

①⑤ BREVET D'INVENTION

PREMIÈRE ET UNIQUE
PUBLICATION

②② Date de dépôt..... 30 juillet 1970, à 10 h 30 mn.
Date de la décision de délivrance..... 14 février 1972.
Publication de la délivrance..... B.O.P.I. — «Listes» n. 10 du 10-3-1972.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.).. **G 01 r 23/00.**

⑦① Déposant : Société dite : ADRET ÉLECTRONIQUE, résidant en France.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Moutard, 34, boulevard de Grenelle, Paris (15).

⑤④ **Fréquence-mètre actif.**

⑦② Invention de : Roger Charbonnier.

③③ ③② ③① Priorité conventionnelle :

L'invention se rapporte aux fréquencemètres.

Les méthodes les plus courantes de mesure d'une fréquence comportent une quantification : par exemple, on compte le nombre d'alternances du signal pendant une durée étalon, définie
5 par l'ouverture d'une porte, où, s'il s'agit de mesurer des fréquences très basses, on compte des impulsions d'horloge pendant la durée d'une période. Dans les deux cas, une erreur d'un pas peut intervenir, ce qui limite la précision de la mesure. Dans le cas des fréquences très basses, il faut calculer la fréquence en
10 prenant l'inverse de la période mesurée. En outre, si le signal comporte un bruit de phase, il est nécessaire de calculer la moyenne des résultats obtenus pour un grand nombre de périodes. On aboutit finalement à des appareils équipés d'organes de calcul très complexes, et à des mesures très longues.

15 La présente invention se propose de supprimer ces inconvénients et de réaliser un fréquencemètre apte à fonctionner avec une grande précision et à procurer une mesure rapide, aussi bien aux fréquences très basses qu'aux fréquences très élevées.

Suivant l'invention, cet appareil comprend un premier
20 fréquencemètre classique à mémoire de précision moyenne à sorties numériques, un synthétiseur itératif de fréquence programmée par ce premier fréquencemètre, ledit synthétiseur comportant un oscillateur d'interpolation commutable sur plusieurs des décades du synthétiseur, un organe de mélange soustractif de la fréquence
25 synthétisée et de la fréquence à mesurer, des moyens de commander la variation de fréquence de l'oscillateur d'interpolation à partir de la sortie de l'organe de mélange, et un second fréquencemètre à sorties numériques qui mesure l'incrément de fréquence de l'oscillateur d'interpolation.

30 L'oscillateur d'interpolation est substitué à l'oscillateur local de l'une de celles des décades du synthétiseur qui procureraient des chiffres du nombre qui exprime la fréquence à mesurer, moins significatifs que ceux qui sont fournis par le premier fréquencemètre. La fréquence de cet oscillateur d'interpolation
35 tion est finalement asservie, par la boucle constituée par le synthétiseur et l'organe de mélange, à une valeur telle que l'écart entre la fréquence synthétisée et la fréquence à mesurer s'annule, si bien qu'il suffit d'ajouter le nombre mesuré par le second fréquencemètre, en tenant compte de son poids, au nombre qui exprime
40 la fréquence synthétisée, pour obtenir le nombre qui exprime la

fréquence à mesurer.

C'est la présence d'un synthétiseur dans l'appareil qui justifie l'appellation "fréquence-mètre actif".

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description détaillée ci-après.

La figure unique du dessin annexé est un schéma de principe d'un fréquence-mètre actif conforme à l'invention.

A la figure, on a désigné par le numéro de référence générale 1 un synthétiseur de fréquence de type classique, comportant un certain nombre de décades, telles que 2, 3, 4 ... 5, une source de fréquence porteuse 6 et un oscillateur d'interpolation 7.

Comme on le sait, si F_0 est la fréquence porteuse et si la première décade reçoit $F_0/10$, les décades, successives, fournissent normalement à leur sortie, des fréquences respectivement égales à $F_0/10 + I_1/10$; $F_0/10 + \frac{I_1}{100} + \frac{I_2}{10}$; $F_0/10 + \frac{I_1}{1000} + \frac{I_2}{100} + \frac{I_3}{10}$, etc ; I_1, I_2, I_3 etc étant les incréments de fréquence appliqués sur les décades successives. Ces incréments sont par exemple de n fois 10^3 Hz, n variant de 0 à 9 et étant appliqué sur chaque décade sous la forme d'une valeur de consigne cochée par exemple en 1-2-4-8.

Après la sortie de la dernière décade 5, la fréquence porteuse F_0 est éliminée par un mélangeur soustractif 5a, qui reçoit la fréquence F_0 . La fréquence de sortie du synthétiseur, pour quatre décades, est donc $F = I_4 + \frac{I_3}{10} + \frac{I_2}{100} + \frac{I_1}{1000}$. Elle varie de 0 à 9999 Hz par pas de 1 Hz.

Dans l'appareil décrit, la valeur de consigne est fournie par un premier fréquence-mètre à l'entrée duquel on applique la fréquence à mesurer. On supposera que celle-ci comporte un terme principal fixe F_x susceptible d'être synthétisé et un terme ξ susceptible de dérive, et dont on désire suivre l'évolution. Il s'agit d'un fréquence-mètre de type courant, de précision moyenne, à sorties numériques cochées en 1-2-4-8 et à mémoire. Par conséquent, les chiffres les plus significatifs du nombre qui exprime la fréquence à mesurer, codé en 1-2-4-8, sont présents, pendant toute la durée de la mesure, sur les sorties du fréquence-mètre 8. On s'arrange pour qu'ils imposent à F une valeur égale à F_x .

Par ailleurs, comme cela est bien connu, il existe normalement, dans un synthétiseur, un oscillateur d'interpolation dont la fréquence peut varier de façon continue en fonction d'une

tension de commande U. Cet oscillateur peut être appliqué à l'une quelconque des décades en fermant l'un des interrupteurs 9 à 12. Dans le cas présent on le substituera à l'oscillateur local de l'une des décades (2 ou 3 par exemple) qui donnent des chiffres 5 moins significatifs que ceux que procure le fréquencemètre 8.

Comme on le sait, l'oscillateur d'interpolation ajoute à l'incrément (I_2 ou I_3) un deuxième incrément Δ positif ou négatif, de valeur maximale égale à dix fois le pas. S'il est introduit, dans le cas de la figure, sur la décade 2, la fréquence de 10 sortie F se trouve augmentée de $\Delta/1000$; s'il est introduit sur la décade 3, F est augmentée de $\Delta/100$, et ainsi de suite.

La fréquence F de sortie du synthétiseur 1, appliquée à un mélangeur soustractif 13 qui reçoit par ailleurs la fréquence à mesurer. Le battement résultant $Fx + \xi - F$ est appliqué, de pré- 15 férence par l'intermédiaire d'un amplificateur intégrateur symbolisé sous la forme d'un amplificateur 14 aux bornes duquel est connecté un condensateur 15 et qui délivre la tension U, à un organe de commande de la fréquence de l'oscillateur 7. Il s'agit par exemple d'une diode à capacité variable.

20 Il en résulte que la fréquence porteuse de l'oscillateur 7 (qui est une fréquence relativement élevée, par exemple $F_1 = 15$ MHz), subit une certaine variation Δ . Comme cette fréquence agit sur l'une des décades, soit 2 par exemple, cette décade va engendrer un incrément $\Delta/1000$, lequel modifie la fréquence de sortie 25 du synthétiseur 5.

Il en résulte que la fréquence de battement va se trouver modifiée. Tant que l'écart de fréquence subsiste le processus se poursuit, pour aboutir finalement à la suppression complète du dit écart. A ce moment, la fréquence de l'oscillateur 7 est égale 30 à $F_1 + \Delta_1$; l'incrément Δ_1 , positif ou négatif, peut être mesuré par un second fréquencemètre à sorties numériques 16.

En fait, l'oscillateur 7 introduit, non seulement un incrément Δ , mais la porteuse F_1 , qu'il faudra appliquer à toutes les décades et qui s'intégrera à la fréquence porteuse du synthé- 35 tiseur. Il est inutile de décrire plus en détail cet aspect du dispositif, qui ne posera aucun problème à l'homme du métier.

Il est évident que la fréquence à mesurer $Fx + \xi$ est finalement la somme de la fréquence Fx lue sur le fréquencemètre 8 et du quotient par n de la fréquence lue sur le fréquencemètre 16, 40 n étant le rapport de division de l'incrément ajouté par l'oscil-

lateur d'interpolation 7 dans les décades qui suivent celle pour laquelle l'interrupteur est fermé (dans l'exemple considéré, $n = 1000$). En pratique le fréquencesmètre 16 est suivi d'un diviseur par n 16a et le résultat est additionné à F_x dans un additeur binaire 17, suivi d'un dispositif d'affichage à tubes à décharge à chiffres 18.

En mesurant la tension de commande U de l'oscillateur, dont Δ_1 est une fonction linéaire, on obtient une lecture analogique de la valeur de la dérive de fréquence ξ et, si on le désire, un enregistrement graphique de cette dérive peut être effectué.

Il convient de faire observer que la résolution du dispositif décrit, pour un temps de mesure donné, est sensiblement multiplié par n . Ce coefficient de multiplication d'erreur peut atteindre 10^6 ou davantage en utilisant un synthétiseur comportant un nombre de décades suffisant. On peut ainsi, à titre d'exemple, mesurer une fréquence de 60 MHz à 1/1000 de Hz pris en un temps de l'ordre de la seconde. Le choix de n , donc de la résolution dans les limites du nombre de décades, est fait par l'utilisateur, compte tenu des considérations suivantes : d'une part n doit être tel que l'incrément Δ/n , positif ou négatif, que l'oscillateur peut subir, compte tenu de la plage de fréquence de la boucle de verrouillage de phase, puisse permettre au synthétiseur d'engendrer $F_x + \xi_1$, ξ_1 étant la valeur maximale (généralement connue) de la dérive ξ . D'autre part, le bruit propre de phase ou de fréquence de la source à mesurer ne doit pas conduire à des écarts de fréquence supérieurs à Δ/n .

On fera observer que l'appareil permet de mesurer aussi bien les fréquences basses que les fréquences élevées, en choisissant convenablement le synthétiseur.

L'amplificateur 14 n'est pas nécessairement intégrateur. Toutefois, l'intégration permet d'effectuer la mesure de la fréquence moyenne, avec diverses constantes de temps d'intégration possibles, en vue d'éliminer au mieux les composantes élevées du bruit de phase ou de fréquence de F_x .

L'appareil n'utilise qu'une source de fréquence unique F_0 de valeur commode (1 à 5 MHz par exemple), stabilisée par quartz.

Lorsque la dérive ξ a atteint une valeur relativement grande, il est aisé de remettre l'appareil au zéro en effectuant

une nouvelle mesure de F_x au moyen du fréquencemètre 8.

Il va de soi que diverses modifications pourront être apportées au montage décrit et représenté, sans s'écarter de l'esprit de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de mesure de fréquences comportant un premier fré-
quencemètre à mémoire à sorties numériques, un synthétiseur itéra-
tif de fréquence programmé par ce premier fréquencemètre, ledit
5 synthétiseur comportant un oscillateur d'interpolation commutable
sur plusieurs des décades du synthétiseur, un organe de mélange
soustractif de la fréquence synthétisée et de la fréquence à me-
surer, des moyens de commander la variation de fréquence de l'os-
cillateur d'interpolation à partir de la sortie de l'organe de
10 mélange, et un second fréquencemètre à sorties numériques qui me-
sure l'incrément de fréquence de l'oscillateur d'interpolation.
2. Dispositif de mesure de fréquences suivant la revendication 1,
comportant en outre des moyens de faire la somme de la fréquence
mesurée par le premier fréquencemètre et de la fréquence mesurée
15 par le second fréquencemètre, affectée d'un poids qui dépend de
la position du commutateur qui relie l'oscillateur d'interpolation
aux décades du synthétiseur.
3. Dispositif de mesure de fréquences suivant la revendication 1,
dans lequel ledit mélangeur est relié à l'organe de commande de
20 fréquence de l'oscillateur d'interpolation par l'intermédiaire
d'un amplificateur intégrateur.
4. Dispositif de mesure de fréquences suivant la revendication 4,
comportant des moyens de mesurer la tension de sortie dudit ampli-
ficateur.

