

Un oscillateur 10 MHz de très grande précision : le « GPS-Disciplined Oscillator » de BG7TBL

Jean-Paul YONNET

F1LVT@yahoo.fr

www.F1LVT.com

Quand on fait des montages haute fréquence ou de la maintenance d'appareils de mesure, le calage en fréquence est toujours un problème important. Le GPS-DO est un oscillateur qui fournit un signal sinusoïdal pur à la fréquence de **10,000.000.000 MHz**, avec une précision d'une fraction de millihertz.

Les GPD-DO (ou GPSDO)

Le terme GPS-DO signifie « Global Position System Disciplined Oscillator » (Photo 1). Un GPS-DO est construit autour d'un oscillateur 10 MHz dont la fréquence est asservie au signal GPS. La précision relative obtenue est de l'ordre de $2 \cdot 10^{-11}$, c'est-à-dire $\pm 0,2$ mHz pour 10 MHz.

La fréquence peut s'écrire sous la forme :

$$f = 10,000\ 000\ 000\ 0\ \text{MHz} \pm 0,000\ 000\ 000\ 2\ \text{MHz}$$

ou bien $f = 10\ 000\ 000,000\ 0\ \text{Hz} \pm 0,000\ 2\ \text{Hz}$

En plus la fréquence ne dérive pas dans la temps car sa dérive est liée au système GPS.



Photo 1 : Le « GPS Disciplined Oscillator » fabriqué par BG7TBL

Les sources de fréquence précise

Pour obtenir une fréquence précise, on peut utiliser un oscillateur à quartz. On obtient une précision relative de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-5} , avec une dérive dans le temps de l'ordre de 10 à 20 ppm / 10 ans, c'est-à-dire 1 à 2 10^{-6} / an.

Pour améliorer cette précision, on utilise des quartz compensés en température appelés TCXO, qui donnent une précision relative de 10^{-6} et une dérive de l'ordre de 2 à 5 ppm / 10 ans. Par rapport aux oscillateurs à quartz classiques, les TCXO permettent de gagner un facteur 10.

Pour aller plus loin, il faut utiliser des OCXO (« Oven Controlled Crystal Oscillator »), c'est-à-dire des systèmes où le quartz est mis à l'intérieur d'une enceinte chauffée, souvent autour de 75°C avec un quartz en coupe SC. La précision obtenue et la dérive dans le temps sont autour de 10^{-8} .

Pour aller encore plus loin en précision, il faut utiliser des standards de fréquence atomique au rubidium (RbXO). La précision obtenue est de l'ordre de 10^{-9} , et la stabilité de l'ordre de 10^{-10} /an.

Les GPS-DO permettent d'aller beaucoup plus loin. Ils sont construits autour d'un OCXO dont la fréquence est asservie par les signaux provenant des satellites GPS (Figure 1). La précision relative de l'oscillateur peut atteindre quelques 10^{-11} , et la dérive dans le temps est celle des satellites GPS, c'est-à-dire quasi-nulle.

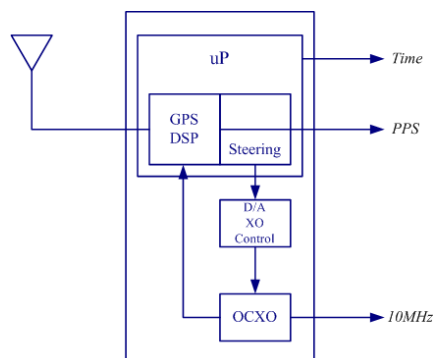


Figure 1 : Structure d'un GPS-DO (Doc Wikipédia)

Cela fait un bon moment que les radioamateurs ont vu l'intérêt des signaux GPS pour asservir un standard de fréquence. Par exemple en 2006, le canadien Bertrand Zauhar (VE2ZAZ) avait publié dans QEX un article intitulé « A Simplified GPS-Derived Frequency Standard » décrivant un oscillateur 10 MHz de type VCXO contrôlé par GPS [1].

Plus récemment, un radioamateur chinois, BG7TBL, a conçu un GPS-DO commercialisé à un prix de moins de 150 euros port compris, présentant des performances très intéressantes [2]. Les mesures faites sur ce système montrent que la précision de l'oscillateur atteint $2 \cdot 10^{-11}$!

Fonctionnement du GPS-DO de BG7TBL

En commandant par Ebay, vous recevez 20 jours plus tard un paquet contenant le matériel présenté sur la Photo 1 : le GPD-DO lui-même, une antenne GPS et l'alimentation 12V. Cette alimentation doit fournir au moins 1 A car le montage consomme un peu au démarrage, pour amener le OCXO interne à bonne température.

Sur la face avant, on voit une date : 2017-10-09. Chaque date correspond à une série. On voit 3 LED : une LED rouge « ALM », et 2 LED vertes « GPS LOCK » et « RUN ». Les 5 connecteurs en face avant sont une DB9 pour la sortie du GPS (et la sortie « 1 seconde »), une BNC pour le signal à 1 seconde (noté 1PPS), une seconde BNC pour la sortie 10MHz, la prise d'alimentation et un connecteur SMA pour l'antenne du GPS.

La Photo 2 montre l'intérieur du boîtier. Le gros module sur la carte est l'oscillateur OCXO à 10 MHz, de marque CTS (Photo 2). Les autres composants sont placés sous la carte. Le GPS utilisé est un U-Blox NEO-7M-0 (Photo 3). Ce module est capable de fonctionner aussi bien avec la constellation GPS étatsunienne qu'avec le GALILEO européen et le GLONASS russe. Comme l'antenne est sur 1572,42 MHz, le GPS peut fonctionner avec les systèmes GPS, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS) et QZSS.



Photo 2 : L'intérieur du GPS Disciplined Oscillator

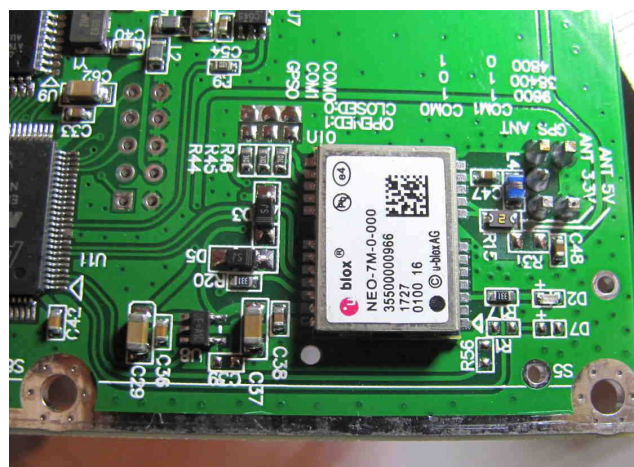


Photo 3 : Le module de réception GPS est placé sous la carte principale

A la mise sous tension, le voyant rouge d'alarme « ALM » s'allume pour indiquer que l'OCXO est en chauffe et non-calé (Photo 4). Au démarrage, la LED « GPS LOCK » est éteinte, et la LED « RUN » clignote à 0,5 Hz pour montrer le fonctionnement.

Au bout de quelques minutes, le GPS se cale sur les satellites et la LED verte « GPS LOCK » s'allume. La LED rouge « ALM » reste toujours allumée (Photo 5). La LED « RUN » clignote toujours à 0,5 Hz. Le signal du GPS est capté mais l'OCXO n'est pas encore calé.



Photo 4 : Démarrage du GPS-DO



Photo 5 : Le GPS est reçu mais l'oscillateur n'est pas encore calé



Photo 6 : Le voyant « ALM » est éteint, le GPS-DO fonctionne

Quelques minutes plus tard, la LED rouge s'éteint indiquant que le GPS-DO est calé. « GPS LOCK » reste allumé et « RUN » clignote à 0,5 Hz. D'après la documentation anglo-chinoise trouvée sur internet [3], la précision absolue est inférieure à 50 mHz au moment où la LED rouge s'éteint (précision relative $5 \cdot 10^{-9}$). Il faut laisser en marche quelques heures pour que la précision se réduise à 5 mHz (soit à $5 \cdot 10^{-10}$).

Personnellement nous ne sommes pas équipés pour mesurer une fréquence avec une telle précision. On trouve sur internet des résultats de mesure. Par exemple KE5FX a fait un test comparatif entre plusieurs standards de mesure dont une base de temps au Césium [4]. Il a trouvé une erreur de - 0,2 mHz pour le GPS-DO de BG7TBL, ce qui fait une précision relative de $2 \cdot 10^{-11}$. Les résultats sont vraiment excellents !

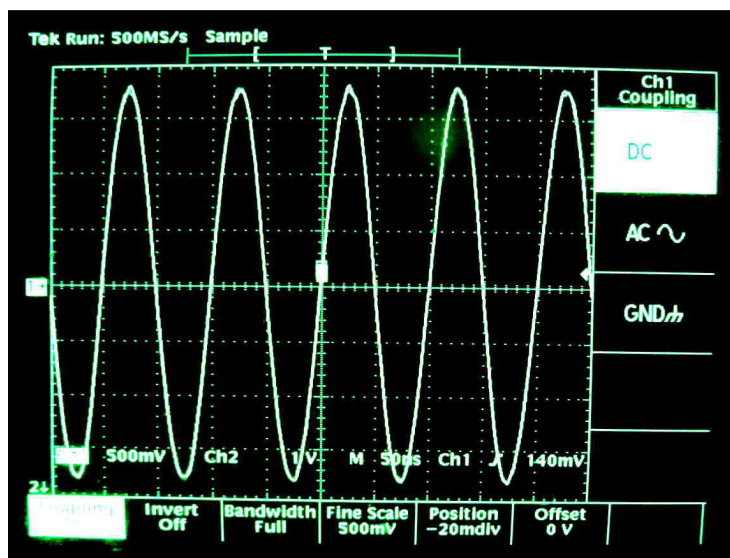


Photo 7 : Signaux sinusoïdaux sur la sortie 10MHz

A l'oscilloscope, le signal de sortie est une belle sinusoïde de 3,3 V crête à crête pour la sortie 10 MHz (Photo 7). Quant à la sortie 1 Hz, les signaux sont des créneaux assez courts de 3,3V d'amplitude (Photo 8).

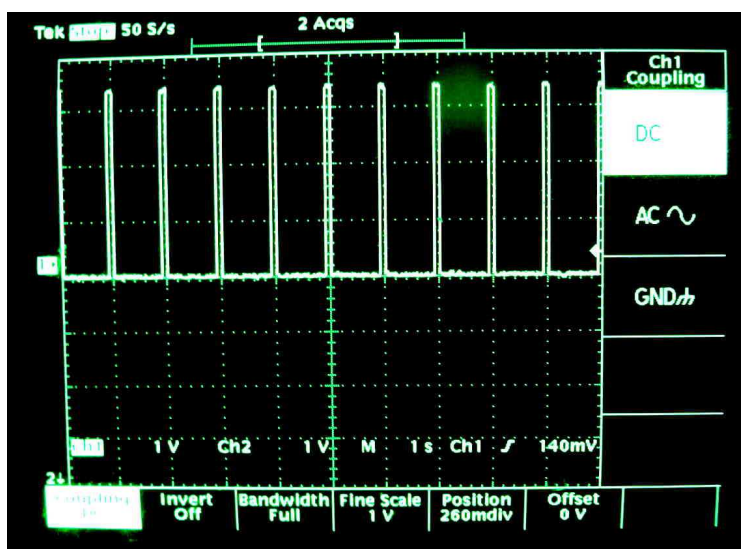


Photo 8 : Les créneaux de 3,3 V à 1 Hz sur la sortie 1PPS

Utilisations du GPS-DO et synthèse

Il faut mettre l'antenne du GPS à l'extérieur pour pouvoir capter les satellites. Le câble de l'antenne du GPS fait 5 mètres, ce qui permet de s'adapter à de nombreuses configurations. Le GPS est très sensible. Même en positionnant l'antenne sur la façade d'un immeuble, la réception des signaux GPS a été assez rapide (quelques minutes).

Le GPS-DO est un appareil d'étalonnage. La première utilisation est la vérification des appareils de mesure. Tous les fréquencemètres de la station sont passés au recalibrage. Certains fréquencemètres que nous utilisons (de marque Philips et Toellner) ont une entrée 10MHz externe. Avec des fréquencemètres correctement calibrés, on peut faire des mesures à fréquences plus élevées avec une grande confiance, et faire des mesures précises en VHF, UHF et plus haut.

Autre utilisation, on peut vérifier directement l'alignement sur 10 MHz d'un émetteur-récepteur décimétrique. Il suffit de mettre un bout de fil dans la sortie du GPS-DO pour pouvoir entendre le signal sous forme de porteuse pure à 10,000 000 MHz.

Le GPS-DO est un appareil qui ne sert pas tous les jours. C'est un appareil de référence pour pouvoir calibrer les fréquences. Avec un prix d'une bonne centaine d'euros, le GPS-DO de BG7TBL est un investissement qui se justifie pour les radioamateurs qui veulent que leurs matériels ou leurs montages soient correctement alignés en fréquence.

Références

[1] Bertrand Zauhar / VE2ZAZ, « A Simplified GPS-Derived Frequency Standard », revue QEX / ARRL, Sept – Oct 2006, p. 14 - 21

[2] Sur Ebay, rechercher « 10MHZ Output Sine Wave GPS Disciplined Clock GPSDO »
Le prix payé en février 2018 était inférieur à 110 euros, port compris

[3] Manuel du GPS-DO de TB7TBL en chinois et en anglais
<https://www.docdroid.net/EA3BHpD/manual-bg7tbl-gpsod.pdf>

[4] KE5FX, « Some GPSDO Performance Comparisons »
<http://www.ke5fx.com/gpscomp.htm>