

Un générateur de ton BF à DDS.

Ça faisait un moment que je devais bricoler un générateur de ton pour équiper de « side-tone » un transceiver CW/SSB sur lequel je travaille depuis longtemps. Bien sûr, il me fallait un générateur sinusoïdal, car je n'aime pas le son « robotisé » des signaux carrés. De plus je voulais que la fréquence soit précise, autrement on ne peut pas s'en servir pour faire du « zero-beat ». La possibilité de changer la fréquence entre, par exemple 700, 750 et 800 Hz comme dans les transceivers haut de gamme, aurait été un plus. En même temps, je voulais aussi équiper un transceiver commercial VHF du ton à 1750 Hz, et pour ça, il me fallait à peu près le même circuit. Je voulais, de plus, que le circuit n'utilise que des composants classiques disponibles dans le « tiroir » (ou « junk box » en anglais).

J'ai tout de suite écarté les schémas à base de 555, à cause de leur signal carré et de leur faible précision. Un oscillateur sinusoïdal, comme un pont de Wien ou un triple réseau RC, ne me plaisait pas non plus, car la fréquence est loin d'être précise ni facilement variable. Partir avec un quartz et puis diviser, par exemple avec un 4060, aurait fourni une fréquence précise mais non sinusoïdale et pas variable du tout. Bien sûr, un DDS style AD9835 aurait résolu tous ces problèmes, mais ce circuit intégré est bien trop précieux pour le reléguer à un simple générateur audio. Il me fallait donc un DDS simple et bon marché, réalisable avec les composants que j'avais à portée de main.

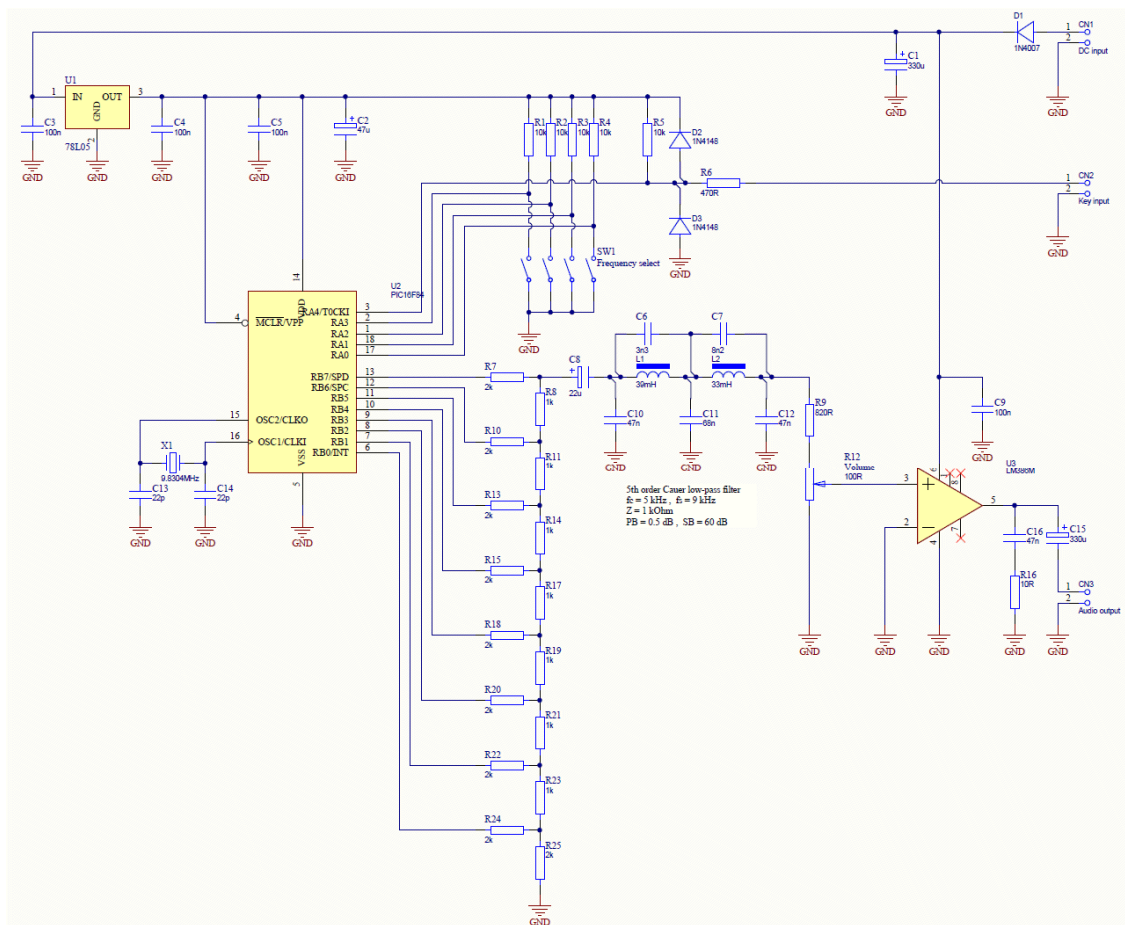


Figure 1: Schéma électrique.

J'ai donc choisi d'utiliser un PIC 16F84A (U2, figure 1) qui commence à avoir de l'âge. Comme aujourd'hui sa mémoire ROM de 1k ne suffit plus pour plein d'applications, on ne sait plus qu'en faire et il commence à s'entasser au fond du tiroir. Avec un quartz de 9.8304 MHz (X1) récupéré d'une ancienne carte de PC, on a une base de temps stable et précise. Le PIC divise cette fréquence d'abord par 4 et ensuite par 256 : on obtient ainsi une fréquence d'échantillonnage de 9600 Hz. Ceci permet, au premier abord, de générer n'importe quelle fréquence entre 0 et 4800 Hz.

Dans la mémoire du PIC, j'ai mis un tableau contenant une sinusoïde longue de 960 échantillons, de telle manière à avoir un pas en fréquence de 10 Hz (on pourra donc seulement produire les fréquences de 0, 10, 20, 30, ..., 4800 Hz). Le PIC va donc parcourir ce tableau et mettre à la sortie la valeur de la sinusoïde correspondante (8-bit parallèle) en sautant à chaque fois un certain nombre de valeurs déterminant ainsi la fréquence générée. Si on prend tous les échantillons du tableau les uns après les autres on obtient une fréquence de 10 Hz (960 échantillons à 9600 échantillons à la seconde), si on prend un échantillon sur deux on obtient 20 Hz (480 échantillons à 9600 échantillons à la seconde), et ainsi de suite jusqu'au maximum théorique de 4800 Hz obtenu en prenant un échantillon sur 480. En réalité, seulement un quart de sinusoïde est mis en mémoire (figure 2) et on reconstruit le reste par symétrie, économisant ainsi de la place précieuse dans le petit 16F84A (avec le programme actuel seulement le 43 % est utilisé et il reste de la place pour d'autres fonctions).

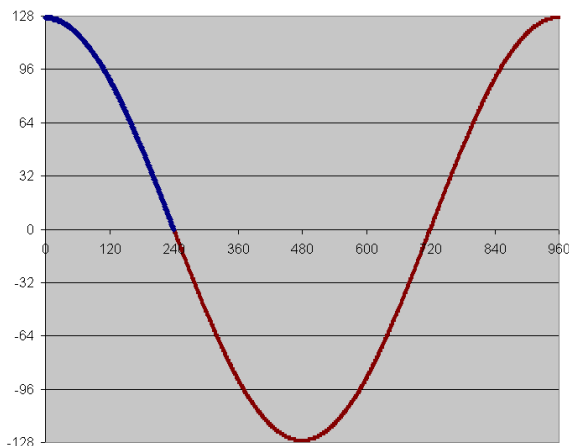


Figure 2: Contenu de la mémoire (bleu) et sinusoïde complète reconstituée (brun).

Il serait en théorie possible d'avoir des pas en fréquence plus fins que 10 Hz en utilisant un compteur (accumulateur) à une résolution plus fine et ensuite en approximant à la valeur la plus proche dans le tableau, mais le PIC n'a le temps d'exécuter que 256 instructions entre un échantillon et le suivant, ce qui aurait rendu cette technique plus difficile à mettre en pratique, en demandant des prouesses en assembleur plutôt qu'un code écrit confortablement en C. Et puis, pour ce que je voulais faire, je n'avais pas besoin de plus.

Le PIC produit donc, sur son port B, une sinusoïde numérique à 8 bit, au rythme de 9600 échantillons à la seconde. Pour convertir ça en signal analogique, pas question d'un convertisseur DA intégré cher et difficile à trouver, mais un beau réseau R-2R composé de 9 résistances de 2 k Ω (R7, R10, R13, R15, R18, R20, R22, R24 et R25) et 7 de 1 k Ω

(R8, R11, R14, R17, R19, R21 et R23). Si on n'a pas de résistance de 2 k Ω , il vaut mieux en mettre deux de 1 k Ω en série, plutôt qu'en changer la valeur à 2.2 k Ω ou 1.8 k Ω ; car la distorsion augmenterait beaucoup. D'ailleurs, je conseille d'utiliser des résistances à 1 % de tolérance.

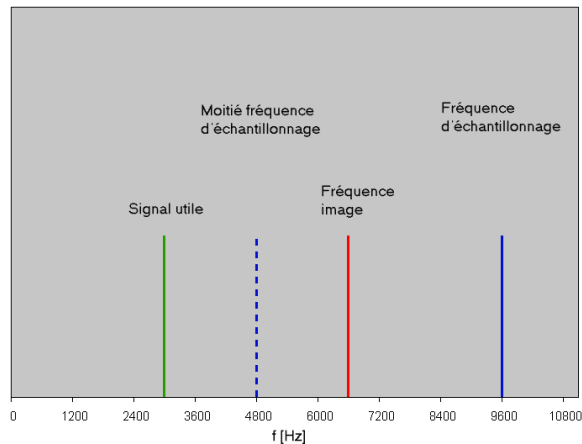


Figure 3: Fréquence image.

Après ce convertisseur DA rustique mais efficace, il suit un filtre passe-bas de Cauer du 5^{ème} ordre (C6, C7, C10, C11, C12, L1 et L2) dont le but premier est d'éliminer la fréquence d'échantillonnage à 9.6 kHz. Avec sa fréquence de coupure de 5 kHz, il arrive à affaiblir de plus de 60 dB tout signal dont la fréquence est supérieure à 9 kHz. Les valeurs de ses composants sont critiques pour le bon fonctionnement du filtre. De plus, les deux bobines ne doivent pas être couplées entre elles et il vaut mieux utiliser des modèles blindés ou les monter avec leurs axes à 90°. De ce filtre dépend aussi la pureté du signal à la sortie ainsi que sa fréquence maximale, car c'est ce filtre qui est censé éliminer la « fréquence image » qui vient inexorablement brouiller le signal désiré. Elle est de plus en plus gênante dès que l'on s'approche de la moitié de la fréquence d'échantillonnage (4.8 kHz), car elle est symétrique au signal voulu juste de l'autre côté de cette fréquence (figure 3). Avec les composants choisis, encore à 3 kHz, la fréquence image se trouve à -30 dB et reste exploitable ; à des fréquences plus élevées sa présence commence à se faire remarquer et je déconseille de dépasser les 3.5 kHz (figure 4 et figure 5). Le filtre est terminé sur à peu près son impédance caractéristique de 1 k Ω par R9 et R12. R12 fait office de contrôle de volume.

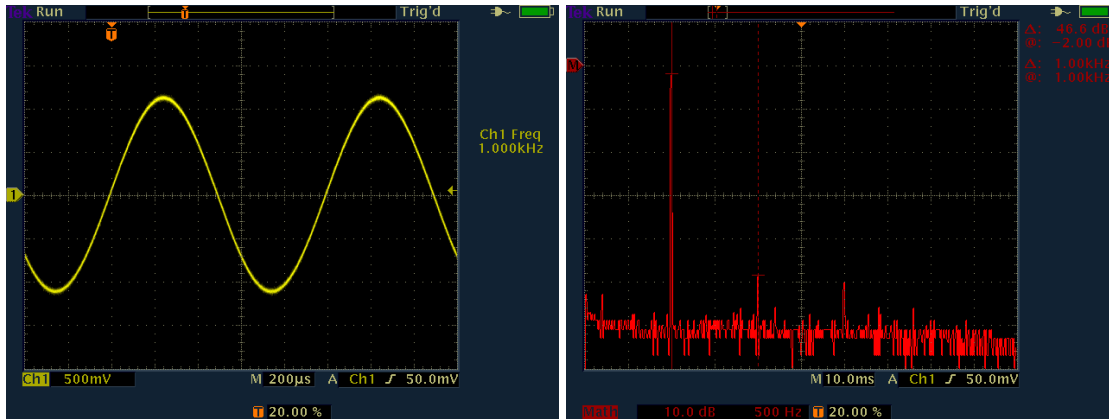


Figure 4: Signal généré à 1 kHz : la fréquence image est à 8.6 kHz et est trop faible pour sortir du bruit. L'harmonique la plus forte est la deuxième, à 2 kHz, et son amplitude se trouve à -46.6 dB par rapport à la fondamentale; la sinusoïde est magnifique.

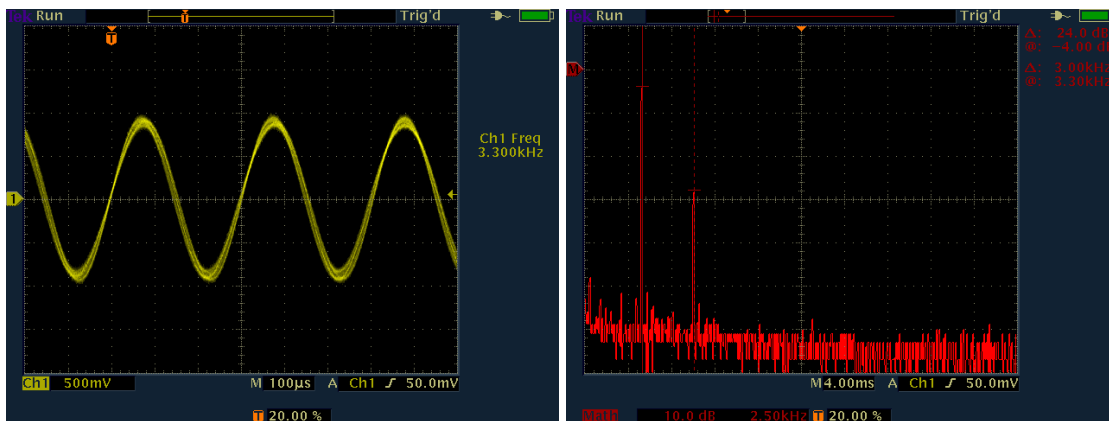


Figure 5: Signal généré à 3.3 kHz : la fréquence image à 6.3 kHz est maintenant visible et son amplitude se trouve à -24 dB par rapport au signal voulu; la sinusoïde est un peu moins belle.

Pour amplifier le tout et avoir suffisamment de puissance pour piloter même un petit haut-parleur, j'ai mis un bon vieux LM386 : certainement pas le meilleur amplificateur BF, mais il est très répandu et fait bien son affaire.

Pour choisir la fréquence un DIP-switch branché sur le port A du PIC (RA0-RA3) permet de sélectionner entre 16 fréquences prédéfinies qui me semblaient les plus utiles : 300, 400, 440, 500, 600, 700, 750, 800, 880, 1000, 1320, 1750, 2000, 2500, 3000 et 3300 Hz. Une autre ligne sur le port A du PIC (RA4) permet d'activer la sortie en la court-circuitant à la masse pour générer le « side-tone » directement depuis le manipulateur CW, un bouton ou n'importe quel autre signal logique. Si cette ligne est en l'air, il n'y aura pas de signal à la sortie.

Pour compléter le tout, un 78L05 (U1) stabilise la tension d'alimentation pour le PIC à 5 V en partant des 13.8 V habituels (de 9 à 15 V) ; C3, C4 et C5 « bypassent » l'alimentation, C1 et C2 s'occupent des pointes de courant. Quelques diodes protègent des « conneries » habituelles comme D1 contre l'inversion de l'alimentation et D2, D3 et R6 contre les mauvais branchements du manipulateur.

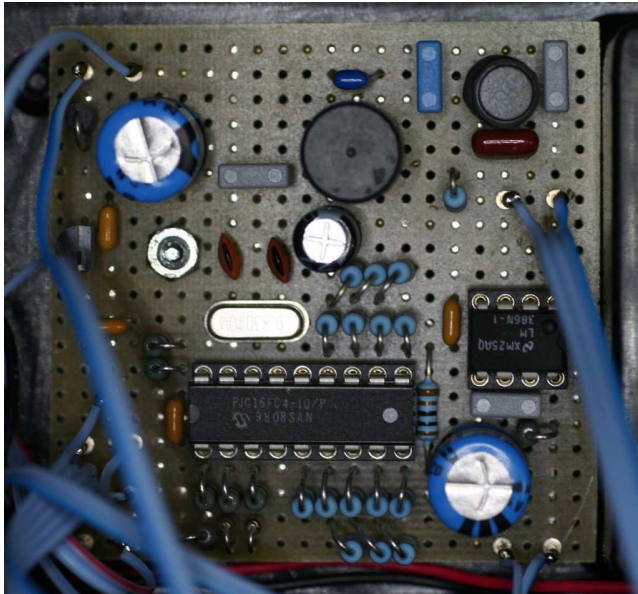


Figure 6: Le générateur monté sur une plaque à trous.

Pour la réalisation, pas envie de dessiner un circuit imprimé : j'ai monté le tout sur une plaque à trou (figure 6) car le circuit n'est pas compliqué et il n'y a pas de gros problèmes de RF non plus. Bien que le programme du PIC soit d'une simplicité extrême, il est quant même trop encombrant pour le publier dans ces pages ; j'enverrai donc une copie aux intéressés.

En résumé, ce générateur fournit un signal sinusoïdal de très faible distorsion, stabilisé à quartz, dont la fréquence peut être choisie entre 16 valeurs prédéfinies à choix entre 0 et 3500 Hz par pas de 10 Hz et n'utilise que les bons vieux composants du tiroir. Il serait même très simple de le transformer en modulateur FSK de luxe, ou même PSK... Bon bricolage.

HB9DUL