



Synthétiseur de fréquence HF Le summum de la facilité

Pierre Boillat (HB9AIS), Fin de Meyriez 20, 3280 Meyriez
Preamble de Werner Tobler (HB9AKN)

Génération de signaux alternatifs

La production de signaux électriques en général est et restera longtemps une préoccupation essentielle. Pour mieux comprendre et apprécier tout le chemin parcouru, il est utile de faire un peu d'histoire des sciences afin de pouvoir mieux juger de l'évolution et de son orientation.

L'homme a eu son attention attirée dès l'origine par les éclairs, et il s'agissait dans ce cas particulier d'oscillations amorties. Rappelons qu'une oscillation amortie n'est autre qu'un mouvement alternatif dont l'amplitude va en décroissant puis disparaît complètement.

Une oscillation est dite entretenue si, par un moyen quelconque, on lui communique l'énergie nécessaire à son maintien, qui correspond à celle perdue dans le système. Ainsi le mouvement peut continuer. L'exemple le plus simple est celui de l'escarpolette à laquelle on doit transmettre de l'énergie pour éviter que le mouvement ne s'arrête. Ainsi les premiers courants alternatifs générés par l'esprit inventif de l'homme l'ont été grâce à l'alternateur, première machine tournante inventée, celle-ci étant la plus simple, en 1870.

Ces machines ont ouvert la voie à l'application immédiate des phénomènes d'induction dans le domaine de l'électricité de puissance, des réseaux de distribution.

Les fréquences industrielles de 50 Hz en Europe et de 60 Hz aux USA furent choisies par toutes sortes de considérations.

On essaie d'atteindre des fréquences de plus en plus élevées par ce moyen et l'alternateur d'Alexanderson généra des courants atteignant 22 kHz en 1924 avec une puissance de 200 kW. Pour atteindre des fréquences supérieures par cette voie, on se heurtait à des obstacles insurmontables de pertes, de vitesse de rotation, etc.

En 1906, Lee de Forest avait déjà imaginé et construit sa célèbre triode et c'est à peine croyable de constater à quel point une invention peut complètement bouleverser l'ordre des choses, et débloquent une situation qui paraissait sans issue. Ainsi, il devenait possible de générer un courant alternatif par une voie autre que l'alternateur tournant. Ce fut un feu d'artifice de montages auto-oscilla-

teurs ayant pour nom: Hartley, Colpitts, Armstrong, Messner, Clapp, ECO etc et la liste est loin d'être exhaustive. Les amateurs jouèrent dans ce domaine un très grand rôle, car chacun rivalisait d'ingéniosité pour obtenir le meilleur signal possible. Et quel bond en fréquence puisque la merveilleuse triode atteignait déjà les ondes courtes en 1921.

En perfectionnant sans cesse les montages, on parvient à faire d'excellents maîtres oscillateurs pilotes, d'une stabilité satisfaisante et surtout d'une pureté spectrale qui n'est pas égalée même par les synthétiseurs actuels.

L'inconvénient résultant de l'utilisation de tubes électroniques fût éliminé par l'emploi de transistors divers. Il existait à cette époque des étages pilotes à quartz, d'une stabilité en fréquence supérieure aux auto-oscillateurs, mais alors l'opérateur était limité à la fréquence fondamentale du quartz ou à l'un de ses harmoniques. C'était l'heureuse époque à laquelle on faisait un tour d'écoute général de la bande après un appel général, car le correspondant éventuel n'avait pas forcément la même fréquence de quartz.

Grâce aux transistors, on peut se libérer des déformations mécaniques internes aux hautes températures des tubes électroniques, et obtenir ainsi des auto-oscillateurs réellement performants dont la dérive en fréquence se compte en dizaine de Herz's par heure. Un problème subsiste cependant avec cette technologie, celui de la nécessité de commuter divers bobinages pour couvrir une bande de fréquence déterminée. Plus la gamme couverte était large avec un bobinage donné, moins bonne était la stabilité en fréquence et surtout celle-ci diminue lorsque la fréquence augmente.

Il en résulte qu'en utilisant cette technologie, les fréquences élevées ne peuvent être atteintes que par mélange avec d'autres signaux stables, du maître oscillateur pilote.

Comment concilier la stabilité d'un étage pilote à quartz avec la plage de fréquences disponibles d'un étage auto-oscillateur? Ce fût l'idée fondamentale de la boucle de phase asservie. Abrévia-

tions PLL de l'anglais Phase lookloop, dont l'idée est née en 1932. En plus des avantages mentionnées ci-dessus, il devient possible d'obtenir directement la fréquence de travail sans étages intermédiaires mélangeurs ou multiplicateurs. Quelle simplification.

Le dispositif se compose essentiellement des éléments suivants:

- un étage de référence à quartz
- un comparateur de phase
- un étage auto-oscillateur dont la fréquence dépend d'une tension continue de commande (VCO)
- un étage diviseur programmable à volonté.

Heureusement, devant une telle complexité, les moyens dont disposent le constructeur, ont beaucoup évolué et toutes ces fonctions sont désormais simplifiées.

Pierre (HB9AIS) nous fait part de sa remarquable réalisation et nous lui cédon la plume. Comme référence bibliographique, sous toute réserve que ces livres soient épuisés, il y a:

En français: «Emetteurs pilotes à synthétiseur de G.E. Gerzelka à technique poche des éditions techniques et scientifiques françaises, ouvrage très adapté pour le radio-amateur.

En anglais: «Phase locked loop systems» data book de Motorola.



Introduction

C'est il y a plus de 25 ans déjà, que l'on vit apparaître sur le marché les premiers équipements HF pour radio-amateurs, équipés d'affichages digitaux de la fréquence.

Ce fut une évolution technologique très appréciée; imaginez, ou souvenez-vous toutes les astu-

ces qu'il fallait déployer auparavant pour arriver à entendre la contre-station lors de SKED's. Ou lors d'exercices de radio-goniométrie dans la bande surchargée des 80 mètres, le soir, lorsque vous cherchiez le «bip bip» caractéristique au moyen de votre récepteur équipé d'un VFO dont la stabilité était encore un vain mot, et dont les valeurs de la fréquence de syntonisation affichées étaient plus que relatives.

D'énormes progrès furent donc réalisés, premièrement dans la mesure et l'affichage de la fréquence des VFO's, ou de celle du résultat du mixage VFO - Xtal - PLL. Les résultats obtenus sont très très intéressants, et presque tous les transceivers HF modernes sont construits ainsi. Ce n'est cependant pas très facile à réaliser par l'amateur; le VFO demande de grands soins tant au niveau de l'électronique, que lors de la réalisation de la partie mécanique. Ça devient vite lourd et volumineux, quelquefois laborieux. Expériences faites, ça valait la peine de rechercher d'autres solutions, c'est alors que je me suis tourné vers les synthétiseurs de fréquences; et à ce propos, j'ai publié un article intitulé: «Un bon QRP 2 W CW Transceiver pour le 10 Mc.» [1]. Dans cet article, le synthétiseur de fréquence était constitué de: 8 IC's, dont un oscillateur Xtal + diviseur, ainsi que de quelques transistors et une diode Varicap. 40 composants passifs étaient en outre utilisés. C'était déjà performant, facile à réaliser et simple; mais ce que je vais décrire ci-dessous c'est: «Le summum de la facilité» en matière de synthétiseur HF.

Le synthétiseur nouvelle génération

On trouve sur le marché depuis peu de temps un LSI IC de Motorola, le MC 145 163, qui, a lui seul est un synthétiseur HF; il comporte 28 broches, dont 16 sont directement reliées aux 4 codeurs BCD, par lesquels on peut afficher manuellement la fréquence qui nous intéresse. Voir Photo. Le circuit est fait de telle manière qu'il inclut toutes les fonctions nécessaires à la synthèse de la fréquence, soit: Un oscillateur Xtal, deux diviseurs programmables, un pour la fréquence de référence, l'autre pour le signal du VCO; un indicateur PLL coopérant avec une LED; et deux détecteurs de phase.

Au moyen de ce circuit intégré génial, on peut donc créer un synthétiseur de fréquence HF comportant en tout et pour tout: 1 IC; quelques transistors; une diode Varicap; et env. 40 composants passifs. On peut donc économiser 7 IC's par rapport au synthétiseur décrit en [1]. De plus le câblage est extrêmement réduit.

Le schéma

Le synthétiseur de fréquence HF comprend deux éléments fondamentaux: Partie a et b. Un oscillateur VXO est décrit en option: Partie c. Voir la figure 1.

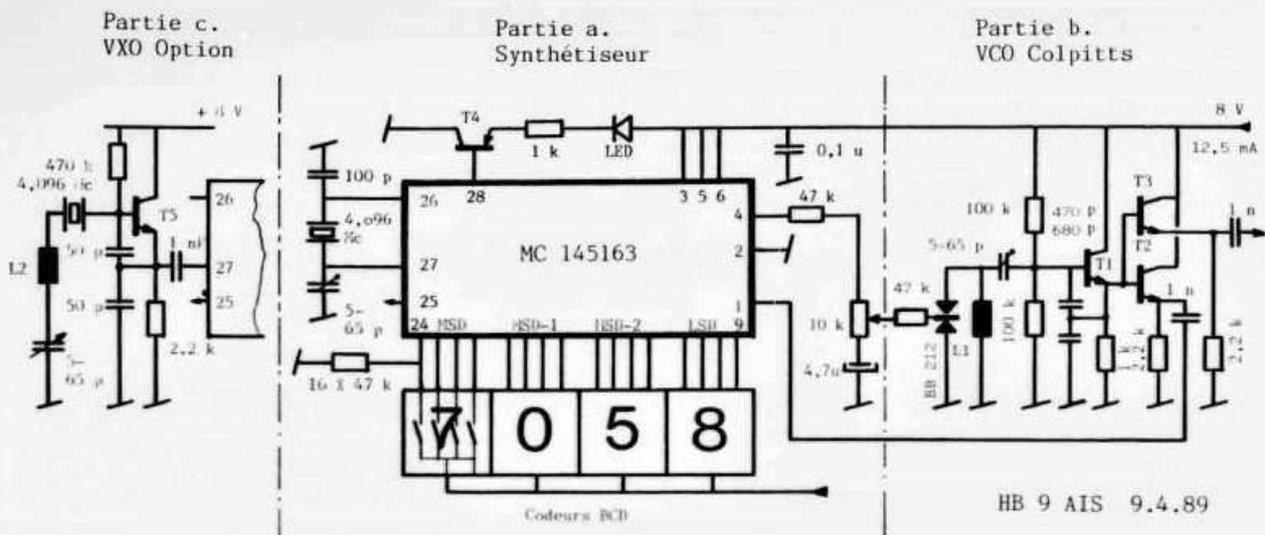


Figure 1: Synthétiseur de fréquence 4,5-9,999 Mc

T1, T2, T3, T5, 2N2222

T4, BC 2907

L1, 17 tours Tore Philips No: 4322 020 97170, env. 15 μ H

L2, 47 tours Tore Philips No: 4322 020 97170, env. 100 μ H

MC 145163, Motorola

BB 212, Philips

Partie a

C'est le synthétiseur basé sur le IC MC 145 163, il est constitué d'un oscillateur Xtal de 4,096 Mc, dont la fréquence peut finement être ajustée par le condensateur 5-65 pF. La fréquence du Xtal est divisée par un diviseur programmable broches 5 et 6 par un facteur de 4,096, et ainsi la fréquence de référence obtenue est de 1 kc, broche 25. Les 4 codeurs BCD sont reliés aux broches 9 à 24; une résistance de 47 k, sur chacune de ces broches, contre la masse assure un niveau logique 0 quand les contacts des BCD's sont ouverts. La broche 1 reçoit la fréquence du VCO (partie b); et la broche 4 transmet un signal d'erreur pour corriger et synchroniser le VCO. Un signal, indicateur de PLL «Phase Locked Loop» est disponible à la broche 28, et il est amplifié au moyen d'un transistor PNP afin d'activer la LED.

Partie b

Ici n'importe quel type de VCO peut en principe être branché; cependant pour obtenir une grande stabilité de fréquence, exempte de bruit de phase, l'oscillateur, transistor T1, est du type «Colpitts». La sortie de l'amplificateur T 2, est connectée à la broche 1 du synthétiseur (partie a), en retour, le signal d'erreur, broche 4, est injecté sur le filtre constitué de la R de 47 k, du pot. de 10 k, et du condensateur de 4,7 uF. A la sortie du pot. est disponible la tension de commande du VCO (partie b). Cette tension est appliquée sur la diode Varicap. Pour obtenir une fréquence aussi pure que possible, il faut ajuster le pot. de 10 k, afin d'atteindre la synchronisation PLL, broche 28, T 4, LED éteinte

(partie a) en une seconde. La fréquence pré-programmée au moyen des BCD's est alors disponible à la sortie d'un 2^{ème} amplificateur, T 3, avec une amplitude de 1 à 2 Vpp.

Partie c. Option

Le synthétiseur, (partie a), coopérant avec le VCO, (partie b), produit une fréquence programmable entre: env. 4,5 et 9,999 Mc., par pas de 1 kc. Si l'on désire obtenir une syntonisation continue, on peut varier la fréquence du Xtal au moyen d'un VXO, (partie c). La fréquence du Xtal peut être poussée et tirée au moyen de ce circuit, autour de 4,096 Mc de plus de ± 3 kc, sans en affecter la stabilité. L'émetteur de T 5 sera relié à la broche 27 du MC 145 163 (partie a), à travers un condensateur de 1 nF. La fréquence pré-programmée sur les BCD's, sera ainsi variée facilement de $\pm > 1$ kHz, afin d'obtenir une syntonisation continue. La broche 26 (partie a) restera ouverte.

Conclusions

La vocation toute naturelle d'un tel synthétiseur de fréquence est de permettre la réalisation facile et rapide de petits transceivers comme celui décrit en [1].

Il trouve également sa place dans des émetteurs, et des récepteurs de radio-goniométrie. Il est dans ce cas nécessaire d'ajouter quelques spires sur la bobine L du VCO pour en abaisser la fréquence afin qu'il couvre également la bande 80 m. Ou dans toutes autres réalisations plus complexes, où il coopère avec un mixer, un prescaler, un PLL,

pour générer des signaux HF ou VHF de haute stabilité.

La réalisation de ce synthétiseur sur plaque Veroboard (voir figure 2) ne prend guère plus de 3 à 4 heures de travail, et ne coûte qu'une trentaine de francs. Les résultats en sont inversement proportionnels. Une stabilité à l'épreuve des variations de tension et de température; une résistance aux chocs, jamais vue avec un VFO. Des rendez-vous sur l'air, SKED's, exempts de frustration. En quelques mots: Le summum de la facilité, et des performances hautement professionnelles, à la portée des constructeurs amateurs.

Références

- [1] Boillat P., HB9AIS, Un bon QRP 2 W CW Transceiver pour le 10 MC, old man, No 4 et 5, 1989, p. 26-29 et p. 33-35.
 [2] Motorola, Feuille de caractéristiques du IC MC 145 163.

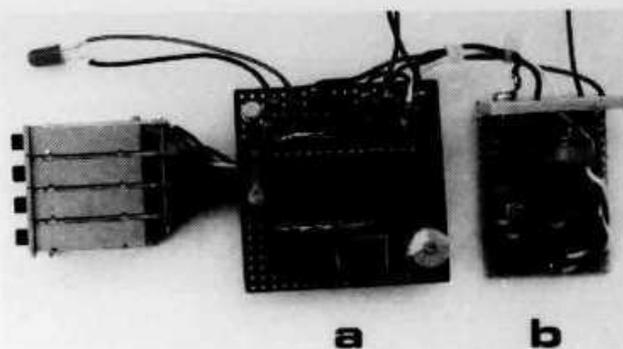


Figure 2: Le synthétiseur de fréquence, partie a; accouplé aux quatre codeurs BCD; et à la LED indicatrice de PLL; ainsi qu'au VCO du type «Colpitts», partie b. Simple et performant.

Inhaltsverzeichnis der Jahrgänge 1986 – 1989

Antennen, Speiseleitungen, Anpassgeräte, Filter, Ausbreitung

- Eine J-Antenne für das 15m-Band 5/86
- FD4-Antenne für 7 Amateurbänder 12/86
- Antennenbasteln – etwas leichter gemacht 3/87
- 70cm Portabelantenne 4/87
- Antenne quadruple «cubical quad» 144 et 432 MHz 5/87
- Nouveau système de quads à gain 5/87
- Eine FD4-Antenne auch für das 160m-Band? 6/87
- Über den Einfluss der Umwegleitung bei Dipolantennen 11/87
- Alimentation de hautes impédances symétriques 11/87
- W3DZZ-Antenne für das 80m- und das 160m-Band 12/87
- Einfache Kompromissantenne für 10-40m 10/88
- QRV auf 160 Meter mit einer 80 Meter Dipolantenne 12/88
- Fahrzeugantennen zum Aufkleben auf Autoscheiben 2/89
- Der Monopol, oder die gegen Erde erregte lineare Vertikal-Antenne 6/89
- Antenne 1,8 MHz pour essais souterrains 7/89
- Mit Dachlatte, Nylonseil und Kupferdraht 10/89

Empfangstechnik

- Etude et réalisation d'un transceiver HF 80, 40, 20, 15, 10m CW/SSB 220 Watts PEP (Part 4) 1/86
- QRV auf 24 GHz mit Radarmodulen und Gunnplexer 2/86
- EME für jedermann? 9/86
- PLL-Frequenzsynthese für ein Empfänger-Sender-System 0,1 bis 30 MHz (Teil 1) 11/86
- PLL-Frequenzsynthese für ein Empfänger-Sender-System 0,1 bis 30 MHz (Teil 2) 12/86

- Mehr Frequenzstabilität für den TR7 2/87
- Le bruit dans les installations de réception (Part 1) 5/87
- Le bruit dans les installations de réception (Part 2) 6/87
- Ein 2-Band Transceiver für 20m und 80m 12/87
- Erweiterung des FT-290 und FT-790 mit einem Schaltausgang für einen Vorverstärker oder Linearverstärker 1/88
- L'ordinateur de poche PC-1500A pour le Meteor scatter en CW 7/88
- Comment ne pas perdre le nord en faisant du 10 GHz 11/88
- Un bon QRP 2 W CW Transceiver pour le 10 MC (Part 1) 4/89
- Un bon QRP 2 W CW Transceiver pour le 10 MC (Part 2) 5/89
- Empfängerbau und Kurzwellenhören 12/89

Sendetechnik

- Etude et réalisation d'un transceiver HF 80, 40, 20, 15, 10m CW/SSB 220 Watts PEP (Part 4) 1/86
- QRV auf 24 GHz mit Radarmodulen und Gunnplexer 2/86
- Amplificateur linéaire HF de puissance 140 W à transistors 10/87
- Ein 2-Band Transceiver für 20m und 80m 12/87
- Senden – Stören: Sie haben das Problem, wir haben die Lösung 3/89
- Senden – Stören: Sie haben das Problem, wir haben die Lösung KORRIGENDA 7/89
- Un bon QRP 2 W CW Transceiver pour le 10 MC (Part 1) 4/89
- Un bon QRP 2 W CW Transceiver pour le 10 MC (Part 2) 5/89
- Amplificateur linéaire de puissance 140 watts PEP 9/89