

Générateur de signaux électriques sinusoïdaux du type dit synthétiseur de fréquence.  
(Invention : Roger CHARBONNIER.)

Société dite : ADRET ELECTRONIQUE résidant en France (Seine).

Demandé le 20 juillet 1966, à 12<sup>h</sup> 6<sup>m</sup>, à Paris.

Délivré par arrêté du 24 juillet 1967.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 35 du 1<sup>er</sup> septembre 1967.)

(Brevet d'invention dont la délivrance a été ajournée en exécution de l'article 11, § 7, de la loi du 5 juillet 1844 modifiée par la loi du 7 avril 1902.)

L'invention se rapporte aux générateurs connus sous le nom de « synthétiseurs de fréquence » et, plus particulièrement, aux « synthétiseurs à décades cohérents en fréquence ». Ce terme désigne des générateurs qui délivrent, à partir d'un étalon unique de fréquence, généralement un oscillateur à quartz, une pluralité de signaux dont on peut faire varier la fréquence de manière telle que chacun des chiffres significatifs du nombre qui l'exprime soit individuellement réglable entre 0 et 9.

Ces synthétiseurs de fréquence comportent le plus souvent une cascade de  $n-1$  éléments ou « décades » ( $n$  étant le nombre de chiffres significatifs) engendrant respectivement des fréquences successives telles que,  $F_0 + A$  étant la fréquence engendrée par l'un des éléments, le suivant engendre la fréquence  $F_0 + A/10 + B$ , un dernier élément, connecté en série avec ladite cascade, engendrant une fréquence qui se déduit de celle que lui applique le  $(n-1)$ <sup>ème</sup> élément par soustraction de la « porteuse »  $F_0$ .

Dans les synthétiseurs de fréquence à décades connus, chacun des  $n-1$  éléments susvisés comporte un modulateur qui effectue le battement additif des fréquences  $F_0 + A$  et  $9 F_0 + 10 B$ , suivi d'un diviseur de la fréquence par 10.

Cette solution entraîne des difficultés en ce qui concerne la réalisation du filtre, lequel devra en effet éliminer complètement la composante de fréquence  $9 F_0 + 10 B$  (transmise par le modulateur si celui-ci n'est pas parfaitement équilibré) tout en laissant passer le battement  $10 F_0 + A + 10 B$ . Elle conduit dans la pratique à utiliser une porteuse de fréquence élevée (3 Mcs par exemple) et le risque d'engendrer des modulations de phase parasites est difficile à supprimer complètement.

La présente invention se propose de remédier à ces inconvénients.

Suivant l'invention, chacun des  $n-1$  éléments susvisés comporte un premier modulateur, qui effectue un battement additif des fréquences

$F_0 + A$  et  $aF_0$ , suivi d'un diviseur par dix, lui-même suivi d'un deuxième modulateur qui effectue un battement additif entre la fréquence :

$$(0,1 + \frac{a}{10}) F_0 + \frac{A}{10}$$

issue du diviseur et une fréquence :

$$(0,9 - \frac{a}{10}) F_0 + B,$$

$a$  étant un nombre entier, de préférence égal à 3 et, en tout cas, choisi pour faciliter l'élimination des harmoniques par filtrage.

D'autres particularités, ainsi que les avantages de l'invention, apparaîtront clairement à l'aide de la description ci-après.

Au dessin annexé :

La figure 1 est le schéma général de principe du type d'appareils auxquels appartient celui de l'invention;

La figure 2 représente schématiquement l'un des  $(n-1)$  premiers éléments du synthétiseur de fréquence suivant l'invention;

La figure 3 représente le dernier élément d'un tel appareil et;

La figure 4 est le schéma de principe du compteur à capacité variable utilisé dans un tel appareil.

On a représenté, à la figure 1, un synthétiseur destiné à délivrer des fréquences allant jusqu'à 999 999 Hz et variable par « pas » de 1 Hz.

Un tel appareil comporte  $n = 6$  éléments ou « décades », respectivement désignés par les lettres U, D, C, M, L et K, et délivrant les fréquences indiquées au dessin, en face de la sortie de l'élément correspondant. On voit immédiatement que chaque décade (à l'exception de la dernière) ajoute à la porteuse  $F_0$  et un premier incrément de fréquence  $A/10$ ,  $A$  étant l'incrément total ajouté par la décade précédente, et un second incrément de fréquence  $B$ . La dernière décade supprime la porteuse  $F_0$  et délivre une fréquence dont la valeur numérique

possède les chiffres significatifs U, D, C, M, L et K, variables chacun de 0 à 9.

La figure 2 illustre la manière dont on réalise, suivant l'invention, l'une quelconque des  $n - 1$  premières décades de la figure 1.

Un premier modulateur M1 (simple mélangeur de type courant) effectue un battement additif entre la fréquence  $F_0 + A$  qui provient de la décade précédente et une première fréquence auxiliaire  $3 F_0$ . Un filtre passe-bande K1 laisse passer le battement  $4 F_0 + A$ , dont la fréquence est ensuite divisée par 10 dans un compteur-diviseur C1.

Un second modulateur M2 (simple mélangeur de type courant, ou, mieux, mélangeur du type équilibré) reçoit, d'une part la fréquence  $0,4 F_0 + A/10$  ainsi obtenue, d'autre part une seconde fréquence auxiliaire  $0,6 F_0 + B$  issue d'un oscillateur O. Le battement additif résultant  $F_0 + A/10 + B$  est filtré par un filtre passe-bande K2.

La seconde fréquence auxiliaire  $0,6 F_0 + B$  est obtenue de la manière suivante :

L'oscillateur O est commandé en fréquence par une boucle de réaction comportant un compteur-diviseur C2, un dispositif à coïncidence formé de portes à inhibition N1, N2, N4, N8 et un modulateur M3 qui effectue le battement soustractif de la fréquence issue du compteur avec une fréquence étalon.

Pour fixer les idées, on expliquera le fonctionnement de l'appareil en considérant l'exemple pratique, non limitatif, où  $F_0 = 1\ 000$  kHz. Dans ces conditions, le filtre K1 doit transmettre la bande de fréquence allant de 4 000 à 4 100 kHz (puisque l'incrément A a, suivant les décades, les valeurs successives 90 kHz, 99 kHz, 99,9 kHz, etc., et qu'on adoptera évidemment le même type de décade, avec les mêmes valeurs de ses composantes, pour les  $n - 1$  premières décades de l'appareil).

On fera observer que la réalisation du filtre K1 est, grâce à l'invention, relativement facile. En effet, la fréquence  $3 F_0$  qui risque d'être transmise par le modulateur est située nettement en dehors de la bande passante du filtre, donc facile à éliminer. Seul, l'harmonique 4 de la fréquence  $F_0$  pourrait être gênant, mais il est aisé de réaliser le modulateur M1 pour qu'il ne transmette pas les harmoniques pairs de  $F_0$ .

Le problème du filtrage est beaucoup plus délicat dans les appareils de l'art connu, dans lesquels le modulateur effectue le battement additif entre les fréquences  $F_0 + A$  et  $9 F_0 + 10 B$ . En effet, le filtre doit alors passer la fréquence  $10 F_0$ , et couper la fréquence  $9 F_0 + 10 B$  qui peut être très voisine, si  $F_0$  n'est pas suffisamment grand. On est alors conduit soit à utiliser un modulateur parfaitement équilibré (très onéreux), soit à donner à  $F_0$  une valeur relativement grande. Dans ce dernier cas, la division de fréquence ne peut être

effectuée qu'au moyen de circuits beaucoup plus complexes que les compteurs-diviseurs.

Revenant à la figure 2, on voit que le mélangeur M2 reçoit, d'une part la fréquence 400 à 410 kHz issue du diviseur C1, d'autre part la fréquence 600 à 690 kHz issue de l'oscillateur O (l'incrément B doit en effet, pour toutes les décades, être variable entre 0 et 90 kHz, comme la figure 1 permet de s'en rendre compte). Le filtre K2 devra donc transmettre la bande 1 000 à 1 100 kHz. Il est évident que sa réalisation est relativement facile. En effet, les fréquences  $0,4 F_0$  et  $0,6 F_0$ , ainsi que leurs harmoniques, sont nettement en dehors de sa bande passante  $F_0 + A/10 + B$ .

On va maintenant expliquer la manière dont la fréquence de l'oscillateur O est réglée au moyen de la boucle de réaction décrite ci-dessus :

On peut afficher un chiffre quelconque compris entre 0 et 9 par application de signaux appropriés sur les entrées 1, 2, 4 et 8 du dispositif à coïncidence. Suivant la valeur du chiffre ainsi affiché, le compteur C2 transmet les signaux issus de l'oscillateur O en divisant leur fréquence par un nombre variable entre 60 et 69. On expliquera plus loin, en se référant à la figure 4, le fonctionnement d'un tel compteur-diviseur à capacité variable, lequel est d'ailleurs connu en soi et présente l'avantage d'être facilement programmable à l'aide de quatre fils seulement.

Le modulateur 3 (avantageusement du type connu sous le nom de « détecteur de phase ») transmet un battement nul lorsque la sortie du dispositif à coïncidence est à la fréquence étalon (égale à 10 kHz dans l'exemple numérique considéré), si bien que la fréquence de l'oscillateur O se trouve finalement asservie aux valeurs 600 kHz, 610 kHz, 620 kHz ... 690 kHz, suivant la valeur du chiffre affiché.

La figure 3 représente un mode d'exécution non limitatif de la dernière décade de l'appareil, dans le cas d'un synthétiseur couvrant la gamme de 0 à 1 MHz. Les éléments qui portent les mêmes numéros de référence sont identiques à ceux de la figure 2.

Le modulateur M21 reçoit, d'une part la fréquence  $4 F_0 + A$  issue du filtre K1, d'autre part la fréquence  $4 F_0 - B$  issue d'un oscillateur O1 (soit 4,0 à 3,0 MHz dans l'exemple numérique considéré), et en effectue le battement soustractif  $A + B$ .

Le filtre de sortie K21 est un filtre passe-bas, de fréquence de coupure égale à 1,1 MHz dans l'exemple numérique considéré.

Le compteur C21 effectue une division de fréquence dans un rapport qui varie entre 40 et 30, lorsque le chiffre affiché aux entrées 1, 2, 4, 8 du dispositif à coïncidence N1, N2, N4, N8 passe de 0 à 10.

Entre la sortie de l'oscillateur O1 et le compteur C21 est interposé un diviseur décimal de fréquence C11. Il est évident que l'on obtient, d'une manière

similaire à celle qui a été expliquée en se référant à la figure 2, 11 valeurs discrètes de la fréquence de l'oscillateur O, distantes les unes des autres de 100 kHz.

La réalisation des divers éléments des circuits que l'on vient de décrire est à la portée de l'homme de l'art. Les diverses fréquences étalon nécessaires à leur fonctionnement sont obtenues, par multiplication ou par division, à partir d'un oscillateur à quartz de haute stabilité.

A la figure 4, on a représenté plus en détail le compteur à capacité variable désigné par C2 à la figure 2.

Les carrés entourant les chiffres 1, 2, 4, 8 et 16 symbolisent respectivement des bascules binaires de tête ayant des poids respectifs 1, 2, 4, 8 et 16, et constituant une « échelle-de-32 » classique. B1 et B2 désignent des bascules binaires, E1, E2, E3, des portes ET; N1, N2, N4, N8, des portes à inhibition.

Le fonctionnement de ce compteur est le suivant :

Les bascules binaires de tête reviennent normalement à leur état initial (par exemple « zéro ») à la 32<sup>e</sup> impulsion appliquée à l'entrée de la bascule I, et fournissent alors une impulsion à une entrée de chacune des portes E1, E2, E3.

En supposant que les bascules B1 et B2 soient, à l'origine, dans l'état « zéro », c'est-à-dire qu'un signal soit présent sur leur sortie So, ladite impulsion est transmise par la porte E1, si bien que la bascule B1 passe dans l'état « un ». Il en résulte que la porte E1 se ferme, tandis que la porte E2 s'ouvre.

Lorsque l'échelle-de-32 transmet une deuxième impulsion, celle-ci est donc transmise à la bascule B2, qui passe à son tour dans l'état « un ». A ce moment, les portes E1 et E2 sont fermées, tandis que la porte E3 est ouverte.

Lors de la troisième impulsion issue de l'échelle-de-32, les bascules B1 et B2 sont remises à « zéro » par l'intermédiaire de la porte E3, si bien que l'ensemble du compteur, y compris le circuit G, est ramené à l'état initial.

En l'absence de connexions entre la bascule B1 et les bascules de tête, on aurait donc un retour du compteur à l'état initial toutes les 96 impulsions appliquées à son entrée.

En fait, on voit au dessin que les bascules 1, 4 et 16 sont connectées à une sortie de la bascule B1. Cette sortie est prélevée en un point où il apparaît un signal au moment de la transition de la bascule B1 de l'état « un » vers l'état « zéro ». Ce signal a alors pour effet de forcer les bascules 1, 4 et 16 dans l'état « un ». Il en résulte que l'échelle-de-32 délivrera sa deuxième impulsion de sortie après la réception de  $[32 - (1 + 4 + 16)] = 11$  impulsions d'entrée seulement et qu'en définitive le compteur reviendra à l'état initial au bout de 75 impulsions seulement. On a ainsi réduit sa capacité de 96 à 75.

En fait, on désire, dans l'exemple considéré plus haut, la réduire jusqu'à une valeur variable de 60 à 69.

Cette réduction est obtenue en connectant la sortie de la bascule B2 sur laquelle un signal est présent lors de la transition de l'état « un » vers l'état « zéro », aux bascules 1, 2, 4 et 8, par l'intermédiaire des portes N1, N2, N4 et N8. Il est évident que si ces portes sont toutes ouvertes (absence de signaux de code sur les entrées de commande 1, 2, 4 et 8), on obtient une réduction supplémentaire de  $1 + 2 + 4 + 8 = 15$  de la capacité du compteur, qui est ainsi ramenée à 60. Par combinaisons de signaux de code appropriées sur lesdites entrées, il est aisé, en fermant certaines des portes N1 à N8, de faire varier cette capacité entre les valeurs 60 et 69 désirées.

L'impulsion de sortie d1 compteur est par exemple recueillie sur la sortie de transition « un-zéro » de la bascule B2.

A la figure 2, on a omis, pour simplifier, de représenter les portes E1, E2, E3 nécessaires, en fait, au fonctionnement du compteur.

Le compteur C21 de la figure 3 a été représenté de la même manière simplifiée mais comporte en fait les mêmes portes que celui de la figure 4. Toutefois, l'échelle-de-32 y est remplacée par une échelle-de-16 si bien que les bascules B1 et B2 sont les bascules de poids 16 au lieu de 32.

La connexion de la bascule 16 supérieure (correspondant à la bascule B1 de la figure 4) avec la bascule 8 symbolise une réduction de 8 unités de la capacité du compteur par le procédé décrit ci-dessus. Celle-ci est donc égale à  $3 \times 16 - 8 = 40$  en l'absence de signaux de codes sur les entrées 1, 2, 4, 8. Les portes N1, N2, N4 et N8 sont en effet, dans le cas de la figure 3, des portes ET, normalement fermées. En présence des signaux de code, une combinaison appropriée de ces portes s'ouvre de façon à réduire encore la capacité du compteur, que l'on peut ainsi aisément varier de 40 à 30.

Il va de soi que les montages décrits et représentés pourront faire l'objet de variantes d'exécution, sans s'écarter de l'esprit de l'invention.

#### RÉSUMÉ

1<sup>o</sup> Générateur de fréquence du type « synthétiseur à décades cohérent en fréquence » principalement remarquable en ce que chacune de ses décades, à l'exception de la dernière, comporte un premier modulateur, qui effectue un battement additif des fréquences  $F_0 + A$  et  $aF_0$ ,  $F_0$  étant une fréquence porteuse et  $A$  l'incrément de fréquence produit par la décade précédente, ledit modulateur étant suivi d'un diviseur de fréquence par dix, lui-même suivi d'un deuxième modulateur qui effectue un battement additif entre la fréquence  $(0,1 + \frac{a}{10}) F_0 + \frac{A}{10}$  issue du diviseur, et une fré-

quence  $(0,9 - \frac{a}{10}) F_0 + B$ ,  $a$  étant un nombre entier, de préférence égal à 3 et, en tout cas, choisi pour faciliter l'élimination des harmoniques par filtrage.

2° Synthétiseur de fréquence conforme au paragraphe 1°, dans lequel la fréquence auxiliaire  $bF_0 + B$  est engendrée par un générateur de signaux périodiques (avantageusement de forme rectangulaire), lequel est commandé en fréquence par une boucle de réaction comportant un compteur-diviseur à capacité variable, un dispositif à coïncidence destiné à faire varier, en fonction de signaux codés appliqués à ses propres entrées, le rapport de division dudit compteur, et un modu-

lateur, avantageusement du type « détecteur de phase », qui effectue le battement soustractif de la fréquence issue du compteur avec une fréquence étalon;

3° Synthétiseur de fréquence conforme au paragraphe 1°, dont la dernière décade comporte un premier modulateur qui effectue un battement additif des fréquences  $F_0 + A$  et  $aF_0$ , suivi d'un second modulateur qui effectue un battement additif avec une fréquence auxiliaire variable  $(a + 1 - B)$ .

Société dite :  
ADRET-ÉLECTRONIQUE

Par procuration :  
Cabinet MOUTARD

*Fig:1*

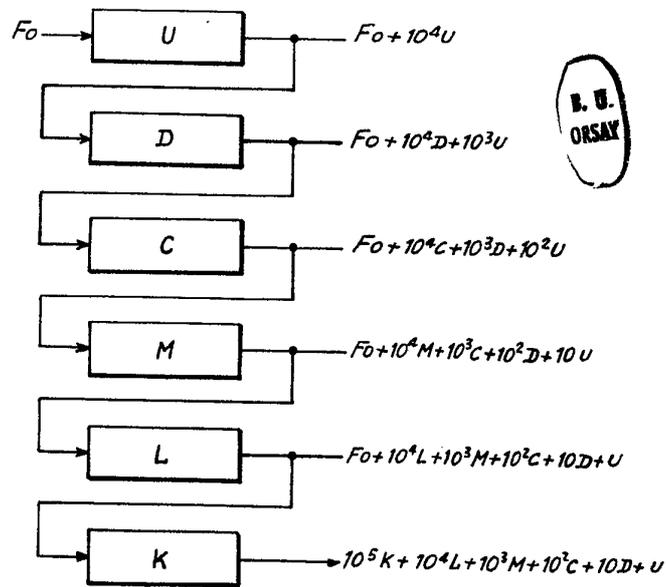


Fig. 2

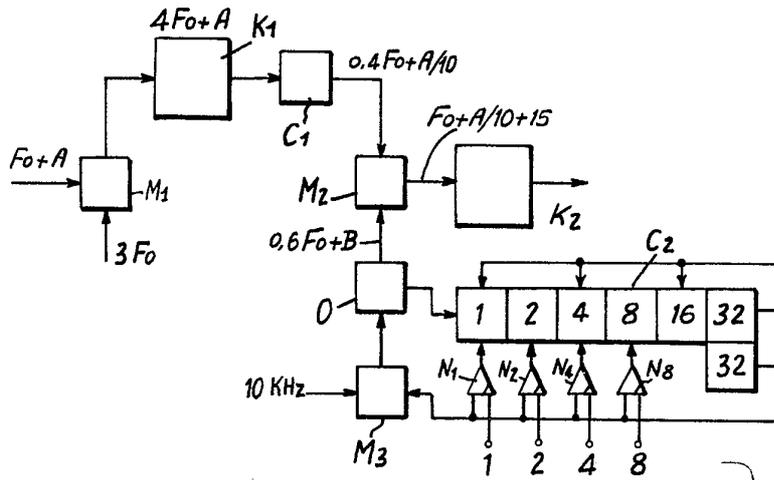


Fig. 3

