



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

 (51) Int. Cl.³: G 01 B 7/30
 G 01 C 1/02

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



(12) FASCICULE DU BREVET A5

(11)

636 196

(21) Numéro de la demande: 10895/78

(22) Date de dépôt: 20.10.1978

(30) Priorité(s): 20.10.1977 FR 77 31615

(24) Brevet délivré le: 13.05.1983

(45) Fascicule du brevet
publié le: 13.05.1983
 (73) Titulaire(s):
 Société d'Etudes, Recherches et Constructions
 Electroniques - SERCEL, Carquefou (FR)

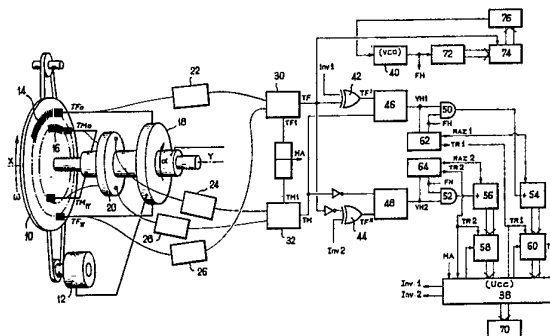
 (72) Inventeur(s):
 François Marie Louis Hullein, Nantes (FR)
 Jean-Claude August Marie Cadet, Nort s/Erdre
 (FR)

 (74) Mandataire:
 Bovard AG, Bern 25

(54) Procédé de codage et codeur angulaire pour la mise en oeuvre de ce procédé.

(57) Le codeur comprend un disque tournant (10) présentant une série de marques radiales gravées, un détecteur fixe (TFO, $TF\pi$), un détecteur mobile (TMO ou $TM\pi$). On effectue une mesure approchée d'angle de décalage entre détecteur fixe et détecteur mobile par comptage de marques défilant devant les têtes. On effectue aussi une mesure fine de déphasage entre le passage d'une marque devant un détecteur fixe et le passage d'une autre marque devant un détecteur mobile. Une mesure de déphasage fin est effectuée. Pour éliminer des erreurs dues aux fluctuations de mesures, on change lorsque c'est nécessaire l'origine des temps pour la mesure fine de déphasage faite à chaque passage de graduation.

Applications: codeurs angulaires pour théodolites et autres lunettes de visée.



REVENDICATIONS

1. Procédé de codage à l'aide d'un codeur angulaire du type comprenant un disque (10) tournant portant une série de marques radiales (14, 16) légèrement espacées angulairement et susceptibles d'être repérées par au moins un détecteur de référence fixe (TF0, TF π) et un détecteur de mesure mobile (TM0, TM π) en rotation autour d'un axe (XY) coaxial à l'axe de rotation du disque, les détecteurs (TF0, TF π ; TM0, TM π) étant placés en regard du trajet en rotation des marques radiales (14, 16), le codeur comprenant des moyens (22-76) de mesure du décalage angulaire entre les détecteurs (TF0, TF π ; TM0, TM π) par repérage de la durée séparant le passage d'une marque devant l'un des détecteurs et un passage ultérieur d'une marque devant l'autre détecteur, cette mesure de durée étant répétée lors des passages successifs de marques devant le premier détecteur et une moyenne de mesures étant calculée, caractérisé par le fait que le repérage de durée est effectué en prenant pour origine des temps le passage d'une marque (14) devant le premier détecteur (TF0, TF π) si, lors de la première mesure de durée effectuée, la valeur mesurée est comprise entre une fraction x et une fraction y de la durée séparant les passages de deux marques consécutives (14) devant le premier détecteur (TF0, TF π), et en prenant au contraire pour origine des temps sensiblement le milieu de l'intervalle séparant les passages de deux marques consécutives (14) devant le premier détecteur (TF0, TF π) si, lors de la première mesure, la valeur mesurée ne se trouvait pas comprise entre la fraction x et la fraction y de la durée dudit intervalle.

2. Procédé de codage selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le décalage d'origine des temps est effectué à chaque mesure, s'il y a lieu, en fonction de la comparaison de la valeur mesurée lors de la mesure précédente aux fractions x et y.

3. Procédé de codage selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que $x = \frac{1}{4}$ et $y = \frac{3}{4}$.

4. Procédé de codage selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que le repérage de durée est effectué en avançant d'un demi-intervalle entre deux marques consécutives l'origine des temps si la mesure de durée précédente a donné une valeur inférieure à la fraction x, et en retardant d'un demi-intervalle l'origine des temps si la mesure précédente a donné une valeur supérieure à la fraction y.

5. Codeur angulaire pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication du type comprenant un disque (10) tournant portant une série de marques radiales (14, 16) régulièrement espacées angulairement et susceptibles d'être repérées par au moins un détecteur de référence fixe (TF0, TF π) et un détecteur de mesure mobile (TM0, TM π) en rotation autour d'un axe (XY) coaxial à l'axe de rotation du disque (10), les détecteurs (TF0, TF π ; TM0, TM π) étant placés en regard du trajet en rotation des marques radiales (14, 16) le codeur comprenant des moyens (22-76) de mesure du décalage angulaire entre les détecteurs (TF0, TF π ; TM0, TM π) par repérage de la durée séparant le passage d'une marque devant l'un des détecteurs et un passage ultérieur d'une marque devant l'autre détecteur, cette mesure de durée étant répétée lors des passages successifs de marques devant le premier détecteur et une moyenne de mesures étant calculée, caractérisé par le fait qu'il comprend des moyens (38, 54) aptes à déterminer si, lors de la première mesure de durée effectuée, la valeur mesurée est comprise, ou non, entre une fraction x et une fraction y de la durée séparant les passages de deux marques consécutives (14) devant le premier détecteur (TF0, TF π), et des moyens (40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56) aptes à repérer la durée en prenant pour origine des temps le passage d'une marque (14) devant le premier détecteur (TF0, TF π) si, lors de ladite première mesure de durée effectuée, la valeur mesurée est comprise entre ladite fraction x et ladite fraction y de la durée séparant les passages de deux marques consécutives (14) devant le premier détecteur (TF0, TF π), et, dans le cas contraire, en prenant pour origine des temps sensiblement le milieu de l'intervalle séparant les passages de deux marques consécutives (14) devant le premier détecteur (TF0, TF π).

6. Codeur angulaire selon la revendication 5, caractérisé par le fait qu'il est prévu deux détecteurs de référence (TF0, TF π) sensiblement diamétralement opposés par rapport à l'axe (XY) de rotation du disque (10) et deux détecteurs de mesure (TM0, TM π) également sensiblement diamétralement opposés par rapport à l'axe (XY) de rotation du disque (10), et par le fait que le repérage de durée s'effectue par moyennage des durées (VH1, VH2) de décalage d'une part entre un détecteur de mesure (TM0) et l'un (TF0) choisi des détecteurs de référence et, d'autre part, entre l'autre détecteur de mesure (TM π) et l'autre détecteur de référence (TF π), et un moyen (38, 42, 44) étant prévu pour permuter les signaux issus des détecteurs selon la valeur de durée déterminée lors de la mesure précédente de manière à calculer, s'il y a lieu, la moyenne des durées (VH1, VH2) de décalage entre les détecteurs de référence (TF0, TF π) et de mesure (TM0, TM π) pris de manière croisée.

7. Codeur angulaire selon la revendication 6, caractérisé par le fait qu'il est prévu un moyen (38) pour effectuer la moyenne des durées (VH1, VH2) mesurées pour les passages successifs de marques, un moyen (38) pour enregistrer le nombre de fois où les détecteurs sont croisés et décroisés et un moyen (38) pour introduire dans la moyenne de durée mesurée une correction fonction de ce nombre.

8. Codeur angulaire selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé par le fait qu'il est prévu un moyen (38) de comparaison pour comparer la valeur des déphasages mesurés aux fractions x et y de la période de défilement des marques du disque tournant (10) et un moyen (42, 44) pour inverser la phase des signaux issus des détecteurs fixes (TF0, TF π) si le moyen de comparaison (38) indique qu'un déphasage n'est pas compris entre lesdites fractions x et y.

9. Codeur angulaire selon l'une des revendications 5 à 8, caractérisé par le fait que le décalage angulaire entre les détecteurs fixes (TF0, TF π) et mobiles (TM0, TM π) est mesuré par comptage d'impulsions d'une horloge (40) à haute fréquence pendant des créneaux (VH1, VH2) établis entre des fronts de montée de signaux (TF', TM; TF'', TM) en provenance des détecteurs (TF0, TF π ; TM0, TM π).

10. Codeur angulaire selon la revendication 9, caractérisé par le fait que la fréquence d'horloge (40) est asservie (72, 74, 76) à la vitesse de rotation du disque tournant (10).

11. Codeur angulaire selon la revendication 10, caractérisé par le fait qu'il est prévu un oscillateur à fréquence contrôlée (40) pour produire la fréquence d'horloge, un compteur (72, 74) recevant la fréquence d'horloge pendant une durée correspondant à un intervalle (TF) entre passages de deux marques (14) devant un détecteur fixe (TFO) et un convertisseur numérique-analogique (76) relié à l'oscillateur (40) pour commander la fréquence de celui-ci en fonction du résultat du comptage à la fin de chaque intervalle (TF) entre le passage de deux marques (14) devant un détecteur (TFO).

La présente invention concerne un procédé de codage et un codeur angulaire. Le codeur angulaire est du type comprenant un disque tournant portant une série de marques radiales régulièrement espacées angulairement et susceptibles d'être repérées par au moins un détecteur de référence fixe et un détecteur de mesure mobile en rotation autour d'un axe coaxial à l'axe de rotation du disque, les détecteurs étant placés en regard du trajet en rotation des marques radiales, le codeur comprenant des moyens de mesure du décalage angulaire entre les détecteurs par repérage de la durée séparant le passage d'une marque devant l'un des détecteurs et un passage ultérieur d'une marque devant l'autre détecteur, cette mesure de durée étant répétée lors des passages successifs de marques devant le premier détecteur et une moyenne de mesures étant calculée.

Un tel codeur trouve son application, par exemple, pour les lunettes de visée ou théodolites; on cherche à mesurer l'angle de rota-

tion de l'axe d'un détecteur de mesure mobile par rapport à une position de référence matérialisée par la position du détecteur de référence.

Des codeurs répondant à cette définition générique sont connus; ils permettent une mesure approchée et une mesure fine, cette dernière, toutefois, avec une précision qu'il serait avantageux de pouvoir améliorer. Par ailleurs, les appareils laissent subsister des risques d'ambiguïté dans la mesure de valeurs proches de zéro, du fait que la régularité de l'espacement des marques, si bonne soit-elle, ne peut jamais être absolument parfaite. Des explications plus complètes seront données par la suite concernant ce risque d'ambiguïté de mesure des codeurs connus.

Le but de la présente invention est de fournir un codeur du type générique précédemment défini, qui soit meilleur que ceux que connaissait l'art antérieur et qui notamment ne présente pas les inconvénients précédemment mentionnés.

Pour atteindre ce but, le procédé de codage selon l'invention est caractérisé par le fait que le repérage de durée est effectué en prenant pour origine des temps de passage d'une marque devant le premier détecteur si, lors de la première mesure de durée effectuée, la valeur mesurée est comprise entre une fraction x et une fraction y de la durée séparant les passages de deux marques consécutives devant le premier détecteur, et en prenant au contraire pour origine des temps sensiblement le milieu de l'intervalle séparant les passages de deux marques consécutives devant le premier détecteur si, lors de la première mesure, la valeur mesurée ne se trouvait pas comprise entre la fraction x et la fraction y de la durée dudit intervalle.

Par ailleurs, le codeur selon l'invention pour la mise en œuvre du procédé est caractérisé par le fait qu'il comprend des moyens aptes à déterminer si, lors de la première mesure de durée effectuée, la valeur mesurée est comprise, ou non, entre une fraction x et une fraction y de la durée séparant les passages de deux marques consécutives devant le premier détecteur, et des moyens aptes à repérer la durée en prenant pour origine des temps le passage d'une marque devant le premier détecteur si, lors de ladite première mesure de durée effectuée, la valeur mesurée est comprise entre ladite fraction x et ladite fraction y de la durée séparant les passages de deux marques consécutives devant le premier détecteur, et, dans le cas contraire, en prenant pour origine des temps sensiblement le milieu de l'intervalle séparant les passages de deux marques consécutives devant le premier détecteur.

Avantageusement, une mesure fine consiste à déterminer en plus quel est exactement l'angle supplémentaire de décalage entre les deux détecteurs si le décalage total ne correspond pas exactement à un nombre entier d'intervalles entre marques successives du disque tournant. Cette mesure fine s'effectue par détermination, grâce à un phasemètre numérique, de la durée séparant le passage d'une marque radiale quelconque devant l'un des détecteurs et le passage d'une marque devant l'autre détecteur après le premier passage mentionné (de préférence immédiatement après).

Pour améliorer la précision de la mesure fine, compte tenu des erreurs possibles dans la régularité de gravure des marques du disque tournant, il est avantageux d'effectuer cette mesure fine pour chaque passage d'une marque devant le détecteur de référence, cela pour un grand nombre de marques consécutives (de préférence sur un tour complet ou plusieurs tours complets du disque), puis on calcule la moyenne des mesures fines relevées pour en déduire une meilleure approximation de la mesure fine globale; le calcul montre que les erreurs de gravure sont pratiquement annulées si on fait la moyenne pour un nombre de traits gravés consécutifs aussi proche que possible du nombre correspondant à un tour entier (ou plusieurs).

Un problème se pose du fait de ce moyennage des mesures fines de déphasage lorsque ce déphasage est voisin de 0 ou de 2π , c'est-à-dire lorsque les deux détecteurs (de référence et de mesure) voient presque simultanément devant eux une marque du disque tournant, donc lorsque leur écartement angulaire est un multiple pratiquement exact de l'intervalle angulaire entre deux marques.

En effet, dans ce cas, les fluctuations de l'espacement des traits gravés dont la régularité n'est pas absolument parfaite font que le phasemètre risque de mesurer un petit angle positif pour une première mesure et un angle légèrement inférieur à 2π pour la mesure suivante, la moyenne de ces valeurs ne donnant pas une valeur voisine de zéro comme il le faudrait. Pour n mesures, si les fluctuations font passer k fois la mesure de l'autre côté du zéro, la mesure fine moyenne calculée sera voisine de $2k\pi/n$ au lieu de zéro, ce qui est inadmissible.

Cette ambiguïté pour les valeurs proches de zéro résulte de ce qu'une mesure de phase s'effectue modulo 2π et qu'un déphasage négatif proche de zéro donnera lieu à une indication positive proche de 2π .

Le procédé peut avantageusement permettre de lever cette ambiguïté en prévoyant que l'on change d'origine de mesure des phases si la première mesure fine de déphasage indique une valeur trop proche de 0 ou de 2π , le changement d'origine étant destiné à donner à la mesure suivante ou aux mesures suivantes une valeur telle que l'amplitude des fluctuations de la mesure ne risque pas de faire passer la nouvelle valeur au-delà de zéro ou 2π .

De manière préférentielle, si on appelle T la durée séparant le passage de deux marques consécutives devant un détecteur fixe de référence (T correspondant à un déphasage de 2π si on considère qu'une période du signal détecté correspond à l'intervalle entre deux marques), on décalera de $T/2$ l'origine de mesure des temps si la première valeur mesurée indique un déphasage non compris entre $T/4$ et $3T/4$. On laissera au contraire l'origine inchangée si la première valeur indique un déphasage compris entre $T/4$ et $3T/4$. On pourrait envisager cependant que le changement d'origine ait lieu si le résultat de la première mesure n'est pas compris entre une fraction x et une fraction y de la période T .

Bien entendu, cette méthode de suppression d'ambiguïté autour de la phase zéro n'a de sens que si les fluctuations de mesure (dues notamment à la gravure imparfaite) n'atteignent pas la valeur $T/4$, soit un quart de l'intervalle entre deux marques consécutives.

On peut prévoir, par exemple, que le décalage d'origine des temps s'effectue en avance si le premier déphasage mesuré est inférieur à $T/4$, et en retard si le premier déphasage est supérieur à $3T/4$.

De plus, on peut avantageusement faire ce test sur la proximité de la phase 0 ou 2π à chaque mesure, c'est-à-dire pour toutes les marques consécutives; il faut alors repérer le nombre et le sens des divers changements d'origine pour en tenir compte dans le calcul de la moyenne. L'intérêt de cette vérification permanente se remarque principalement dans le cas où on désire pouvoir effectuer une mesure non pas statique, mais dynamique, c'est-à-dire lorsque l'on veut que le codeur donne une indication exacte, même si le détecteur mobile de mesure a bougé au cours de la mesure. Cette disposition permet de faire une mesure exacte, même si le détecteur mobile continue à bouger après la fin de la mesure approchée et pendant le reste de la mesure fine.

On peut ainsi réaliser un codeur à angle d'entrée variable, qui trouve son application, par exemple, dans des systèmes de poursuite.

Pour réaliser le décalage d'origine des temps, on peut utiliser une disposition avec deux détecteurs de référence diamétralement opposés et deux détecteurs de mesure également diamétralement opposés par rapport à l'axe de rotation du disque tournant, en repérant le décalage entre un des détecteurs de référence et l'un ou l'autre des détecteurs de mesure selon qu'on doit ou non changer d'origine de mesure des temps. On montrera en effet comment le croisement, la permutation, des détecteurs diamétralement opposés permet d'effectuer l'équivalent d'un changement d'origine des temps d'une demi-période de défilement des marques gravées, lorsque l'on fait la moyenne des déphasages mesurés pour les deux couples de détecteurs.

Selon encore une forme d'exécution de l'invention, on prévoit que les déphasages entre les signaux issus des détecteurs (qui voient défiler les marques gravées) sont mesurés par comptage d'une fréquence d'horloge FH entre le passage d'une marque devant un dé-

tecteur de référence et le passage ultérieur d'une marque devant un détecteur de mesure, avec cette particularité que la fréquence d'horloge est variable et asservie à la vitesse de rotation du disque tournant, ou plus précisément à la valeur estimée de cette vitesse de rotation immédiatement avant la mesure considérée.

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit et qui est faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la fig. 1 représente un schéma général du codeur angulaire selon l'invention,
- la fig. 2 représente le diagramme temporel des signaux de détection produits à partir des couples de tête de lecture diamétralement opposés,
- la fig. 3 représente un schéma du circuit de production des signaux représentés à la fig. 2,
- la fig. 4 représente un schéma du circuit de production des créneaux de comptage du déphasage fin entre têtes fixes et têtes mobiles,
- la fig. 5 représente un diagramme temporel des signaux contribuant à la production des créneaux de comptage du déphasage fin entre têtes de lecture,
- la fig. 6 représente le circuit de commande de comptage et d'enregistrement en mémoire du déphasage fin à chaque passage de marque devant une tête mobile.

La fig. 1 montre généralement l'ensemble du codeur angulaire selon l'invention. Celui-ci comprend essentiellement un disque 10 tournant à vitesse constante ω , entraîné par un moteur synchrone 12 alimenté par un courant alternatif à fréquence constante.

Le disque 10 porte une double série de traits de repère radiaux constitués de préférence par des traits de matériau réfléchissant la lumière, formés par photogravure sur une surface peu réfléchissante. Ces traits radiaux, ou gravures, peuvent donc être détectés par des détecteurs optiques consistant essentiellement en une association d'une diode électroluminescente et d'une photodiode placées en regard d'une fente de lecture de largeur approximativement égale à celle des traits gravés; cette fente étant placée en regard du trajet en rotation des traits gravés: selon la présence ou l'absence d'un trait gravé réfléchissant en face de la fente, la photodiode reçoit ou ne reçoit pas la lumière émise par la diode électroluminescente. De tels lecteurs optiques sont connus et ne seront pas décrits plus en détail, l'essentiel étant qu'ils puissent repérer précisément le passage d'un trait gravé.

Le disque tournant 10 comporte de préférence deux pistes concentriques, 14 et 16, comportant chacune le même nombre $2N$ de traits radiaux: on considérera en réalité que les pistes comprennent N marques gravées réparties périodiquement sur un tour, chaque marque comprenant deux traits consécutifs et la période d'espace-ment angulaire des marques étant $2\pi/N$, l'utilisation d'un double trait pour chaque marque servant à faciliter la production de signaux de détection. L'une des pistes tourne en regard d'une ou de plusieurs têtes de lecture fixes, l'autre en regard d'une ou de plusieurs têtes de lecture mobiles. Cette disposition n'est pas impérative, toutes les têtes de lecture pouvant être placées devant une piste unique, mais elle présente l'avantage de rendre possible une rotation complète, sur 360° , des têtes de lecture mobiles qui ne sont pas gênées par la présence de têtes fixes sur la même piste.

On prévoit de préférence deux têtes fixes TF_0 et TF_π en regard de la piste 14 et diamétralement opposées par rapport à l'axe xy de rotation du disque 10, et on prévoit également deux têtes mobiles TM_0 et TM_π diamétralement opposées par rapport à l'axe xy , et placées en regard de la piste 16 de traits gravés. Les têtes mobiles sont montées elles-mêmes à rotation sur un arbre tournant autour du même axe xy que le disque 10. La disposition utilisant des groupes de deux têtes diamétralement opposées permet d'éliminer dans une large mesure les erreurs pouvant résulter d'une coïncidence imparfaite de l'axe de rotation du disque et de celui des têtes mobiles, ainsi que les erreurs résultant des fluctuations de la position moyenne de l'axe du disque.

Les têtes de lecture fixes sont directement reliées à un circuit électronique de mesure porté par un bâti fixe de l'appareil (bâti symboliquement représenté sous la référence 18). Les têtes mobiles sont reliées au circuit électronique par un collecteur 20 à contacts tournants.

Dans une application particulière à un théodolite, les têtes de lecture fixes représentent une position de référence et l'arbre portant les têtes de lecture mobiles est solidaire d'une lunette de visée. La mesure du décalage angulaire entre les têtes mobiles et fixes donne une indication de site ou de gisement d'un point visé.

La mesure d'angle s'effectue selon une double opération, à savoir une mesure approchée jointe à une mesure fine.

Pour déterminer une mesure approchée, on compte le nombre de marques gravées présentes entre une tête de mesure mobile et une tête de mesure fixe.

A cet effet, on prévoit que chaque série de traits radiaux gravés, régulièrement espacés angulairement sur le disque, comporte à un endroit un manque, c'est-à-dire une absence de trait gravé à une position où normalement un trait devrait exister pour la régularité de la série. C'est cette absence de trait qui sert de repère (un repère sur chaque piste, de préférence sensiblement à la même position angulaire) pour permettre la détermination approchée de l'écart angulaire entre les détecteurs. En réalité, pour faciliter la détection de ce manque, on prévoit une absence de deux traits gravés consécutifs, c'est-à-dire une période manquante sur les N périodes de marques gravées (on rappelle que chaque marque comprend deux traits).

Un tel mode de repérage d'origine des graduations sur le disque permet d'éviter de prévoir une piste supplémentaire avec un trait de repère d'origine gravé et deux têtes supplémentaires (une fixe et une mobile) avec des circuits électroniques correspondants, pour permettre d'effectuer la mesure approchée à partir de ces repères.

La mesure approchée consiste ainsi à repérer le nombre de marques passant devant une tête de lecture à partir du moment où un repère (absence de trait) d'une des pistes passe devant une des têtes et jusqu'au moment où le repère (absence de trait) de l'autre piste passe devant une tête de lecture de l'autre piste.

Les signaux électriques issus des différentes têtes sont mis en forme par des circuits 22, 24, 26, 28 réalisant respectivement pour chaque tête une fonction d'amplification et de déclenchement (trigger de Schmitt) pour donner aux signaux une forme rectangulaire à fronts de montée et de descente raides qui permettent de repérer avec une très grande précision les moments du début et de fin de coïncidence du passage de chaque trait devant une tête de lecture.

Grâce à un circuit 30 recevant les signaux issus des têtes fixes TF_0 et TF_π et à un circuit 32 recevant les signaux des têtes mobiles TM_0 et TM_π , on produit respectivement des signaux rectangulaires TF et TF_1 d'une part, TM et TM_1 d'autre part, à partir desquels on pourra effectuer une mesure fine et une mesure approchée tenant compte des deux couples de têtes diamétralement opposées.

Le signal TF est un signal rectangulaire ayant des fronts de montée coïncidant avec les fronts de montée des signaux rectangulaires issus de la tête TF_0 et des fronts de descente coïncidant avec les fronts de montée des signaux rectangulaires mis en forme à partir de la tête TF_π . Le signal TF a une période correspondant à la période de défilement des N marques du disque ($2N$ traits gravés, donc une période double de celle des signaux issus des têtes TF_0 et TF_π).

Le signal TF_1 est une impulsion produite pour repérer le passage devant la tête TF_0 de la marque constituée par une absence de trait gravé sur la piste gravée.

La fig. 2 montre un diagramme temporel illustrant la production des signaux TF et TF_1 à partir du circuit 30 représenté plus en détail à la fig. 3.

Dans l'exemple de la fig. 2, on a supposé que chaque piste gravée comprend un nombre $2N = 2000$ positions de traits gravés, dont deux consécutifs sont supprimés pour constituer un repère d'origine. Les traits supprimés ont été numérotés 1999 et 2000.

Comme on le voit sur la fig. 2, les signaux issus de la tête $TF\pi$ ne coïncident pas exactement avec ceux de la tête $TF0$. Cela provient de ce que les têtes ne sont pas diamétralement opposées avec une exactitude absolue, un léger décalage (inférieur à un espacement entre deux traits gravés) étant souhaitable pour éviter les coïncidences de fronts de montée ou de descente des signaux issus des deux têtes. Le décalage doit être le même pour les têtes $TM0$ et $TM\pi$.

Sur la fig. 3, qui décrit les circuits 30 et 32 de production des signaux TF, $TF1$, TM et $TM1$, on voit que le signal $TF0$ est appliqué à une bascule B1 par l'intermédiaire d'un inverseur I1, la bascule B1 recevant également le signal $TF\pi$ sur une autre entrée, de sorte que la bascule délivre un signal de niveau logique 1 à partir du moment où $TF\pi$ passe à 1 alors que $TF0$ est à zéro. Cela ne se produit que lorsque les traits gravés manquants se trouvent devant la tête $TF0$. Une porte ET 34 recevant la sortie de B1 et $TF0$ apparaissant au moment du passage du premier trait gravé suivant le manque de traits constituant le repère d'origine de la piste 14.

Par ailleurs, les signaux TF sont produits de la manière suivante: une bascule B2, montée en diviseur par deux et recevant $TF0$, produit des créniaux rectangulaires de fréquence moitié de la fréquence de passage des traits gravés, c'est-à-dire une fréquence égale à celle du défilement des N marques de la piste 14. Une bascule B3 fait de même avec $TF\pi$ et une porte OU 36 réunissant les sorties des bascules B2 et B3 délivre un signal TF en créniaux, à la fréquence de défilement des marques gravées devant les têtes fixes, et dans lequel les créniaux sont restitués à l'endroit où une marque est effacée.

A l'exception de cet endroit, les créniaux de TF ont leur front de montée au moment du front de montée de $TF0$ et leur front de descente au moment du front de montée de $TF\pi$. A chaque impulsion $TF1$, une fois par tour, les bascules B2 et B3 sont remises respectivement à 1 et à 0 pour retrouver toujours la même configuration de signaux.

On comprendra que l'on construit un signal TM et un signal $TM1$ exactement de la même manière que TF et $TF1$ à partir d'un circuit 32 identique au circuit 30 et recevant les signaux des têtes $TM0$ et $TM\pi$ au lieu de $TF0$ et $TF\pi$.

Revenant à la fig. 1, on voit que les signaux $TF1$ et $TM1$ (une impulsion par tour de disque pour chacun) sont appliqués à une bascule MA, de telle manière que MA soit mise au niveau logique 1 par $TF1$ et remise à zéro par $TM1$. La bascule MA fournit donc un créniau logique de durée égale à l'intervalle de temps séparant le passage d'un repère d'origine de la piste 14 devant la tête fixe $TF0$ et le passage du repère d'origine de la piste 16 devant la tête mobile $TM0$.

Ce créniau est utilisé pour débloquent un compteur (dans une unité de calcul et de contrôle 38), compteur qui est incrémenté par des créniaux essentiellement produits à partir des signaux TF et TM d'une manière que l'on décrira plus complètement dans la suite de la description. De cette manière, on compte, pendant la durée du créniau produit par MA, le nombre des marques gravées passant devant les têtes TF et TM; le résultat en est une mesure approchée de l'angle séparant la tête de lecture fixe $TF0$ de la tête de lecture mobile $TM0$ (la mesure étant la même pour l'angle $TF\pi$, $TM\pi$). Si le nombre de traits gravés est $2N - 2$ sur chaque piste ($2N$ intervalles angulaires élémentaires et deux traits manquants consécutifs), et si X est le nombre de créniaux de TM comptés (TM ayant une période égale à deux intervalles entre graduations), l'angle approché mesuré est $400 X/N$ en grades ($2\pi X/N$ en radians).

La mesure approchée étant ainsi effectuée par simple comptage, on réalise également une mesure fine du déphasage entre les signaux issus d'une tête fixe et ceux d'une tête mobile.

Cette mesure est faite en réalité à partir des signaux TF et TM dont on a parlé ci-dessus, le déphasage mesuré étant celui qui existe entre les transitions logiques de TF et TM; ce déphasage est mesuré pour chaque intervalle angulaire entre deux marques consécutives d'une piste gravée du codeur, c'est-à-dire à chaque période du signal TF.

Un phasemètre reçoit des signaux rectangulaires FH à haute fréquence d'une horloge 40 pendant des intervalles de temps représentant le déphasage à mesurer.

D'une façon avantageuse, on fait la mesure de phase en changeant d'origine si le résultat de la mesure précédente est trop proche de 0 ou 2π pour éviter que des fluctuations autour de zéro, dues aux irrégularités de gravure, n'entraînent une erreur inadmissible lors du moyennage des mesures, compte tenu de ce que le phasemètre ne fait pas la différence entre un déphasage légèrement négatif et un déphasage voisin de 2π .

En vue de réaliser un tel changement d'origine, mettant à l'abri des fluctuations de mesure, on prévoit de produire des créniaux de mesure de déphasage, pendant lesquels les impulsions d'horloge sont comptées, l'origine de ces créniaux dépendant de la mesure de phase précédente:

— la première mesure de phase consiste essentiellement à produire un créniau de comptage d'impulsions d'horloge entre les fronts de montée des signaux TF et TM,

— si le résultat de la première mesure donne un déphasage compris entre $\pi/2$ et $3\pi/2$ (fractions de la période des signaux TF et TM), les mesures de phase des périodes suivantes se font à partir de créniaux de comptage correspondant également à l'intervalle entre fronts de montée des signaux TF et TM,

— si le résultat de la première mesure donne un déphasage compris entre 0 et $\pi/2$, les créniaux de comptage sont produits à partir d'un point sensiblement une demi-période en avance sur le front de montée de TF, et jusqu'au front de montée de TM, de sorte que le déphasage compté à la période suivante se retrouve compris entre $\pi/2$ et $3\pi/2$,

— si le résultat de la première mesure donne un déphasage compris entre $3\pi/2$ et 2π , les créniaux de comptage sont produits à partir d'un point sensiblement une demi-période en retard sur le front de montée de TF et jusqu'au front de montée de TM, de sorte qu'on retrouve à la période suivante un déphasage entre $\pi/2$ et $3\pi/2$.

En pratique, comme on le verra, au lieu de décaler l'origine de mesure d'une demi-période exactement, on prendra comme point de départ de la mesure suivante un front de transition logique de TF de sens opposé à la transition ayant servi de point de départ à la mesure précédente. Bien entendu, pour que la mesure de déphasage ait un sens, il faut qu'on sache exactement de combien on a avancé l'origine de mesure (et éventuellement combien de fois on l'a fait si on le fait plusieurs fois pendant un tour du disque), pour pouvoir corriger en conséquence le résultat de la moyenne effectuée par le phasemètre.

On utilise pour cela le fait que l'appareil comporte deux têtes de mesure fixes et deux têtes de mesure mobiles diamétralement opposées (avec toutefois un léger décalage angulaire qui est le même pour les têtes fixes et les têtes mobiles et qui est destiné à éviter les coïncidences de fronts de montée issus de $TF0$ et $TF\pi$), et le fait que, pour corriger les erreurs d'excentricité des arbres de rotation, on doit faire pour chaque période du signal TF la moyenne des mesures du déphasage entre $TF0$ et $TM0$, d'une part, et $TF\pi$ et $TM\pi$, d'autre part.

Cette moyenne est égale à:

$$\frac{(TF0, TM0) + (TF\pi, TM\pi)}{2}$$

($TF0, TM0$) représente l'intervalle angulaire entre fronts de montée de $TF0$ et $TM0$.

On mesurera donc normalement le déphasage entre les fronts de montée des signaux issus de $TF0$ et ceux issus de $TM0$, c'est-à-dire entre les fronts de montée des signaux TF et TM (fig. 2), et on les additionnera, pour les moyenner, aux déphasages entre les fronts de montée des signaux issus de $TF\pi$ et ceux issus de $TM\pi$, c'est-à-dire entre les fronts de descente des signaux TF et TM.

Cela fournit la mesure du déphasage moyen donné par les têtes diamétralement opposées à chaque période de TF.

Cette mesure est directement effectuée de cette manière (entre fronts de montée de TF et TM, d'une part, et entre fronts de des-

cente de TF et TM, d'autre part) lors de la première mesure. Elle se poursuit de la même manière si le déphasage mesuré est compris entre un quart et trois quarts de période du signal TF, c'est-à-dire lorsqu'il ne risque pas, par ses fluctuations, de devenir négatif ou supérieur à une période.

Si au contraire le déphasage est compris entre 0 et un quart de période ou entre trois quarts de période et une période, on remarque alors que l'on peut mesurer le déphasage entre les fronts de montée de TF0 et de TM π , d'une part, et l'ajouter pour en faire la moyenne au déphasage entre les fronts de montée de TF π et ceux de TM0. En

$$\frac{(TFO, TM\pi) + (TF\pi, TMO)}{2} = \frac{(TFO, TMO) + (TMO, TM\pi) + (TF\pi, TM\pi) + (TM\pi, TMO)}{2} = \frac{(TFO, TMO) + (TF\pi, TM\pi)}{2} + \pi$$

On obtient donc la même mesure moyenne de déphasage, à π près en croisant les détecteurs, avec l'avantage que, si (TFO, TM π) et (TF π , TMO) sont trop proches de zéro ou 2π , alors (TFO, TMO) et (TF π , TM π) ne le sont pas et réciproquement. Il y a donc moyen d'éviter ainsi les risques d'erreurs dues aux fluctuations.

On peut faire ce croisement de détecteurs soit une fois pour toutes, après la mesure sur la première période de TF (si le résultat de cette première mesure montre que c'est nécessaire), soit plusieurs fois par tour du disque, en effectuant à chaque période un test visant à déterminer si le résultat de la mesure précédente est proche ou non de 0 ou 2π , et en croisant et décroisant les couples de détecteurs chaque fois que le déphasage mesuré sort de l'intervalle $\pi/2$ et $3\pi/2$.

Cette dernière méthode permet de faire une mesure exacte en tenant compte non seulement des fluctuations de phase dues aux erreurs de gravure, mais aussi d'un mouvement possible des détecteurs mobiles pendant le cours de la mesure. Il est donc maintenant possible d'utiliser le codeur dans un système de poursuite.

On va donc mesurer soit la moyenne du déphasage entre le front de montée de TF et celui de TM et du déphasage entre le front de descente de TF et celui de TM

$$\left(\text{c'est-à-dire } \frac{(TFO, TMO) + (TF\pi, TM\pi)}{2} \right) \text{ soit la moyenne}$$

du déphasage entre le front de montée de TF et le front de descente de TM et du déphasage entre le front de descente de TF et le front de montée de TM

$$\left(\text{c'est-à-dire } \frac{(TFO, TM\pi) + (TF\pi, TMO)}{2} \right).$$

Le choix entre ces deux mesures dépendant du résultat de la mesure précédente.

On produit pour cela un signal TF' et un signal TF'' qui sont déduits du signal TF et de signaux de commande d'inversion INV1 (pour TF') et INV2 (pour TF'') de telle manière que, si le signal d'inversion est à zéro, TF' et TF'' se contentent de reproduire TF et TF respectivement, et que, si le signal d'inversion est à UN, TF' ou TF'' présentent des fronts de montée et des fronts de descente inversés par rapport à TF et TF respectivement.

L'unité de contrôle et de calcul 38 produit donc (fig. 1) un signal INV1 et un signal INV2 après chaque mesure de phase. INV1 et INV2 passent à UN seulement si la mesure de phase précédente indique une proximité avec la phase 0 et 2π (en pratique si la phase mesurée est inférieure à $\pi/2$ ou comprise entre $3\pi/2$ et 2π). L'apparition du signal INV1 au niveau UN se fait un quart de période après le début de la mesure de phase ou trois quarts de période après, selon le résultat de la mesure de déphasage.

Le signal INV2 est décalé d'une demi-période (de TF) après le signal INV1.

Une porte OU exclusif 42 recevant TF et INV1 produit TF' qui est égal soit à TF soit à TF selon que INV1 = 0 ou 1.

Une porte OU exclusif 44 recevant TF et INV2 produit TF'' qui est égal soit à TF soit à TF selon que INV = 0 ou 1.

En résumé, les sens des transitions de TF et TF sont inversés par INV1 et INV2.

d'autres termes, on croise les têtes et on remarque, d'une part, que la mesure moyenne obtenue est la même que la précédente à un terme additif près exactement égal à une demi-période et, d'autre part, que les déphasages entre les têtes croisées sont compris entre un quart et trois quarts de période, donc qu'ils ne risquent plus, par leurs fluctuations, de passer, entre une période et la suivante, d'une valeur positive à une valeur négative, et de fausser ainsi la mesure du déphasage moyen sur un tour du disque.

En effet, la valeur moyenne du déphasage obtenu avec les deux couples de détecteurs croisés est

A partir de TF' et TM, on produit, dans un circuit d'entrée de phasemètre 46, un signal VH1 constitué de créneaux commençant aux fronts de montée de TF' et se terminant aux fronts de montée de TM.

De même, à partir de TF'' et TF, on produit, dans un circuit d'entrée du phasemètre 48 identique au circuit 46, un signal VH2 constitué de créneaux commençant aux fronts de montée de TF'' et se terminant aux fronts de montée de TM.

Les créneaux VH1 et VH2 servent à délimiter les durées pendant lesquelles on doit compter la fréquence d'horloge FH pour effectuer la mesure de déphasage. La moyenne des créneaux VH1 et VH2 qui se suivent au cours d'une période de TF est égale au déphasage moyen mesuré sur un couple de têtes ou sur les couples croisés, avec dans ce cas un terme correctif égal à π .

Les circuits 46 et 48 de production de créneaux VH1 et VH2 sont décrits à la fig. 4, tandis que les formes de signaux obtenus apparaissent à la fig. 5 où on a donné un exemple simplifié dans lequel, pour la commodité de la représentation, le nombre N de marques gravées n'est que de huit.

Les circuits 46 et 48 comprennent chacun deux bascules B4 et B5 recevant l'une TM (ou TM pour le circuit 48) et l'autre TF' (ou TF'' pour le circuit 48), et montées chacune de manière à être sensibles aux fronts de montée des signaux qu'elles reçoivent. Le front de montée de TM (ou TM) déclenche l'apparition du créneau VH1 (ou VH2) sur la sortie de B4 en même temps qu'elle arme la bascule B5. L'apparition du front de montée de TF' (ou TF'') sur l'entrée de la bascule B5 fait basculer celle-ci et déclenche la remise à zéro de la bascule B4, terminant le créneau VH1 (ou VH2) et remettant à zéro la bascule B5 par la même occasion.

Les créneaux VH1 et VH2 ouvrent chacun une porte ET, 50 et 52, qui reçoit par ailleurs la fréquence d'horloge FH. Les sorties des portes ET sont connectées directement chacune à l'entrée d'un compteur respectif 54, 56 constituant l'essentiel du phasemètre de mesure fine, de sorte que le déphasage est compté pendant la durée des créneaux VH1 ou VH2.

A partir des résultats des comptages d'impulsions pendant les créneaux de VH1 et VH2, l'unité de contrôle et de calcul 38 établit la mesure de la moyenne des déphasages sur un tour du disque tournant 10 (mesure fine), avec les corrections imposées par changements d'origine de phase s'il y a lieu. L'unité de calcul et de contrôle 38 établit par ailleurs la mesure approchée du déphasage comme expliqué précédemment. La somme de ces mesures fine et approchée donne la valeur précise de la moyenne temporelle de l'angle cherché pendant le ou les tours du disque tournant 10.

Des registres à décalage 58 et 60, à entrées parallèles et sorties sérielles, sont placés entre les compteurs 54 et 56 et l'unité 38. Ils mettent en mémoire temporairement les nombres d'impulsions reçues pendant chaque créneau VH1 ou VH2 et redélivrent à l'unité à calcul (en vue du moyennage) les nombres comptés à chaque créneau.

Des circuits de commande 62 et 64 sont prévus pour faire déclencher par l'unité de calcul le transfert du contenu des registres 58 et 60 dans l'unité de calcul ainsi que pour déclencher le transfert du contenu des compteurs 54 et 56 dans les registres 58 et 60 (signaux

de transfert TR1 et TR2 établis par les circuits 62 et 64), ainsi que la remise à zéro des compteurs (signaux RAZ1 et RAZ2).

Les signaux TR1 et RAZ1, établis par le circuit 62 qui reçoit VH1 et la fréquence d'horloge FH, apparaissent après chaque créneau de VH1. Les signaux TR2 et RAZ2, établis par le circuit 64 qui reçoit VH2 et FH, apparaissent après chaque créneau de VH2.

Les circuits 62 et 64 sont plus précisément décrits à la fig. 6. Ils utilisent la fréquence d'horloge FH qui est très supérieure à la fréquence des créneaux VH1 et VH2, pour établir des signaux TR et RAZ qui se suivent (RAZ devant être postérieur à TR) à la fin de chaque créneau VH1 ou VH2. Cela est effectué grâce à un compteur à quatre états, 66, qui est maintenu à zéro par VH1 (ou VH2 pour le circuit 64) et qui, une fois libéré par la disparition de VH1, est incrémenté par la fréquence d'horloge FH trois fois, le quatrième état du compteur, repéré par un décodeur 68 connecté à ce compteur provoquant le blocage de l'arrivée de FH, grâce à une porte ET 70 qui reçoit FH ainsi que le complément de la sortie correspondante du décodeur (la sortie qui repère le quatrième état du compteur).

Le premier et le deuxième incrément du compteur 66 provoquent successivement, sur des sorties correspondantes du décodeur 68, l'apparition de signaux TR1 et RAZ1 (ou TR2 et RAZ2) d'une durée d'une impulsion d'horloge, TR1 précédant toujours RAZ1.

L'unité de calcul et de contrôle 38 n'est pas décrite plus en détail. Elle comprend notamment un additionneur pour effectuer les sommes W1 et W2 des nombres comptés pendant les créneaux VH1 et VH2 au cours d'un tour complet ou de plusieurs tours du disque 10. Elle comprend de plus, pour le calcul de la mesure approchée d'angle, un registre de comptage d'un nombre X représentant le nombre de créneaux VH1 apparaissant entre les signaux TF1 et TM1, c'est-à-dire pendant que le signal de sortie de la bascule MA (fig. 1) est à UN.

En pratique, le registre du nombre X est incrémenté, tant que MA = 1, par le signal TR1 qui se produit immédiatement après chaque créneau VH1. Ce nombre X est toujours égal au nombre de créneaux de TM apparaissant entre le passage du signal d'origine TF1 devant la tête fixe TF0 et du signal d'origine TM1 devant la tête mobile TM0, puisque la fin de chaque créneau TM coïncide avec la fin d'un créneau de VH1.

L'unité de calcul et de contrôle 38 comprend encore d'autres registres servant au comptage de nombres de changements d'origine de phase effectués pendant la mesure fine, pour corriger la valeur moyenne de celle-ci de manière appropriée.

Un registre d'un nombre Q1 incrémenté par l'apparition de chaque signal TR1 (à la fin des créneaux de comptage VH1) est prévu pour compter, pendant un tour complet du disque (entre deux signaux TF1), le nombre de mesures fines de déphasage effectuées à partir de VH1.

De même, un autre registre compte le nombre Q2 de mesures fines effectuées à partir de VH2.

Ces nombres Q1 et Q2 servent à effectuer la moyenne des mesures fines sur un tour: si W1 et W2 sont les déphasages additionnés par l'unité de calcul, la moyenne en sera

$$\frac{1}{2} \left(\frac{W1}{Q1} + \frac{W2}{Q2} \right).$$

Q1 et Q2 ne sont pas obligatoirement égaux à N si les têtes mobiles bougent au cours de la mesure.

Des registres sont également prévus pour enregistrer le nombre de fois où les créneaux VH1 sont établis à partir d'une origine en avance de phase de π sur les fronts de montée de TF et le nombre correspondant pour les créneaux VH2. A cet effet, on relève d'abord dans un registre un nombre Y1 qui, initialisé à zéro au début de la mesure, c'est-à-dire à l'apparition de TF1, est incrémenté de 1 si la durée d'un créneau VH1 devient inférieure à un quart de période de TF, et est décrémenté de 1 si la durée de VH1 devient supérieure à trois quarts de période. La même disposition est prévue pour Y2 en fonction de la durée de VH2. Des comparateurs recevant la sortie des registres tampons 58 et 60 sont prévus dans l'unité de contrôle

pour effectuer des tests sur la durée des créneaux et élaborer des impulsions d'incrément ou décrément de Y1 et Y2 (ces comparateurs servent aussi à établir les signaux de commande d'inversion de phase, INV1 et INV2).

Le nombre Y1 est ajouté à un registre Z1 qui accumule les valeurs de Y1 au début de chaque créneau de VH1. De même pour Z2, de sorte que, au bout d'un tour du disque, Z1 et Z2 représentent des nombres à partir desquels on peut faire, selon la formule indiquée plus loin, une correction qui prend en compte les divers changements d'origine de phase (avance ou retard de π).

L'ensemble des nombres enregistrés dans les divers registres de l'unité de calcul et de contrôle 38 est utilisé pour donner finalement une mesure précise d'angle de rotation fixe ou variable entre la tête de lecture fixe TF0 et la tête de lecture TM0. Cette mesure globale, mesure approchée plus mesure fine peut s'exprimer comme ci-dessous:

α (grades) =

$$\underbrace{\frac{100}{\pi} \frac{\omega}{FH} \left(\frac{W1}{Q1} + \frac{W2}{Q2} \right)}_{\text{mesure fine}} - \underbrace{\frac{2 \times 10^2}{N} \left(\frac{Z1}{Q1} + \frac{Z2}{Q2} \right)}_{\text{correction de changements d'origine}} + \underbrace{\frac{400 X}{N}}_{\text{mesure approchée}}$$

2N: nombre de traits gravés

ω : vitesse angulaire du disque tournant, en radians/s

FH: fréquence d'horloge

La mesure α est utilisée ou affichée sur un dispositif 70.

La formule utilisée tient compte des changements d'origine de phase dans un sens ou dans l'autre. Elle permet d'obtenir une mesure globale exacte, même si l'angle d'entrée du codeur a varié de plusieurs graduations entre le moment d'acquisition de X et le reste du tour du disque tournant 10.

Les comparateurs qui servent à produire les signaux INV1 et INV2, ainsi qu'à incrémenter les compteurs Y1, Y2, Z1, Z2 peuvent être agencés de manière à être activés par les signaux TR1 ou TR2 produits après chaque créneau VH1 ou VH2; on peut, par exemple, produire un signal de modification du signal d'inversion si, lors de l'apparition du signal TR1, le contenu des compteurs 54 et 56 est inférieur à T/4, ou à partir de l'instant où le contenu des compteurs passe au-dessus de T/4.

Les valeurs numériques choisies pour les paramètres du codeur dépendent du type d'appareil que l'on veut réaliser: codeur lent ou codeur rapide.

Pour un codeur lent, on peut prendre une vitesse de rotation de disque relativement limitée, par exemple 2,5 tr/s avec 2000 traits gravés (moins deux pour le repérage d'origine) et une fréquence d'horloge de 1 MHz. Mais on peut aussi augmenter fortement la vitesse du disque tournant par exemple jusqu'à 100 tr/s, à condition de prendre une fréquence d'horloge suffisamment élevée (10 MHz par exemple). L'avantage en est que le codeur peut fonctionner même si l'angle d'entrée du codeur (angle de l'arbre portant les détecteurs mobiles) varie fortement au cours de la mesure. En effet, le principe adopté fait que la mesure est précise même si l'angle d'entrée varie jusqu'à pratiquement une vitesse de variation égale à un quart de la vitesse de rotation du disque. De plus, il faut noter que les erreurs dues à l'accélération angulaire de l'arbre d'entrée du codeur sont fortement réduites pour un codeur qui tourne vite, car elles sont inversement proportionnelles au carré de la vitesse angulaire du disque tournant.

D'une façon avantageuse, on prévoit que la fréquence FH de l'horloge de comptage est asservie à la vitesse de rotation du disque tournant, afin que la mesure de déphasage par comptage d'impulsions d'horloge soit bien effectivement une mesure de phase, et pas seulement une mesure de durée. En effet, si, pour une fréquence d'horloge constante, la vitesse ω de rotation du disque variait, le résultat du comptage ne serait pas représentatif d'une véritable mesure

de phase et ferait apparaître une erreur en général supérieure à celle introduite par les irrégularités de gravure.

Par conséquent, on prévoit un oscillateur à fréquence contrôlée par une tension, 40, pour établir la fréquence d'horloge FH. La fréquence FH est asservie à la période de TF, c'est-à-dire pratiquement à la vitesse de rotation du disque, aux erreurs de gravure près.

Un compteur 72 reçoit la fréquence d'horloge et totalise le nombre d'impulsions de FH reçues pendant une période de TF. La sortie du compteur est connectée à une mémoire 74 qui reçoit,

comme signal de commande d'enregistrement du contenu du compteur, le signal TF. La sortie de la mémoire est connectée à un convertisseur numérique analogique 76 qui produit une tension de commande de l'oscillateur 40 à fréquence variable. Le temps de réponse de cette boucle d'asservissement est très rapide et la mesure de phase tient donc compte, à chaque période de TF, de la vitesse de rotation du disque mesurée à la période, ce qui élimine pratiquement toute erreur due aux fluctuations de cette vitesse si on fait l'hypothèse raisonnable que ces fluctuations sont négligeables d'une marque à la suivante du disque gravé.



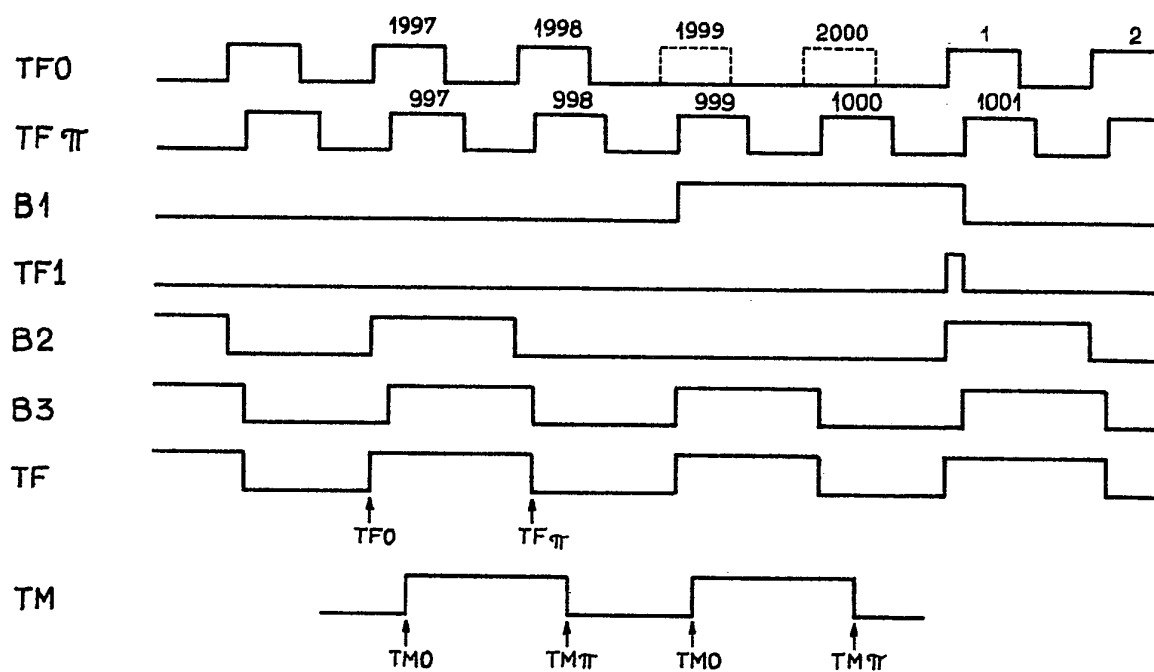
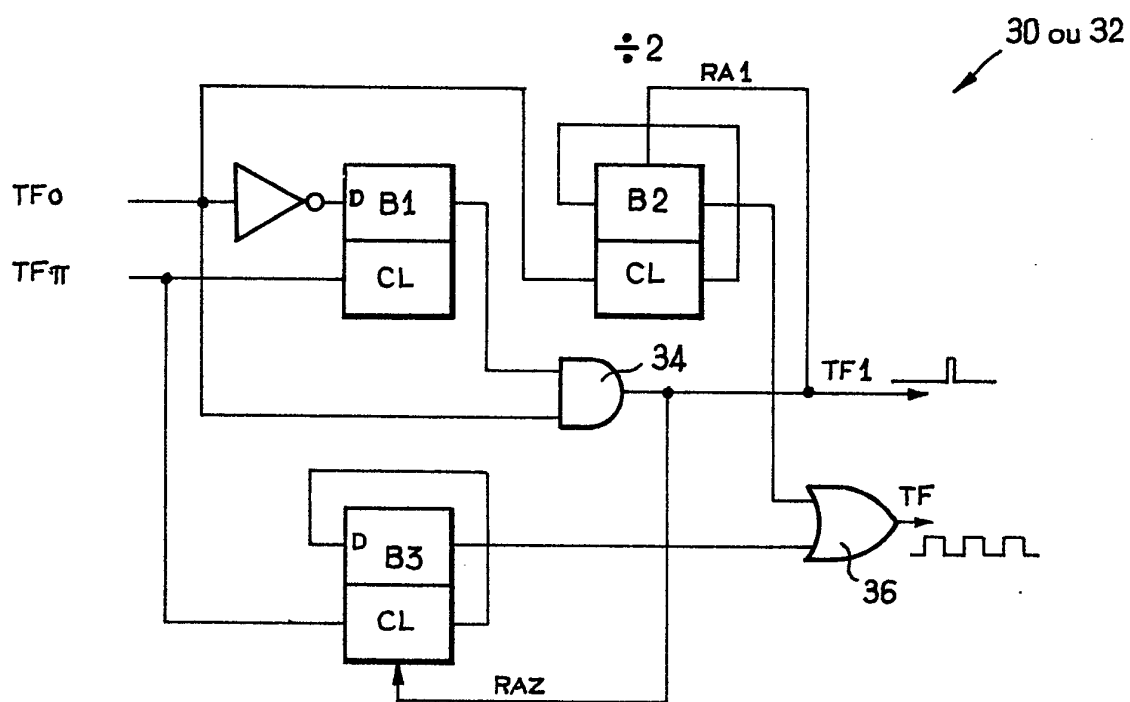
FIG. 2FIG. 3

FIG.5