

Etude d'un pilote 40 MHz pour Adalm Pluto

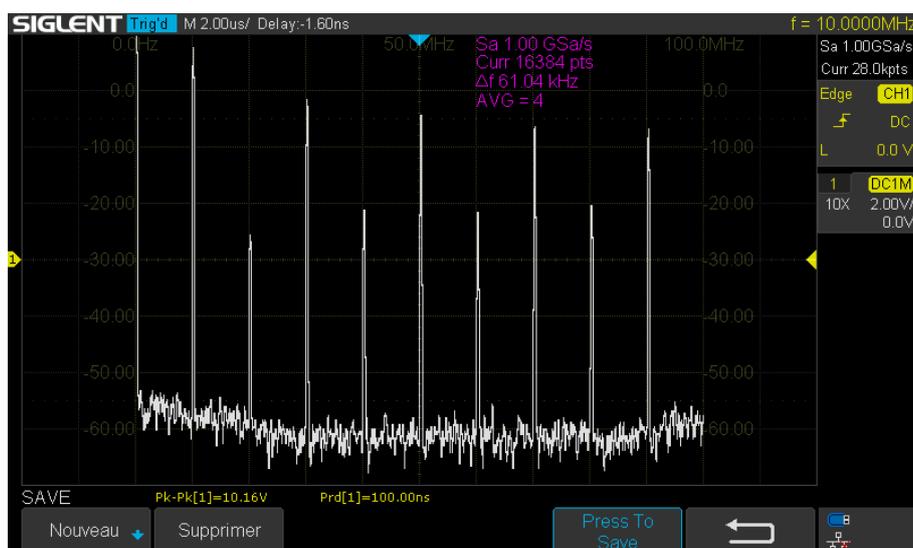
Jacques Pochet F6BQP

ed3 27/11/2024

L'oscillateur de référence est un OCXO 10 MHz 143-141 (sortie CMOS) qui a une stabilité en fréquence de l'ordre de 3.10^{-9} soit une précision meilleure que 10 Hz à 2,4 GHz.

J'ai utilisé pendant un an (avec des fortunes diverses) un multiplicateur par 4 avec un transistor 2N2369, ce n'est pas l'idéal car un signal carré présente surtout des harmoniques impairs et peu (théoriquement aucun !) d'harmoniques pairs.

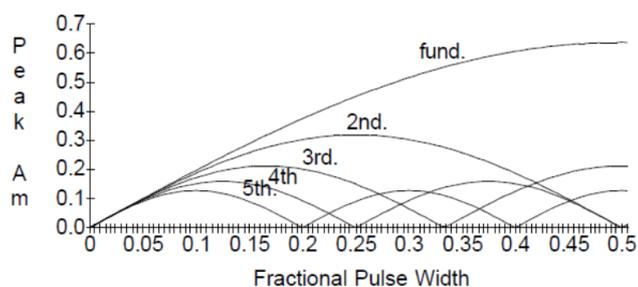
Voici le spectre en sortie de l'OCXO, l'harmonique 4 qui nous intéresse est à 30 dB en dessous du fondamental et à environ 20 dB en dessous des harmoniques 3 et 5 (30 et 50 MHz) ce n'est pas l'idéal !



Il est intéressant de constater que le contenu harmonique d'un signal rectangulaire dépend beaucoup de son rapport cyclique comme illustré ci dessous :

- The timing (duty-cycle) between the positive and negative edges of a pulse determines which harmonics are emphasized. For example, a 50% duty-cycle square-wave has only odd harmonics. In this situation the timing is wrong for the buildup of even-harmonic energy, but a 25% duty-cycle contains large even harmonics: the edges occur at the right time to reinforce certain even harmonics.

Figure below shows the harmonic content of a square pulse as a function of its duty-cycle.



Square Pulse Harmonic content vs Duty-Cycle (C. Wenzel)

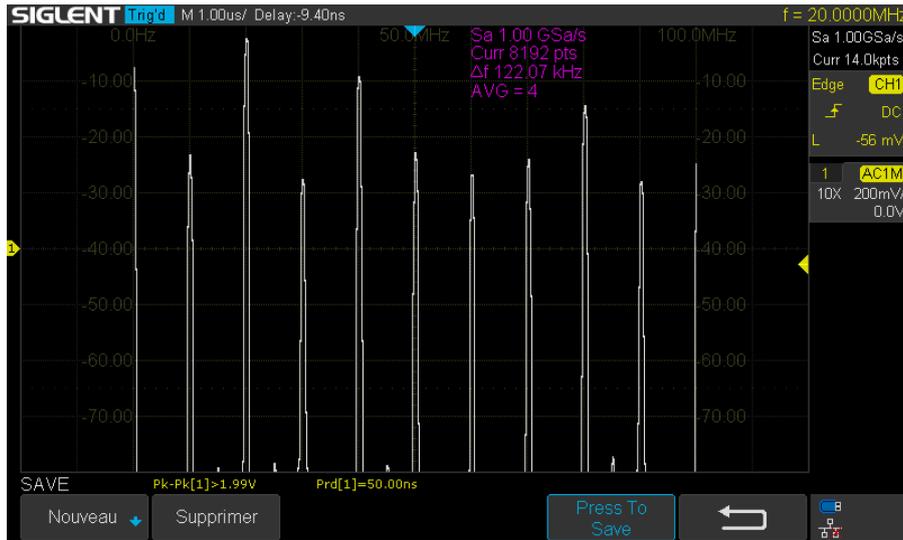
As was mentioned before the chart suggests that the most 2nd harmonic energy will be generated when the duty-cycle is 25%. But it can also be seen that if the duty-cycle is increased to 33% then the third harmonic drops to zero which could simplify output filtering with little drop in the desired 2nd harmonic.

Pour avoir un maximum d'harmonique 4 il faut un rapport cyclique de 12,5 % j'ai dans un premier temps réalisé avec des portes logiques un tel signal.

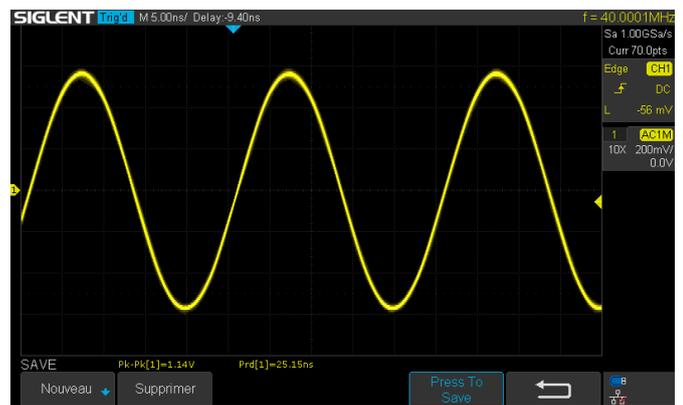
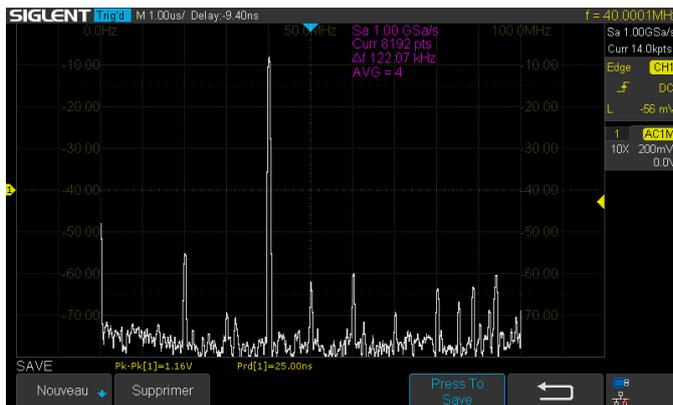
Dans un deuxième temps j'ai réalisé un doubleur de fréquence avec un OU exclusif 74HC86 qui sort donc du 20 MHz et pour avoir un maximum d'harmonique 2 (donc à 40 MHz) on voit sur la figure ci dessus qu'il faut un rapport cyclique de 25 %.

Le rapport cyclique obtenu (avec le retard introduit par 2 portes du 74HC86) est d'environ 30 % ce qui est très favorable car toujours selon la figure ci dessus, l'harmonique 2 reste très présent et l'harmonique 3 (à 60 MHz donc) est très atténué, ce qui va faciliter le filtrage.

Voici le le spectre en sortie du 74HC86, le niveau du 40MHz est assez élevé (à environ 8 dB en dessous du 20MHz):

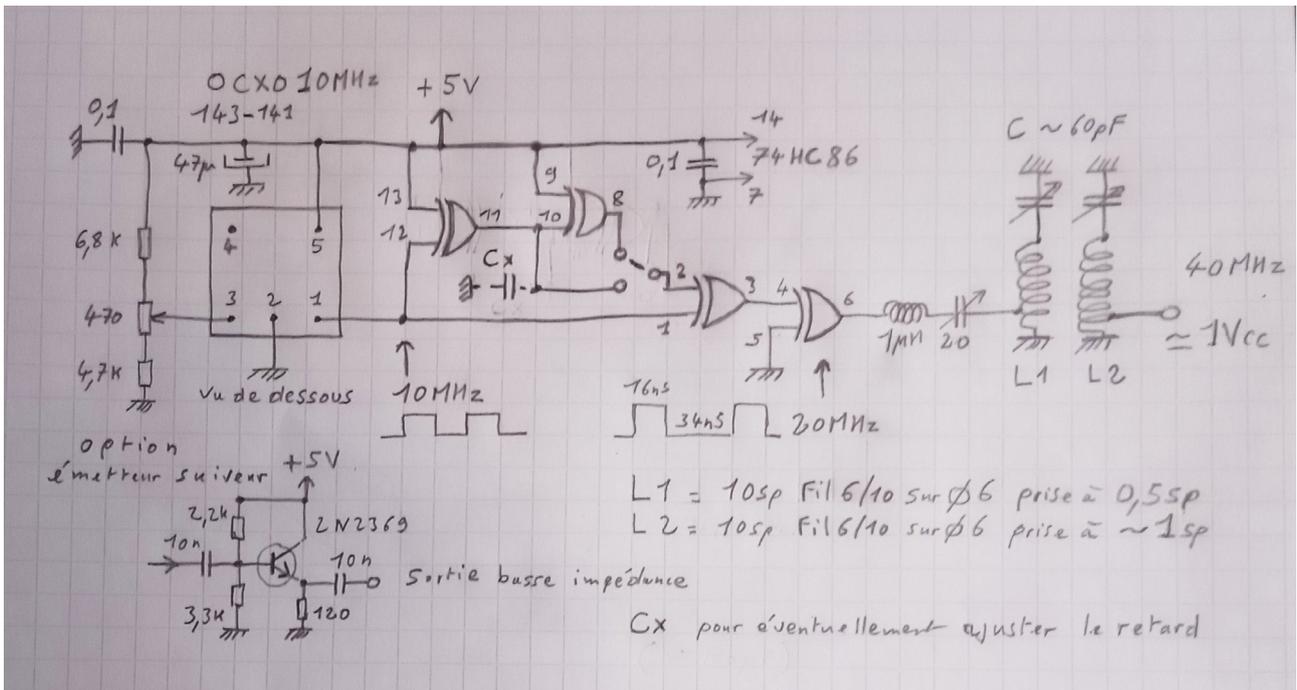


Et après filtrage on obtient une pureté spectrale d'environ 50 dB :



Voici le schéma du montage :

Le montage a été testé avec des 74HC86 provenant de 4 fournisseurs différents avec des résultats identiques.



Avec un 74HCT86 le retard dans les portes est un un peu trop grand et on a un meilleur niveau d'harmonique 2 (à 40 MHz) avec une seule porte, on peut ajuster finement ce retard avec une petite capa (quelques dizaines de pF) entre la pin 11 et la masse.

Ajuster la prise sur L2 afin d'obtenir le niveau désiré.

Pour les plutos révision B le signal de sortie sur la self L2 peut être injecté directement dans le pluto.

Pour les plutos révision C ou D l'entrée clock externe présente une impédance de 50Ω et il sera sans doute utile d'utiliser l'option « émetteur suiveur » afin de sortir en basse impédance.

Concernant le bruit de phase au pied du signal voici les préconisations d'Analog Devices :

PHASE NOISE SPECIFICATION

The AD9361 Rx and Tx RFPLLs use the DCXO or external clock as their reference clock as well. For this reason, it is extremely critical that the crystal or clock source have very low phase noise. The recommended phase noise specification is shown in Figure 2.

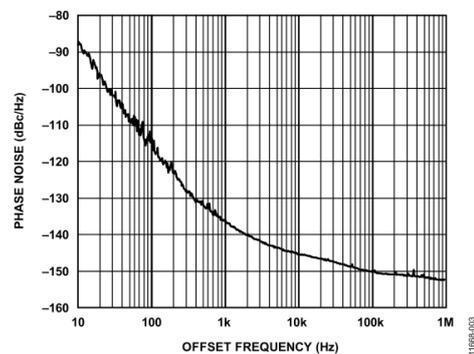
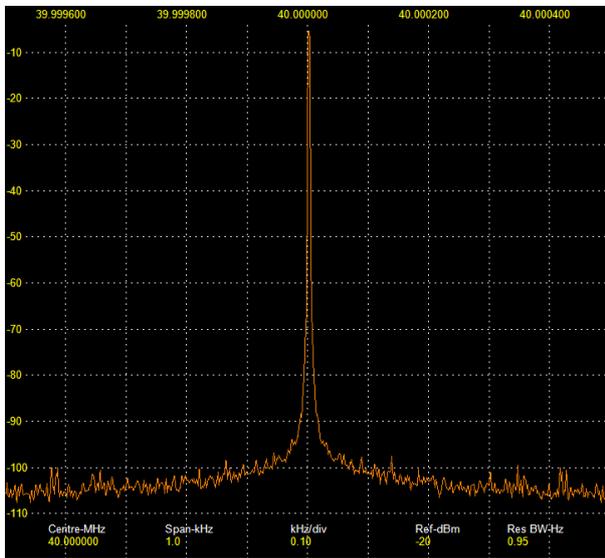


Figure 2. Phase Noise vs. Offset Frequency

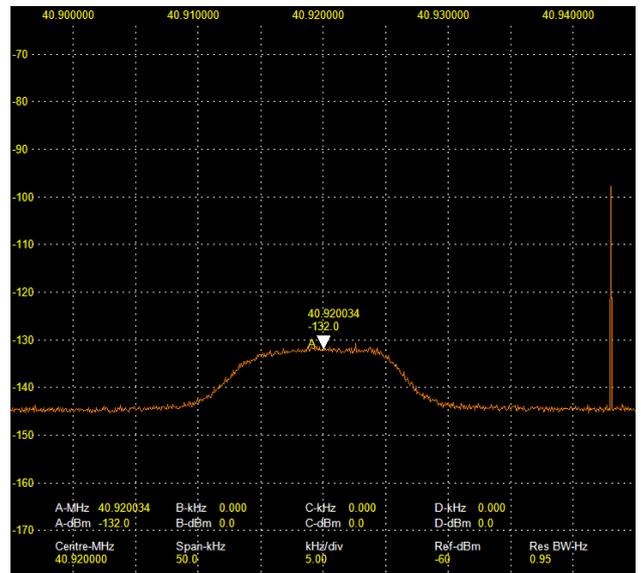
Je n'ai pas les moyens de faire de telles mesures, néanmoins voici quelques mesures réalisées avec mon RSP1A en mode analyseur de spectre :



On peut voir qu'à quelques dizaines de Hz au pied du signal le bruit est à -95 dBc/Hz

mais on est dans le bruit de l'appareil de mesure ...

Je dispose d'un filtre à quartz à 40920 kHz qui permet d'éliminer le 40 MHz (réjection 100 dB) afin de ne pas saturer le RSP1A et de mesurer le bruit à 920 kHz du pied du signal, avec un préampli de 20 dB dans la chaîne de mesure on a donc $-132 - 20 = -152$ dBm/Hz pour un signal à 40 MHz de -5 dBm, le bruit est à -147 dBc/Hz



Une dernière mesure :

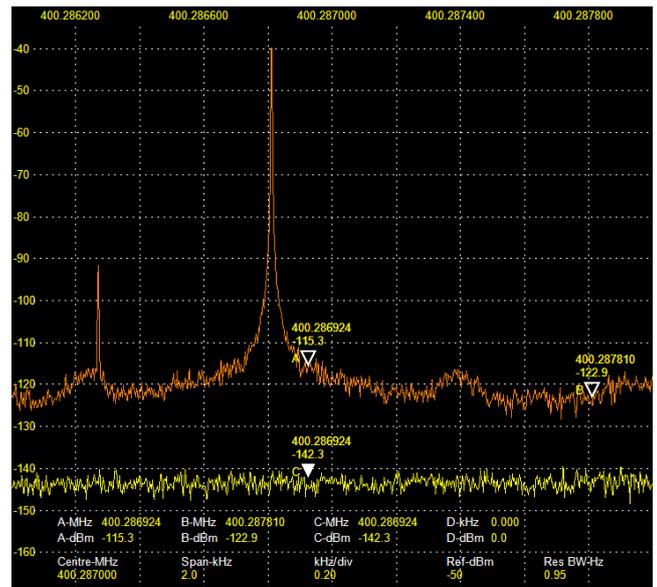
le spectre en sortie du pluto à 2,4 GHz (mesure à 400 MHz après transposition de fréquence car le RSP1A ne monte qu'à 2GHz).

Le bruit à 100Hz de la porteuse est à -75 dBc/Hz

Le bruit à 1 kHz de la porteuse est à -83 dBc/Hz

La trace jaune représente le bruit plancher du dispositif de mesure.

(ne pas tenir compte des raies parasites, le RSP1A n'est pas parfait!)



73s à tous et bonnes bidouilles si l'aventure vous tente !
Jacques, F6BQP