passe donc à l'état «0», ce qui bloque la porte de transmission 14, et les sorties Q des flip-flop 57 et 58 passent à l'état «1».

Le blocage de la porte de transmission 14 ne suffit pas à provoquer la rotation du rotor 3, puisque ce dernier n'est soumis qu'au couple CR qui tend à le maintenir à la position P1.

En même temps que la porte de transmission 14 est bloquée, le transistor Tr1 est rendu conducteur par l'état «0» qui apparaît à la sortie de la porte 61. La borne 6b de la bobine 6 est donc reliée au pôle positif de l'alimentation du circuit, et un courant commence à circuler dans cette bobine 6, dans le sens de la flèche I. Le champ magnétique produit par ce courant provoque la rotation du rotor dans le sens croissant de l'angle X.

Le générateur 50 fonctionne donc, immédiatement après l'instant t_{01} , comme un moteur.

A un instant t_{31} situé, dans le présent exemple, 2,2,

millisecondes après l'instant t_{01} , la sortie 55b du compteur 55 passe à l'état «1». La sortie 55c du compteur 55 étant déjà à «1» à cet instant, la sortie de la porte 60 passe aussi à l'état «1». Le flip-flop 58 bascule donc dans l'état où sa sortie Q est à l'état «0».

Le transistor Tr1 est donc bloqué par l'état «1» qui apparaît à la sortie de la porte 61, et le courant circulant dans la bobine 6 est interrompu.

Les caractéristiques du générateur 50 et la durée du temps T3 séparant les instants t_{01} et t_{31} ont été choisies de manière que le rotor 3 se trouve à proximité de sa position d'équilibre instable P3 à l'instant t_{31} et que, s'il n'a pas atteint cette position P3 à cet instant, son énergie cinétique soit suffisante pour qu'il l'atteigne et la dépasse.

Après que le rotor 3 a dépassé la position P3, il est entraîné en rotation, toujours dans le sens croissant de l'angle X, par le couple CR qui est alors positif.

Cette situation dure pendant un temps T4, jusqu'à un instant t_{41} situé, dans le présent exemple, environ 6 millisecondes après l'instant t_{01} , ou, ce qui revient au même, environ 3,8 millisecondes après l'instant t_{31} . A cet instant t_{41} , la sortie 55b du compteur 55 passe à l'état «1» alors que les sorties 55c et 55d de ce compteur 55 sont déjà à l'état «1». La sortie de la porte 59 passe donc également à l'état «1», ce qui remet la sortie Q du flip-flop 56 également à l'état «1». La porte de transmission 14 devient donc conductrice, et la résistance 13 est branchée aux bornes de la bobine 6.

Le rotor 3, qui se trouve à cet instant t_{41} dans une position intermédiaire Pf1 située entre son point d'équilibre instable P3 et son point d'équilibre stable P2, est donc freiné, et sa vitesse diminue fortement. Il continue à tourner à vitesse lente en réponse au couple CR qui diminue et qui s'annule lorsque le rotor 3 atteint sa deuxième position d'équilibre stable P2. Le rotor 3 s'arrête donc dans cette position P2, après avoir fait quelques oscillations autour de celle-ci.

Le même processus se reproduit à l'instant t_{02} suivant, à la seule différence que le flip-flop 57 bascule cette fois dans l'état où sa sortie Q est à l'état «0» et sa sortie Q à l'état «1». C'est donc le transistor Tr2 qui devient conducteur en réponse à l'état «1» appliqué sur son électrode de commande par la sortie de la porte 62.

La borne 6b de la bobine 6 est donc reliée, cette fois, au pôle négatif de l'alimentation, et un courant commence à circuler dans cette bobine 6, dans le sens inverse de la flèche I. Comme le rotor se trouve à la position P2 à l'instant t_{02} , le champ produit par ce courant provoque la rotation du rotor 3 à nouveau dans le sens de l'angle X croissant. Le générateur 50 fonctionne donc à nouveau comme un moteur.

Comme ci-dessus, la sortie de la porte 60 passe à l'état «1» après un temps T3, à un instant situé environ 2,2 millisecondes après l'instant t_{02} et désigné par t_{32} . La sortie Q du flip-flop 58 repasse donc à l'état «0», ce qui provoque le blocage du transistor Tr2.

Egalement comme ci-dessus, le rotor 3 continue sa rotation sous l'influence de son énergie cinétique et du couple CR pendant un temps T4, jusqu'à ce que la sortie de la porte 59 passe à l'état «1», à un instant

désigné par t42 et situé environ 3,8 millisecondes après l'instant t32 où le rotor 3 se trouve dans une position intermédiaire Pf2 située entre ses positions P4 et P1.

A partir de cet instant t42, la porte de transmission 14 est conductrice et le rotor 3 est freiné. Le rotor 3 continue à tourner à faible vitesse jusqu'à ce qu'il atteigne à nouveau la position d'équilibre stable P1 où il s'arrête jusqu'à l'instant t0 suivant. Le processus décrit ci-dessus recommence bien entendu à chaque instant t0.

On voit que la vitesse moyenne de rotation du rotor 3 est bien égale à la vitesse de consigne Vc qui a été choisie, soit dans cet exemple 0,5 tour par seconde. En outre, comme dans les autres formes d'exécution décrites précédemment, la période du signal de référence est égale au rapport entre un angle prédéterminé de rotation du rotor, 180°, et la vitesse de consigne Vc. Le facteur k mentionné ci-dessus est donc égal à 0,5, comme dans le cas de la figure 5.

Les pertes mécaniques et magnétiques dans le convertisseur de la figure 7, qui sont dépendantes de cette vitesse de consigne Vc, sont donc encore plus faibles que dans les convertisseurs des figures 1 et 5.

On voit également que cette vitesse moyenne est indépendante du temps mis effectivement par le rotor 3 pour faire un demi-tour, à condition bien entendu que ce temps ne soit pas supérieur à la période du signal de référence produit par la sortie 55a du compteur 55.

Si cette condition est remplie, ce qui est pratiquement toujours le cas, la vitesse moyenne du rotor 3 ne dépend que de la période du signal de référence. Dans une pièce d'horlogerie ne comportant pas d'aiguille des secondes, il serait donc possible de choisir une valeur encore plus faible que 0,5 tour par seconde pour cette vitesse moyenne.

Il faut cependant noter que la capacité du condensateur de stockage 8 doit être d'autant plus grande que cette vitesse moyenne est faible. Ce condensateur 8 doit en effet assurer l'alimentation des divers éléments électroniques pendant tout le temps qui sépare deux fournitures d'énergie électrique par le générateur 50, sans que la tension à ses bornes varie dans une trop large mesure.

Le volume d'un condensateur étant proportionnel à sa capacité, il peut s'avérer impossible de choisir pour la vitesse de consigne Vc une valeur très faible, le condensateur 8 alors nécessaire étant trop volumineux pour entrer dans une pièce d'horlogerie telle que, par exemple, une montre-bracelet.

Comme cela ressort de la description qui vient d'être faite, chaque demi-tour du rotor 3 se décompose en trois phases:

Pendant la première phase, qui commence à chaque instant t0 et qui se termine après un temps T3, soit environ 2,2 millisecondes dans cet exemple, le générateur 50 fonctionne comme un moteur pas à pas. Il reçoit du condensateur de stockage 8 une certaine quantité d'énergie électrique, qu'il transforme, avec un certain rendement, en une énergie mécanique qu'il utilise pour faire tourner son rotor de sa position P1 ou P2, à sa position P3 ou, respectivement, P4. La grandeur de cette énergie mécanique est proportionnelle à la surface de chacune des zones Z1

délimitées par l'axe des X et la partie négative de la courbe CR dans la figure 8.

Pendant la deuxième phase, qui commence à la fin de la première et qui dure pendant un temps T4, soit environ 3,8 millisecondes dans cet exemple, le rotor 3 du générateur 50 tourne à grande vitesse sous l'influence du couple CR. Le générateur 50 produit donc une certaine quantité d'énergie électrique, comme les générateurs 2 et 30 des figures 1 et 5. Cette quantité d'énergie produite est sensiblement proportionnelle à la surface de chacune des zones Z2 délimitées par l'axe des X et la partie positive de la courbe CR dans la figure 8, entre les points P3 et Pf1 ou P4 et Pf2.

Des considérations théoriques qui ne seront pas reproduites ici, confirmées par des essais pratiques, montrent qu'il est possible de dimensionner les différents composants du convertisseur de manière que la différence entre la quantité d'énergie électrique produite pendant la deuxième phase et la quantité d'énergie électrique consommée pendant la première phase soit suffisante pour que les circuits électroniques du convertisseur de la figure 7 fonctionnent correctement jusqu'à ce que le ressort 1 soit presque complètement désarmé.

Pendant la troisième phase, qui commence environ 6 millisecondes après chaque instant t0 dans le présent exemple et qui dure jusqu'à ce que le rotor 3 s'arrête dans l'une de ses positions d'équilibre stable P1 et P2, le générateur 50 produit encore une certaine quantité d'énergie électrique, mais cette énergie est dissipée dans la résistance 13, ce qui provoque le freinage du rotor 3. Le rotor 3 reste ensuite immobile jusqu'à l'instant t0 suivant où le processus décrit ci-dessus recommence.

Il est évident que lorsque le convertisseur de la figure 7 cesse de fonctionner parce que le ressort 1 est détendu, le condensateur 8 se décharge et la tension à ses bornes devient nulle.

Lorsque le ressort 1 est remonté, après un tel arrêt, le convertisseur ne recommence pas à fonctionner si des moyens adéquats ne sont pas prévus à cet effet, puisque le couple moteur mécanique appliqué par le ressort 1 au rotor 3 par l'intermédiaire du train d'engrenages 4 est inférieur au couple de positionnement créé par les encoches 51 et 52, et que plus aucune énergie électrique n'est disponible dans le condensateur 8 pour surmonter ce couple de positionnement.

Les moyens nécessaires à la remise en marche du convertisseur peuvent être de nature mécanique. Ils peuvent par exemple être constitués par un embrayage répondant à une rotation rapide d'une tige de commande, telle que la tige de mise à l'heure de la montre, pour relier cette tige de commande au rotor 3.

Ces moyens peuvent également être de nature électrique. Ils peuvent par exemple être constitués par une cellule photoélectrique branchée en parallèle avec le condensateur 8 et susceptible de charger ce dernier lorsqu'elle reçoit une quantité de lumière suffisante.

Une telle cellule a été représentée à la figure 7, en pointillé, avec la référence 63.

Dans les convertisseurs décrits ci-dessus, le rotor

du générateur comporte un seul aimant permanent n'ayant qu'une seule paire de pôles magnétiques. La tension produite par ce générateur présente donc une période complète pour chaque tour du rotor. En outre la période du signal de référence est égale au rapport entre un angle prédéterminé de rotation du rotor et la vitesse de consigne V_c , cet angle prédéterminé étant égal à $k \cdot 360^\circ$ avec de préférence, k égal à 0,5 ou à un nombre entier égal ou supérieur à 1.

Il est évident que dans toutes les formes d'exécution du convertisseur selon l'invention décrites ci-dessus, l'aimant permanent du rotor du générateur peut comporter non pas une mais p paires de pôles magnétiques, avec p entier. Dans un tel cas, qui n'a pas été représenté, la tension produite par le générateur présente donc p périodes par tour du rotor. L'angle prédéterminé mentionné ci-dessus est alors évidemment égal à $k \cdot 360^\circ/p$, la période du signal de référence devant toujours être égale au rapport entre cet angle prédéterminé et la vitesse de consigne.

Les mêmes considérations peuvent être faites si le rotor du générateur comporte non pas un seul aimant permanent mais, comme le rotor du générateur décrit dans le brevet CH-B-597 636 mentionné ci-dessus, une pluralité d'aimants disposés à la périphérie d'un disque rotatif. Dans un tel cas, le nombre p ci-dessus est évidemment égal à la moitié du nombre de ces aimants.

Un générateur selon l'invention peut également ne pas comporter de stator pour coupler magnétiquement son ou ses aimants à sa ou ses bobines.

Il faut encore noter que, dans tous les convertisseurs selon l'invention qui ont été décrits ci-dessus, le condensateur 8 de stockage de l'énergie électrique peut être remplacé sans difficulté par un accumulateur rechargeable.

Revendications

1. Convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique comportant:

— un générateur d'énergie électrique (2; 30; 50) comprenant un rotor (3) et des moyens (6, 7; 40, 41, 7) pour produire ladite énergie électrique en réponse à une rotation dudit rotor (3);

— des moyens (8) de stockage au moins temporaire de ladite énergie électrique;

— une source d'énergie mécanique (1) reliée mécaniquement audit rotor (3) et susceptible de produire un couple moteur mécanique pour entraîner ledit rotor (3) à une première vitesse supérieure à une vitesse de consigne prédéterminée en l'absence de toute autre influence;

— des moyens (21, 22; 22'; 22''; 54, 55) pour produire un signal de référence périodique ayant une période égale au rapport entre un angle prédéterminé de rotation dudit rotor (3) et ladite vitesse de consigne;

— des moyens (23 à 28; 23, 24', 25', 26 à 29; 23, 24'', 25'', 26, 27, 28''; 56, 59) pour produire un signal de commande ayant un premier et un second état; et

— des moyens (11; 11') de freinage électrique dudit rotor (3) susceptibles de répondre audit premier

état du signal de commande pour provoquer l'application audit rotor (3) d'un couple de freinage s'opposant audit couple moteur mécanique et imposant audit rotor (3) une deuxième vitesse inférieure en moyenne à ladite vitesse de consigne et susceptibles de répondre audit deuxième état du signal de commande pour supprimer ladite application au rotor (3) dudit couple de freinage;

caractérisé par le fait que lesdits moyens (23 à 28; 23, 24', 25', 26 à 29; 23, 24'', 25'', 26, 27, 28''; 56, 59) pour produire un signal de commande comportent des moyens (23, 56) pour mettre ledit signal de commande dans un desdits états à chaque instant d'une pluralité de premiers instants se succédant périodiquement avec une période égale à celle dudit signal de référence, et des moyens (24 à 28; 24', 25', 26 à 29; 24'', 25'', 26, 27, 28''; 59) pour mettre ledit signal de commande dans l'autre desdits états à des deuxièmes instants séparés, chacun, du premier instant immédiatement précédent par un intervalle de temps ayant une durée inférieure à ladite période du signal de référence.

2. Convertisseur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que lesdits moyens (24 à 28; 24', 25', 26 à 29; 24'', 25'', 26, 27, 28'') pour mettre le signal de commande dans l'autre de ses états comportent des moyens (26 à 28; 26 à 29; 26, 27, 28'') pour produire un signal de comparaison entre la position réelle dudit rotor (3) à chaque premier instant et la position qu'il occuperait s'il tournait à ladite vitesse de consigne, et des moyens (24, 25; 24', 25'; 24'', 25'') pour ajuster la durée de l'intervalle de temps suivant immédiatement ledit chaque premier instant en réponse audit signal de comparaison.

3. Convertisseur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que lesdits moyens (56) pour mettre le signal de commande dans un de ses états à chaque premier instant mettent le signal de commande dans son deuxième état à chaque premier instant, ledit intervalle de temps a une valeur fixe prédéterminée, ledit générateur (50) comporte en outre des moyens (51, 52) pour appliquer audit rotor (3) un couple de positionnement ayant une valeur maximum supérieure audit couple moteur mécanique, et ledit convertisseur comporte en outre des moyens (Tr1, Tr2) pour appliquer temporairement audit rotor (3), à partir de chaque premier instant, un couple moteur électrique ayant le même sens que ledit couple moteur mécanique, la somme des deux couples moteurs étant supérieure au couple de positionnement.

4. Convertisseur selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé par le fait que lesdits moyens de freinage (11; 11') sont séparés desdits moyens de stockage (8) par au moins un élément unidirectionnel (7) autorisant le transfert de ladite énergie électrique depuis ledit générateur (2; 30; 50) vers lesdits moyens de stockage (8) et interdisant le transfert de ladite énergie depuis desdits moyens de stockage (8) vers lesdits moyens de freinage (11; 11').

5. Convertisseur selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisé par le fait que ledit rotor (3) comporte un aimant permanent (3a) ayant au moins une paire de pôles magnétiques définissant un axe d'aimantation et entraîné en rotation avec ledit rotor autour d'un axe de rotation (3b) sensiblement perpendiculaire

audit axe d'aimantation, et que lesdits moyens pour produire l'énergie électrique comportent une bobine (6; 40) couplée magnétiquement audit aimant permanent (3a).

6. Convertisseur selon la revendication 5, caractérisé par le fait que lesdits moyens pour produire l'énergie électrique comportent en outre un circuit redresseur (7) intercalé entre ladite bobine (6; 40) et lesdits moyens de stockage (8), et que lesdits moyens de freinage (11; 11') sont connectés entre ladite bobine (6; 40) et ledit circuit redresseur (7).

7. Convertisseur selon la revendication 5, caractérisé par le fait que ledit générateur (30) comporte une deuxième bobine (41) couplée magnétiquement audit aimant permanent (3a) et que ledit convertisseur comporte des deuxième moyens (42) de freinage électrique du rotor (3) connectés à ladite deuxième bobine (41) et également susceptibles de répondre audit premier état du signal de commande pour provoquer l'application audit rotor (3) d'un couple de freinage.

8. Convertisseur selon la revendication 5, caractérisé par le fait que ledit angle prédéterminé est égal à $k \cdot 360^\circ/p$, avec k égal à 0,5 ou à un nombre entier égal ou supérieur à 1 et p égal au nombre de paires de pôles dudit aimant permanent (3a).

Patentansprüche

1. Umsetzer von mechanischer in elektrische Energie, umfassend:

— einen Elektroenergiegenerator (2; 30; 50) mit einem Rotor (3) und Mitteln (6, 7; 40, 41, 7) zum Erzeugen der elektrischen Energie im Ansprechen auf eine Rotation des Rotors (3),

— Mittel (8) zum mindestens temporären Speichern der elektrischen Energie,

— eine Quelle für mechanische Energie (1), mechanisch mit dem Rotor (3) verbunden und ausgebildet zum Erzeugen eines mechanischen Antriebsmoments zum Antrieb des Rotors (3) mit einer ersten, über einer vorbestimmten Sollgeschwindigkeit liegenden Geschwindigkeit bei Fehlen jeglichen sonstigen Einflusses.

— Mittel (21, 22; 22'; 22''; 54, 55) zum Erzeugen eines periodischen Referenzsignals mit einer Periode gleich dem Verhältnis zwischen einem vorbestimmten Drehwinkel des Rotors (3) und der Sollgeschwindigkeit,

— Mittel (23 bis 28; 23, 24', 25', 26 bis 29; 23, 24'', 25'', 26, 27, 28''; 56, 59) zum Erzeugen eines Steuersignals mit einem ersten und einem zweiten Zustand, und

— Mittel (11; 11') zum elektrischen Bremsen des Rotors (3), ansprechend auf den ersten Zustand des Steuersignals um die Einwirkung eines Bremsmoments auf den Rotor (3) auszulösen, das dem mechanischen Antriebsmoment entgegengerichtet ist und dem Rotor (3) eine zweite Geschwindigkeit aufzwingt, die im Mittel unter der Sollgeschwindigkeit liegt, und ansprechend auf den zweiten Zustand des Steuersignals um die Einwirkung des Bremsmoments auf den Rotor (3) unterzudrücken,

dadurch gekennzeichnet, daß die genannten Mittel

(23 bis 28; 23, 24', 25', 26 bis 29; 23, 24'', 25'', 26, 27, 28''; 56, 59) für das Erzeugen des Steuersignals Mittel (23, 56) umfassen zum Versetzen des Steuersignals in einen der genannten Zustände bei jedem Zeitpunkt einer Mehrzahl von ersten Zeitpunkten, die einander periodisch folgen mit einer Periode gleich derjenigen des Referenzsignals, sowie Mittel (24 bis 28; 24', 25', 26 bis 29; 24'', 25'', 26, 27, 28''; 59) zum Versetzen des Steuersignals in den andern der genannten Zustände bei zweiten Zeitpunkten, die jeweils von dem unmittelbar vorangehenden ersten Zeitpunkt durch ein Zeitintervall getrennt sind, das eine Dauer hat, die kleiner als die Periode des Referenzsignals ist.

2. Umsetzer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die genannten Mittel (24 bis 28; 24', 25', 26 bis 29; 24'', 25'', 26, 27, 28'') zum Versetzen des Steuersignals in den andern seiner Zustände Mittel (26 bis 28; 26 bis 29; 26, 27, 28'') umfassen zum Erzeugen eines Vergleichssignals zwischen der realen Position des Rotors (3) bei jedem ersten Zeitpunkt und derjenigen Position, die er einnähme, wenn er mit der Sollgeschwindigkeit liefe, sowie Mittel (24, 25; 24', 25', 24'', 25'') umfassen zum Einstellen der Dauer des unmittelbar folgenden Zeitintervalls nach jedem ersten Zeitpunkt im Ansprechen auf das Vergleichssignal.

3. Umsetzer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel (56) zum Versetzen des Steuersignals in einen seiner Zustände zu jedem ersten Zeitpunkt das Steuersignal in seinen zweiten Zustand versetzen, das Zeitintervall einen festen vorbestimmten Wert hat, der Generator (50) ferner Mittel (51, 52) umfaßt zum Einwirkenlassen auf den Rotor (3) eines Positioniermoments mit einem Maximalwert, der größer ist als das mechanische Antriebsmoment, und daß der Umsetzer ferner Mittel (Tr1, Tr2) umfaßt zum temporären Einwirkenlassen auf den Rotor (3), ausgehend von jedem ersten Zeitpunkt, eines elektrischen Antriebsmoments gleicher Richtung wie das mechanische Antriebsmoment, wobei die Summe der beiden Antriebsmomente größer ist als das Positioniermoment.

4. Umsetzer nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die genannten Bremsmittel (11, 11') von den Speichermitteln (8) durch mindestens ein unidirektionelles Element (7) getrennt sind, das den Transfer der elektrischen Energie von dem Generator (2; 30; 50) zu den Speichermitteln (8) zuläßt und den Transfer der Energie von den Speichermitteln (8) zu den Bremsmitteln (11, 11') sperrt.

5. Umsetzer nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Rotor (3) einen Permanentmagneten (3a) umfaßt mit mindestens einem Paar von Magnetpolen, die eine Magnetisierungsachse definieren, der mit dem Rotor zur Drehung um eine Drehachse angetrieben ist, die im wesentlichen senkrecht zur Magnetisierungsachse verläuft, und daß die Mittel zum Erzeugen elektrischer Energie eine Spule (6; 40) umfassen, die magnetisch mit dem Permanentmagneten (3a) gekoppelt ist.

6. Umsetzer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel für das Erzeugen elektrischer Energie ferner einen Gleichrichter-Schaltkreis (7) umfassen, eingefügt zwischen der Spule (6; 40) und den Speichermitteln (8), und daß die Bremsmittel

(11; 11') zwischen die Spule (6; 40) und den Gleichrichter-Schaltkreis (7) geschaltet sind.

7. Umsetzer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Generator (30) eine zweite Spule (41) umfaßt, die magnetisch mit dem Permanentmagneten (3a) gekoppelt ist, und daß der Umsetzer zweite elektrische Rotor-(3)-Bremsmittel (42) umfaßt, angeschlossen an die zweite Spule (41) und ebenfalls ansprechend auf den ersten Zustand des Steuersignals um die Einwirkung eines Bremsmoments auf den Rotor (3) auszulösen.

8. Umsetzer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der vorbestimmte Winkel gleich $k \cdot 360^\circ/p$ ist mit k gleich 0,5 oder einer ganzen Zahl gleich oder größer als 1 und p gleich der Anzahl von Polen des Permanentmagneten (3a).

Claims

1. A mechanical-to-electrical energy converter which comprises:

— an electrical energy generator (2; 30; 50) having a rotor (3) and means (6, 7; 40, 41, 7) for generating said electrical energy in response to rotation of said rotor (3);

— means (8) for storing at least temporarily said electrical energy;

— a mechanical energy source (1) connected mechanically to said rotor (3) and able to generate a mechanical driving torque for driving said rotor (3) at a first speed greater than a predetermined set speed in the absence of any other influence;

— means (21, 22; 22'; 22''; 54, 55) for generating a periodic reference signal having a period equal to the ratio between a predetermined angle of rotation of said rotor (3) and said set speed;

— means (23 to 28; 23, 24', 25', 26 to 29; 23, 24'', 25'', 26, 27, 28''; 56, 59) for generating a control signal having a first and a second state; and

— means (11; 11') for electrically braking said rotor (3) able to respond to said first state of the control signal to cause the application to said rotor (3) of a braking torque opposed to said mechanical driving torque and imposing on said rotor (3) a second speed lower on average than said set speed and able to respond to said second state of the control signal to stop said application to the rotor (3) of said braking torque;

characterized in that said means (23 to 28; 23, 24', 25', 26 to 29; 23, 24'', 25'', 26, 27, 28''; 56, 59) for generating a control signal include means (23, 56) for putting said control signal into one of said states at each one of a plurality of first instants that follow each other periodically with a period equal to that of said reference signal, and means (24 to 28; 24', 25', 26 to 29; 24'', 25'', 26, 27, 28''; 59) for putting said control signal into the other of said states at second instants, each separated from the immediately preceding first instant by a time interval having a duration less than said reference signal period.

2. A converter as in claim 1, characterized in that said means (24 to 28; 24', 25', 26 to 29; 24'', 25'', 26, 27, 28''') for putting the control signal into its other state include means (26 to 28; 26 to 29; 26, 27, 28''') for generating a comparison signal between the real position of said rotor (3) at each first instant and the position it would be in if it were to rotate at said set speed, and means (24, 25; 24', 25'; 24'', 25'') for adjusting the duration of the time interval that immediately follows each first instant in response to said comparison signal.

3. A converter as in claim 1, characterized in that said means (56) for putting the control signal into one of its states at each first instant sets the control signal into its second state at each first instant, said time interval has a predetermined fixed value, said generator (50) further has means (51, 52) for subjecting said rotor (3) to a positioning torque having a maximum value greater than said mechanical driving torque, and said converter further comprises means (Tr1, Tr2) for applying temporarily to said rotor (3), from each said first instant, an electrical driving torque having the same direction as said mechanical driving torque, the sum of said two driving torques being greater than said positioning torque.

4. A converter as in claim 1, 2 or 3, characterized in that said breaking means (11; 11') are separated from said storage means (8) by at least one unidirectional component (7) enabling the transfer of said electrical energy from said generator (2; 30; 50) to said storage means (8) and prohibiting the transfer of said energy from said storage means (8) to said braking means (11; 11').

5. A converter as in claim 1, 2 or 3, characterized in that said rotor (3) includes a permanent magnet (3a) which has at least one pair of magnetic poles defining a magnetization axis and which is rotatably driven with said rotor around an axis of rotation (3b) substantially perpendicular to said magnetization axis, and in that said means for generating said electrical energy include a coil (6; 40) coupled magnetically to said permanent magnet (3a).

6. A converter as in claim 5, characterized in that said means for generating the electrical energy further include a rectifying circuit (7) positioned between said coil (6; 40) and said storage means (8), and in that said braking means (11; 11') are connected between said coil (6; 40) and said rectifying circuit (7).

7. A converter as in claim 5, characterized in that said generator (30) has a second coil (41) coupled magnetically to said permanent magnet (3a) and in that said converter further comprises second means (42) for electrically braking said rotor (3) that are connected to said second coil (41) and that are also able to respond to said first state of the control signal to cause a braking torque to be applied to said rotor (3).

8. A converter as in claim 5, characterized in that said predetermined angle is equal to $k \cdot 360^\circ/p$, where k is equal to 0.5 or to an integer equal to or greater than 1 and where p is equal to the number of pairs of poles in said permanent magnet (3a).

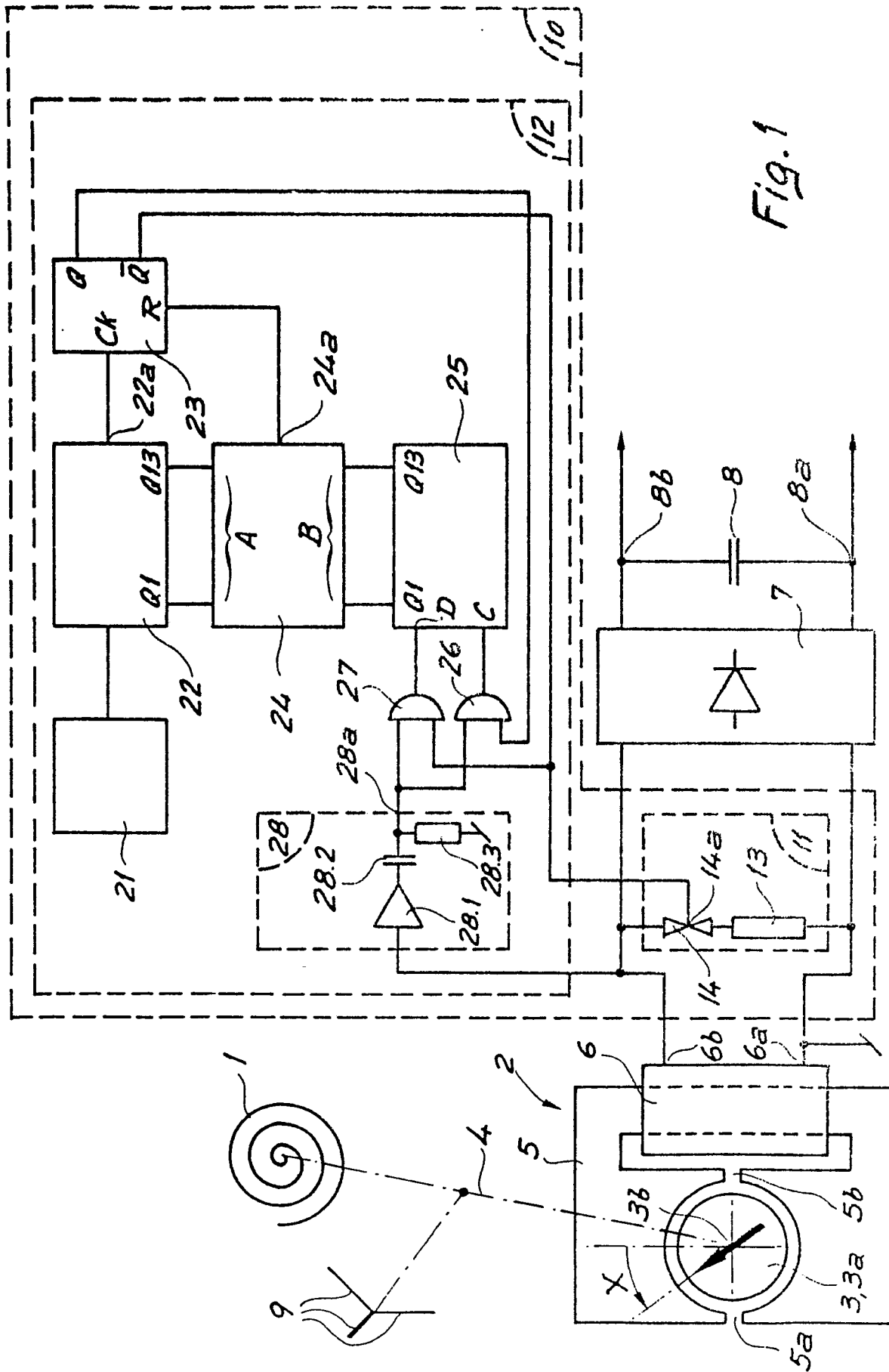


Fig. 1

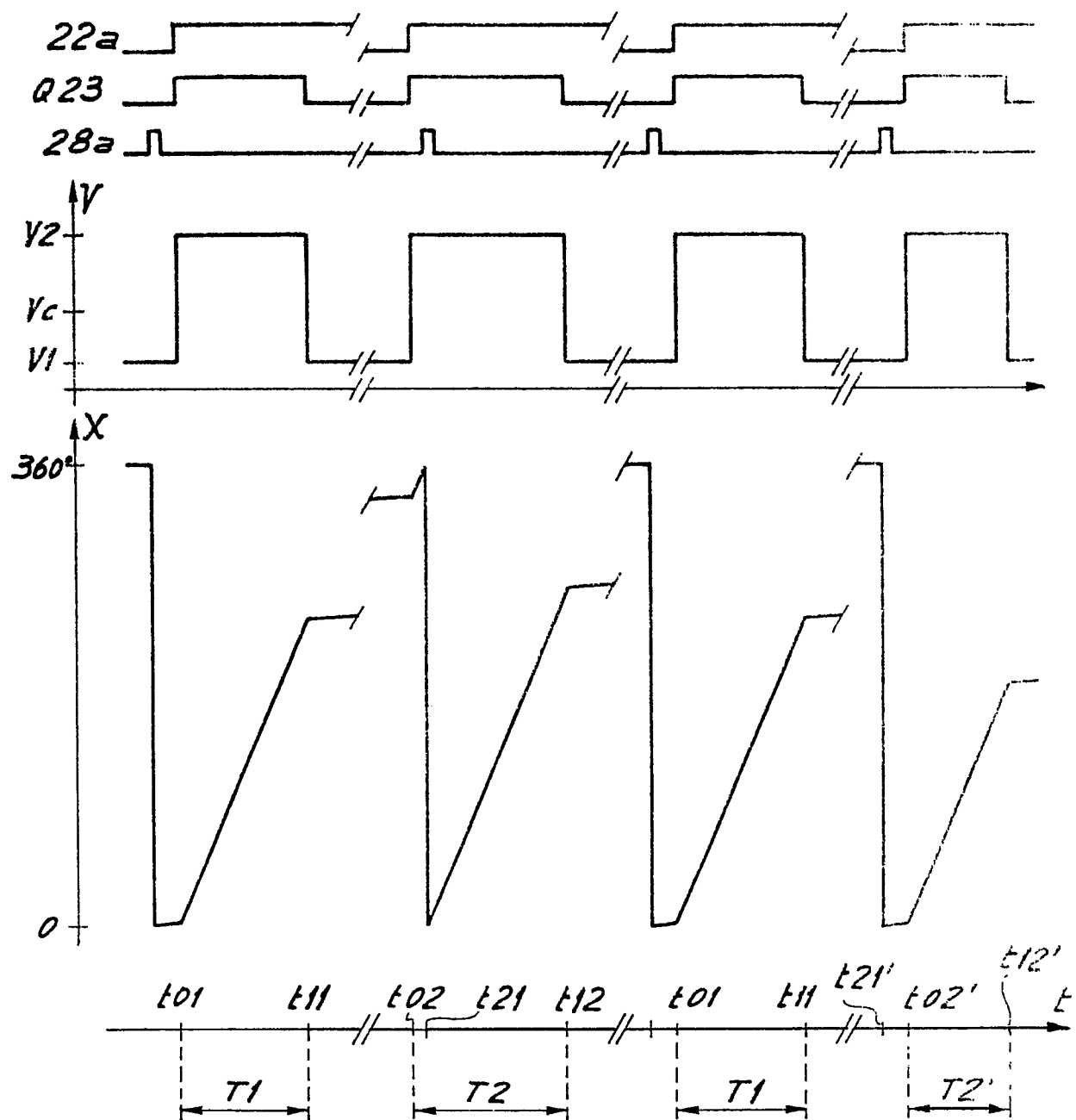


Fig. 2a

Fig. 2b

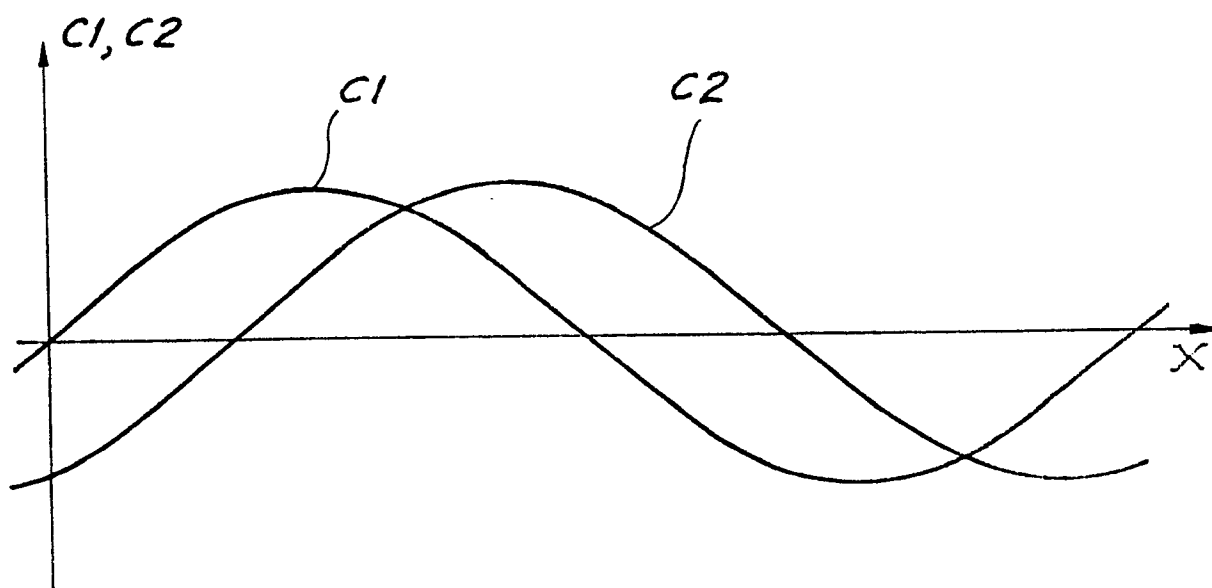


Fig. 3

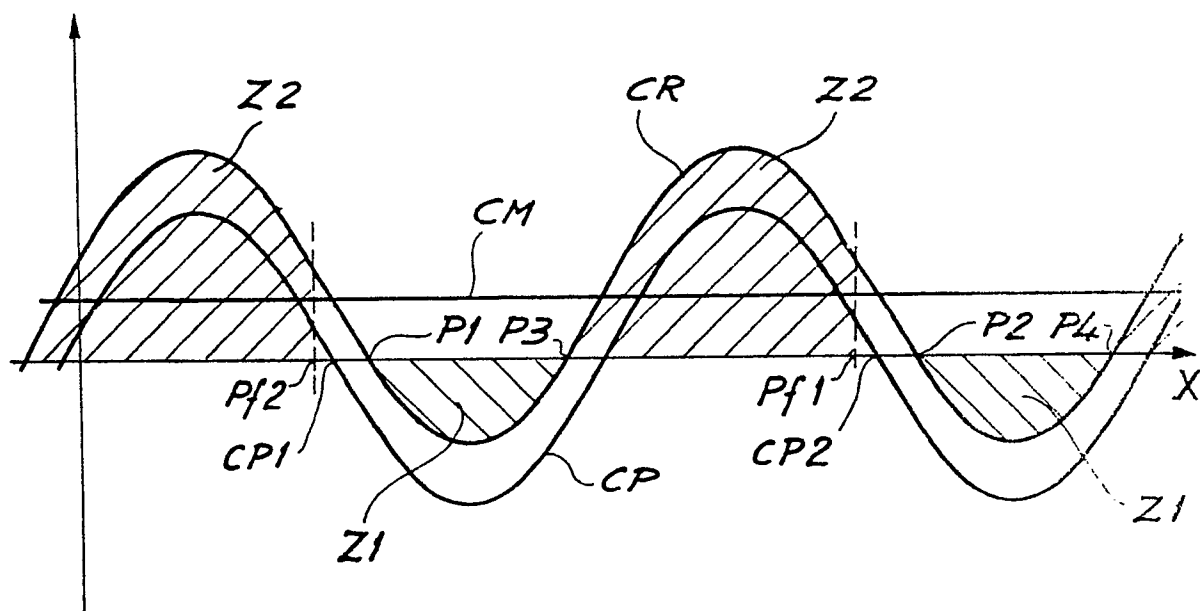


Fig. 8

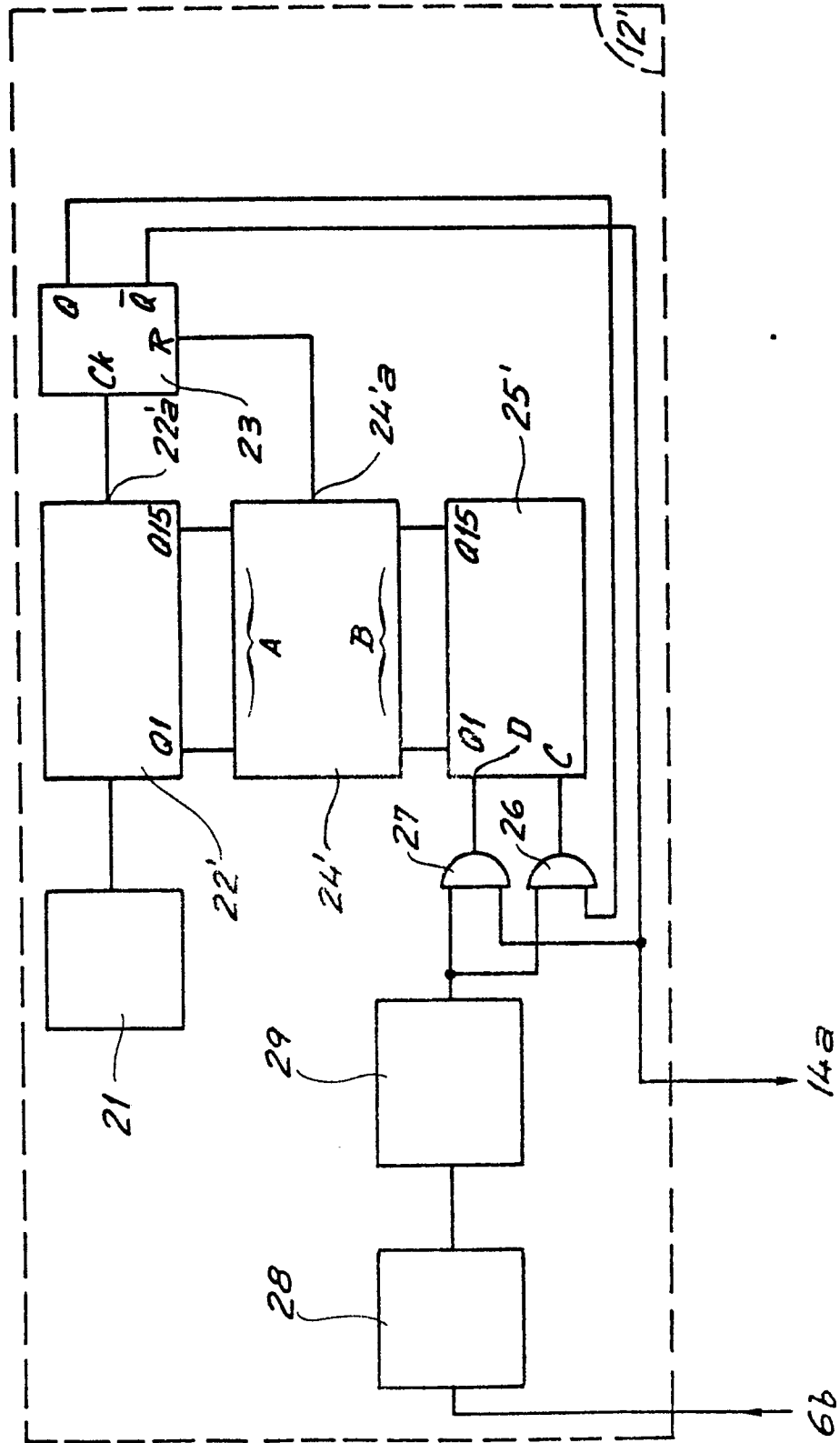


Fig. 4

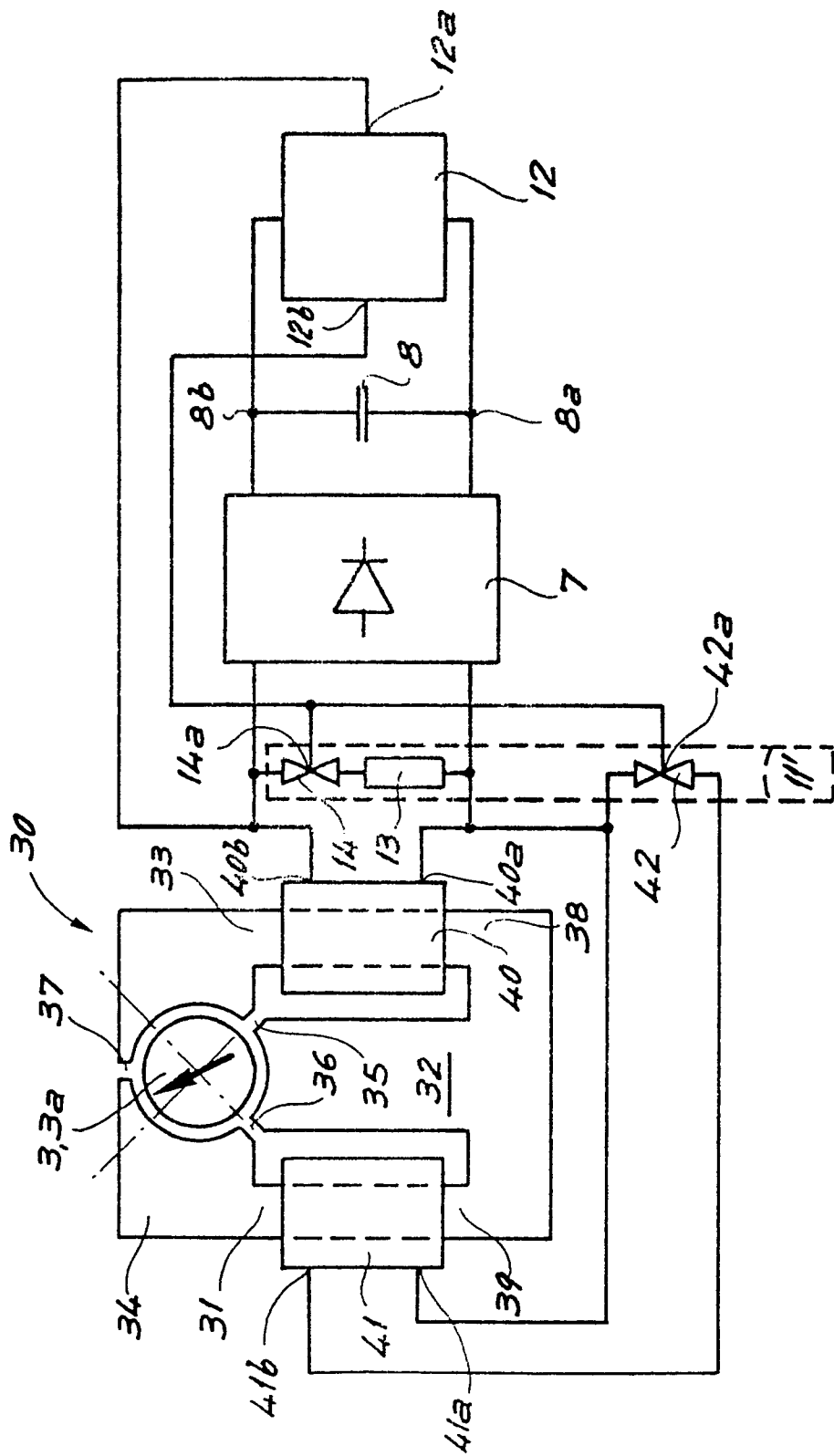
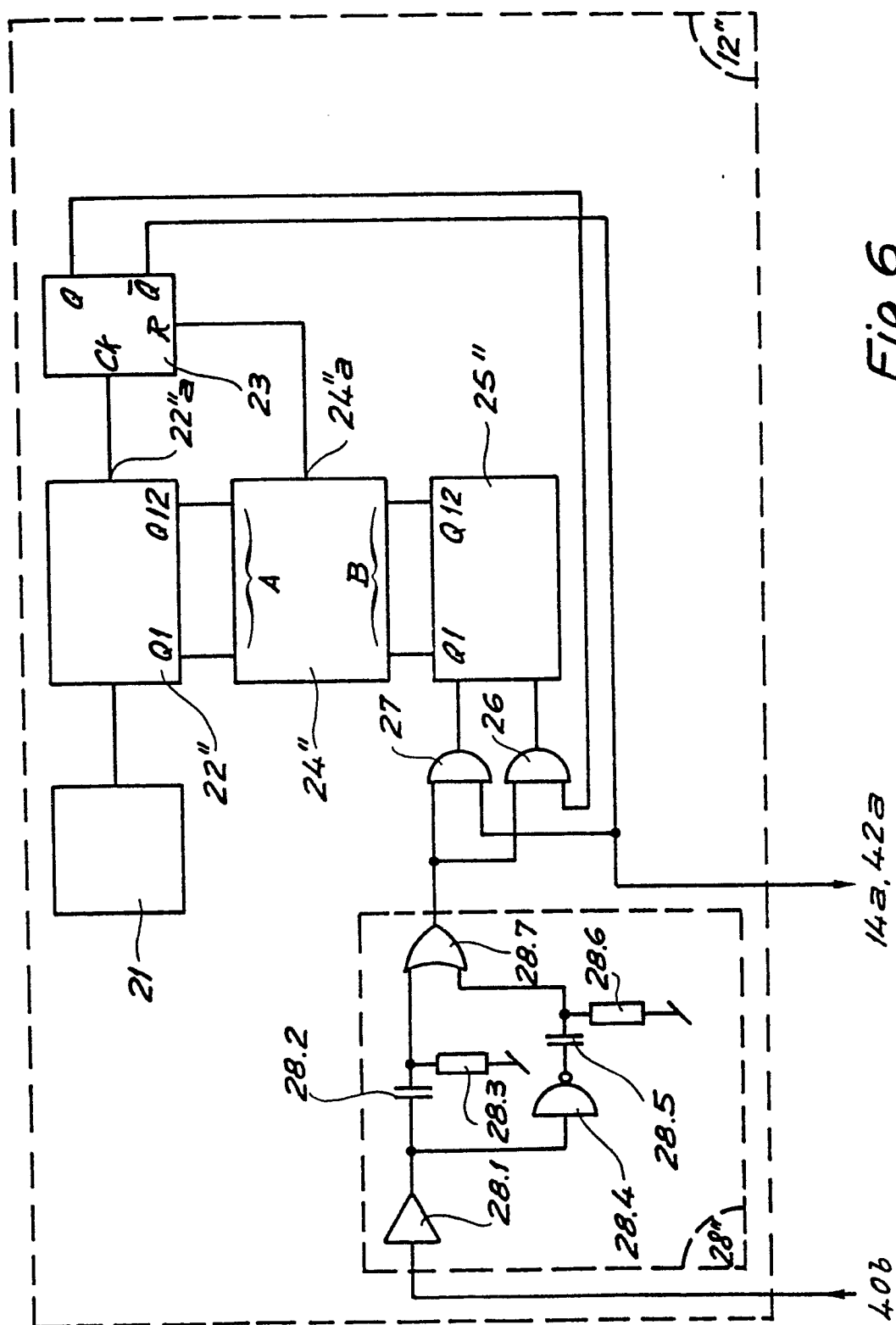


Fig. 5



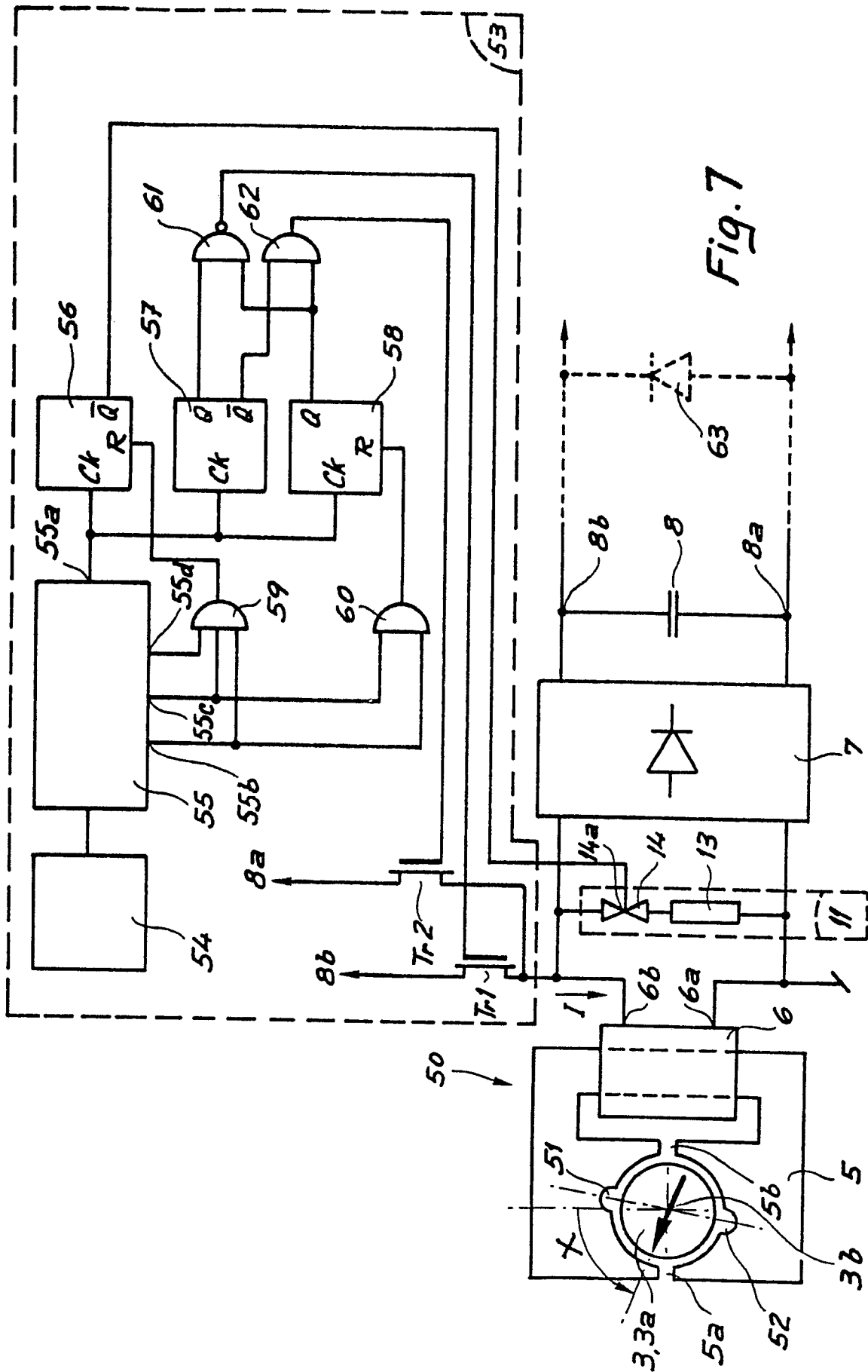


Fig. 7

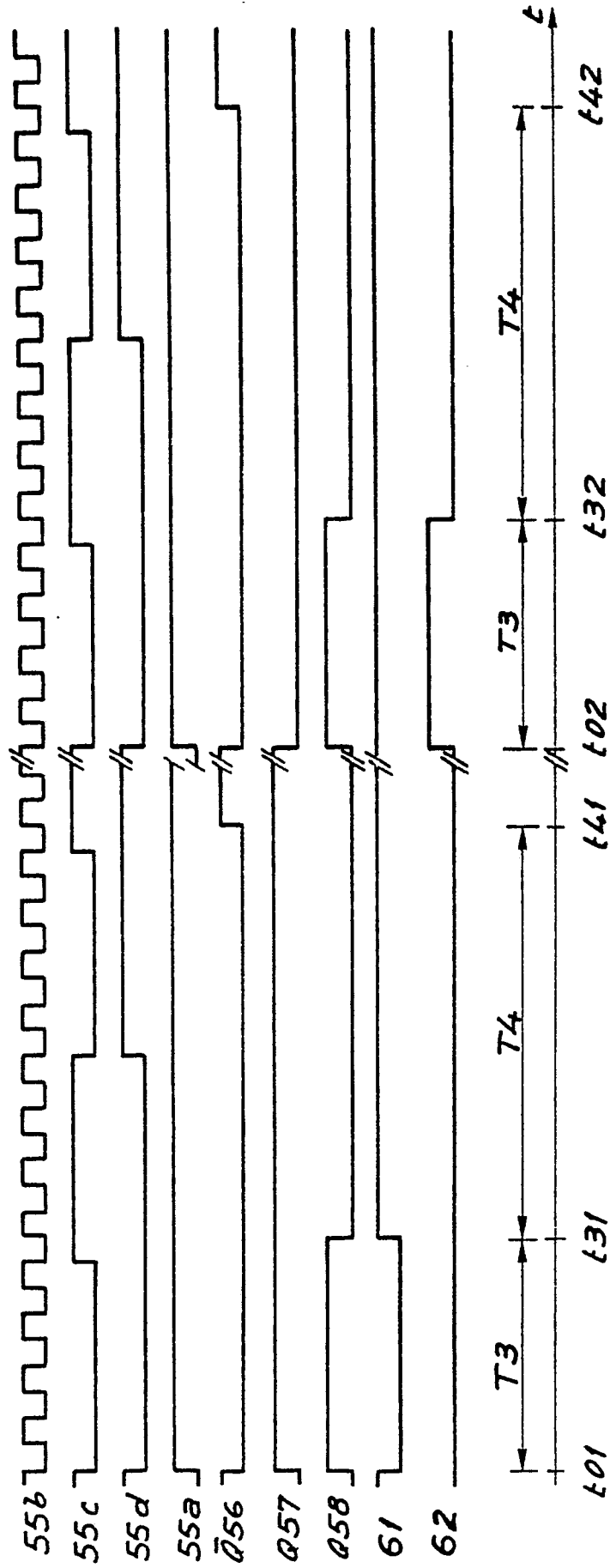


Fig. 9