

Mélangeur à échantillonneur bloqueur différentiel double et récepteur à OFI

Quelques lignes sur le fonctionnement théorique dans le domaine fréquentiel d'un mélangeur à échantillonneur bloqueur et une application pratique pour la conception d'un récepteur 80m.

Rappel sur le fonctionnement d'un échantillonneur : Un échantillonneur est un simple interrupteur qui s'ouvre et se ferme au rythme de la fréquence f_e (figure 1), il effectue le produit de f_0 par f_e et ses harmoniques (signal carré ou fonction On/Off de cet interrupteur).

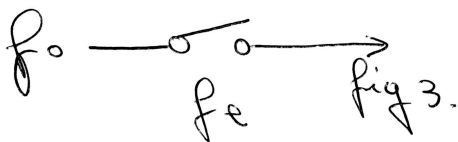


figure 1

La figure 2 représente le spectre du signal f_0 (fréquence à échantillonner) et f_e (fréquence d'échantillonnage).

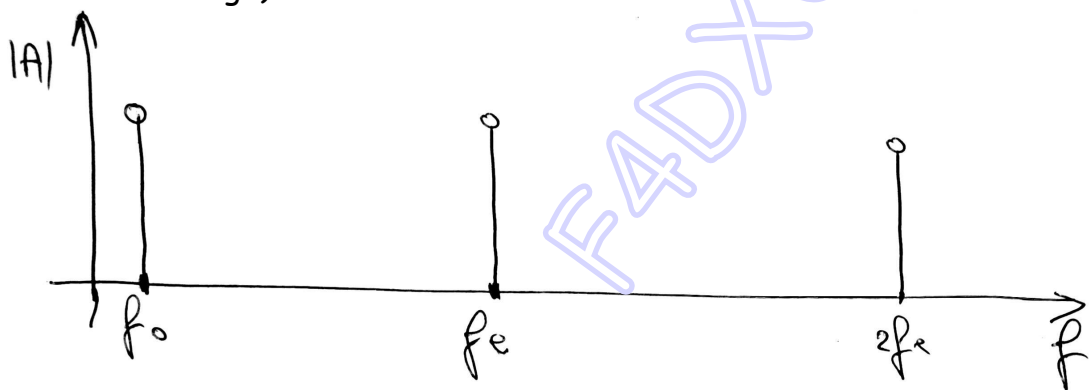


Figure 2

La figure 3 représente le spectre du signal f_0 lorsqu'il traverse cet échantillonneur.

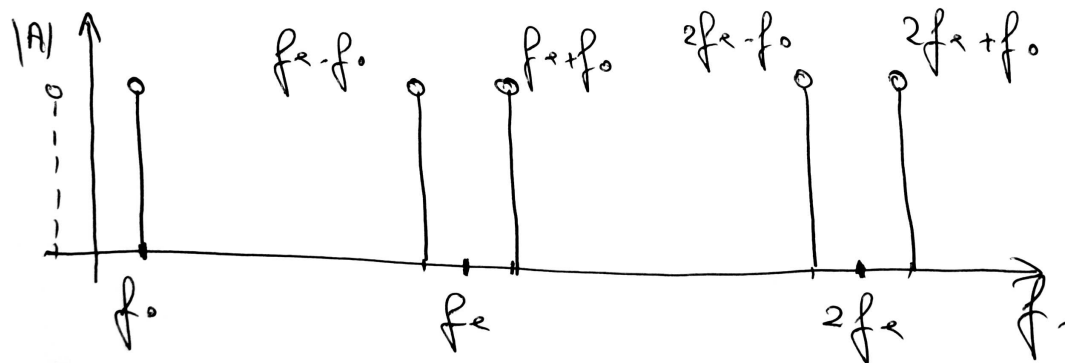


figure 3

On constate l'apparition d'une multitude de raies et la périodisation du spectre des couples $(f_0 - f_e)$ et $(f_0 + f_e)$ autour de la fréquence d'échantillonnage f_e et de ses harmoniques. La raie en pointillé est une partie du spectre négatif théorique qui n'a aucun sens physique tant qu'il n'y a pas de repliement (aliasing). En radio lorsqu'on effectue un changement de fréquence on

s'intéresse de préférence au premier couple $f_0 - f_e$ et $f_0 + f_e$, toutes les autres fréquences étant des fréquences dont on souhaite se débarrasser. C'est un circuit particulier nommé bloqueur qui réalisera le filtrage.

La figure 4 représente le spectre de l'échantillonneur lorsqu'il est suivi d'un bloqueur. Le composant qui réalise cette fonction est un condensateur qui se charge lors de la séquence d'échantillonnage, à la valeur instantanée de f_0 et pendant le blocage cette valeur est maintenue dans ce condensateur jusqu'à la prochaine séquence d'échantillonnage. En réalité, cette valeur est intégrée dans le condensateur car le temps d'échantillonnage est certes faible devant la période du signal BF de sortie mais non nul. Ce bloqueur est dit d'ordre 0 car il effectue une interpolation linéaire (échantillon n à $n+1$) dont la pente est quasi nulle.

La fonction de transfert d'un bloqueur d'ordre 0 est de la forme $\frac{\sin X}{X}$ ¹ (enveloppe) que l'on appelle aussi sinus cardinal¹, c'est-à-dire que l'amplitude du spectre passe par 0 pour f_e et toutes ses harmoniques (figure 4).

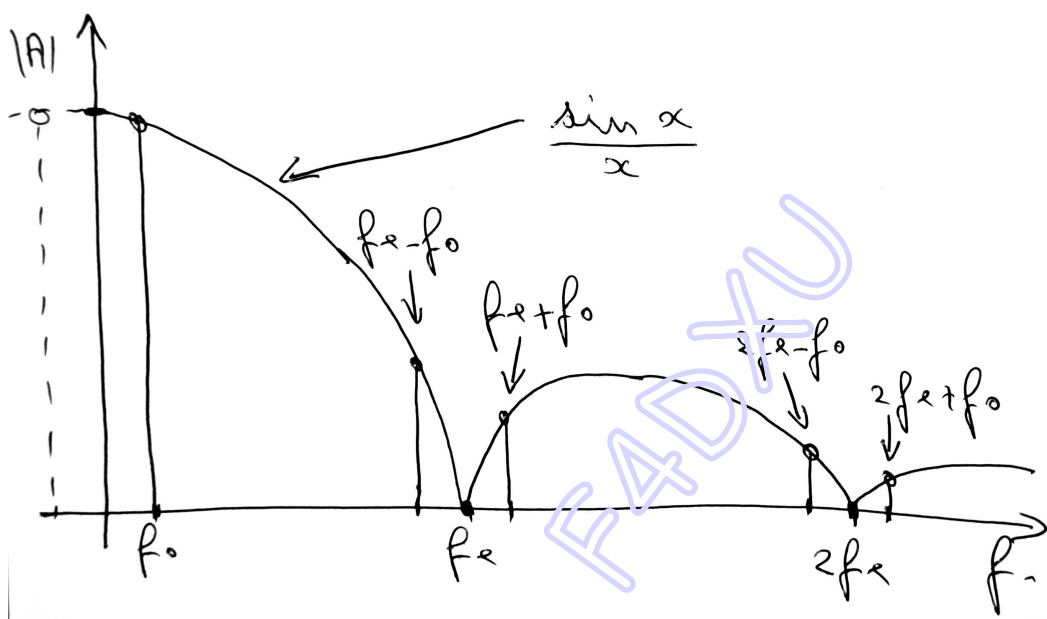


figure 4

On peut constater que les amplitudes des raies sont affectées par cette fonction en $\frac{\sin X}{X}$, plus la fréquence croît et plus les amplitudes des couples de raies sont faibles. La majeure partie de l'énergie du signal se trouvant dans le lobe principal compris entre 0 et f_e .

La figure 5 est identique à la figure 4 à ceci près que la fréquence f_0 augmente jusqu'à la fréquence d'échantillonnage f_e qui elle est restée constante, l'inverse fonctionne aussi.

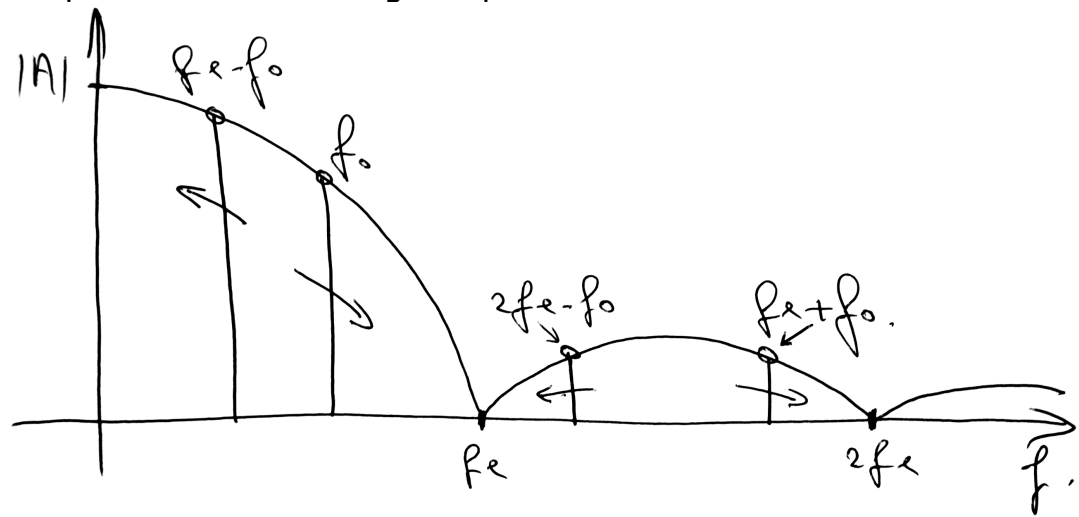
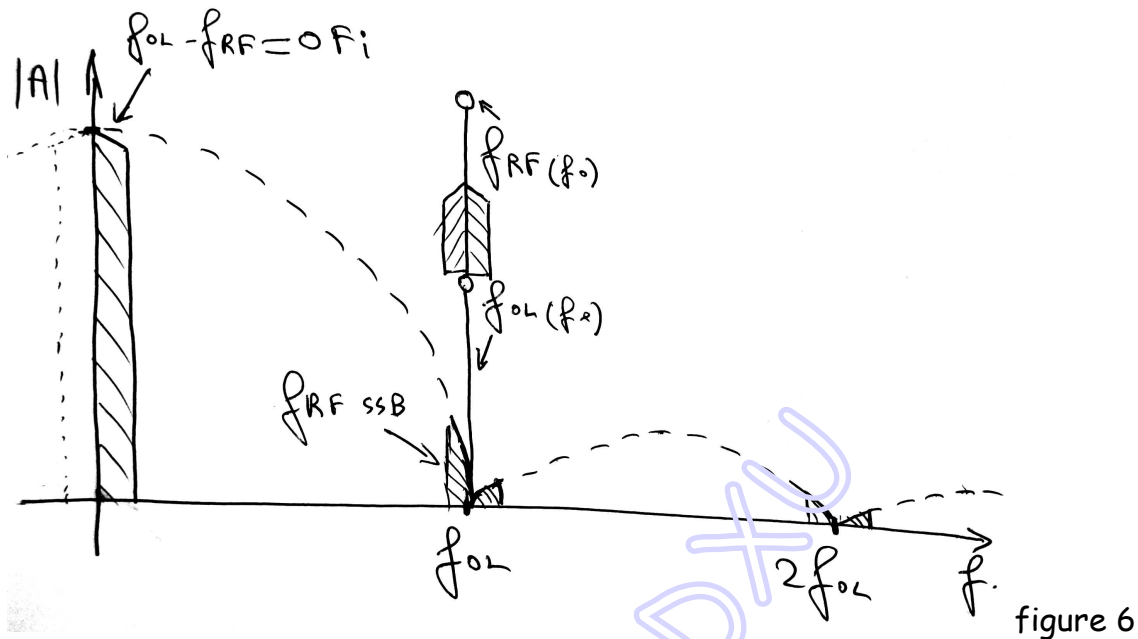


figure 5

On observe un croisement des raies qui se déplacent vers f_e , $2f_e$, $3f_e$, nf_e lorsque f_0 tend vers la fréquence d'échantillonnage f_e , toutes ces raies "tombent dans des puits d'atténuation" pour f_e et ses multiples. Une constatation apparaît, toutes les raies disparaissent quant f_0 tend vers f_e à l'exception de $f_e - f_0$ qui tend vers 0 Hz, cet échantillonneur bloqueur laisse aussi passer le continu. Je pense que là est la très grande force du système comme on peut le constater sur la figure 6.

Remplaçons f_e par f_{OL} (oscillateur local) et f_0 par f_{RF} (fréquence rf à recevoir), les zones hachurées représentant la largeur de bande utilisée par la modulation SSB.



A la sortie de ce mélangeur seule la bande de fréquence $f_{OL} - f_{RF}$ est disponible, toutes les autres fréquences étant naturellement filtrées par la fonction blocage. Cette performance n'est possible qu'à $0 f_i$ (conversion directe), toutes les fréquences indésirables tombent dans ces "puits d'atténuations" et comme à l'accoutumé la fréquence image n'existe pas avec un mélangeur à conversion directe. Les fuites d'oscillateur local et de Rf suivent le même chemin. La figure 7 représente le schéma simplifié du mélangeur à échantillonneur-bloquer différentiel double.

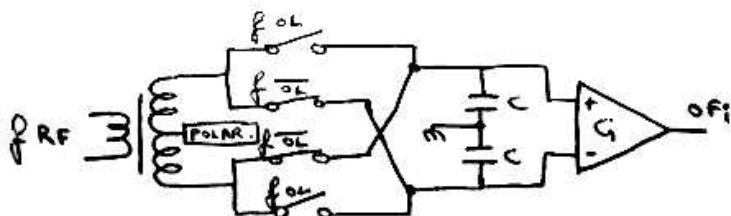


figure 7

Il est différentiel double pour rejeter au maximum son bruit propre, les artefacts de commutation, le mode commun et de plus cela lui donne du gain. Les interrupteurs sont alternativement ouverts deux à deux pendant une demi période pendant que les deux autres sont fermés et inversement pendant la demi période suivante. La précision de l'échantillonneur augmente avec le temps d'intégration qui est le temps de fermeture des interrupteurs, c'est incompatible avec les fréquences élevées mais cela va dans le bon sens pour la conversion directe.

Pour que les commutateurs fonctionnent il faut les polariser à la moitié de la tension d'alimentation et ainsi l'on conserve une dynamique maximale.

Ce mélangeur sera utilisé dans le récepteur 80m décrit ci-après. Ce récepteur à ØFI ou à conversion directe est composé de trois parties, le VFO n'étant pas représenté. La première partie (schéma 1) est elle même composée de deux sous ensembles qui sont : un filtre présélecteur de bande calé sur la bande 80m suivit d'un préamplificateur HF de 12 dB. Pour la réalisation du filtre, toutes les informations se trouvent sur le schéma 1. Le calcul de la self de choc L4 est simple : $L = \frac{10 \cdot Z_0}{2 \cdot \pi \cdot f}$ Avec $Z_0 = 50\text{ohms}$, f en MHz et L en μH .

En effet, L4 doit présenter une impédance au moins 10 fois supérieure à l'impédance de sortie (50 ohms) à la fréquence de fonctionnement la plus basse pour ne pas désadapter la sortie du MMIC².

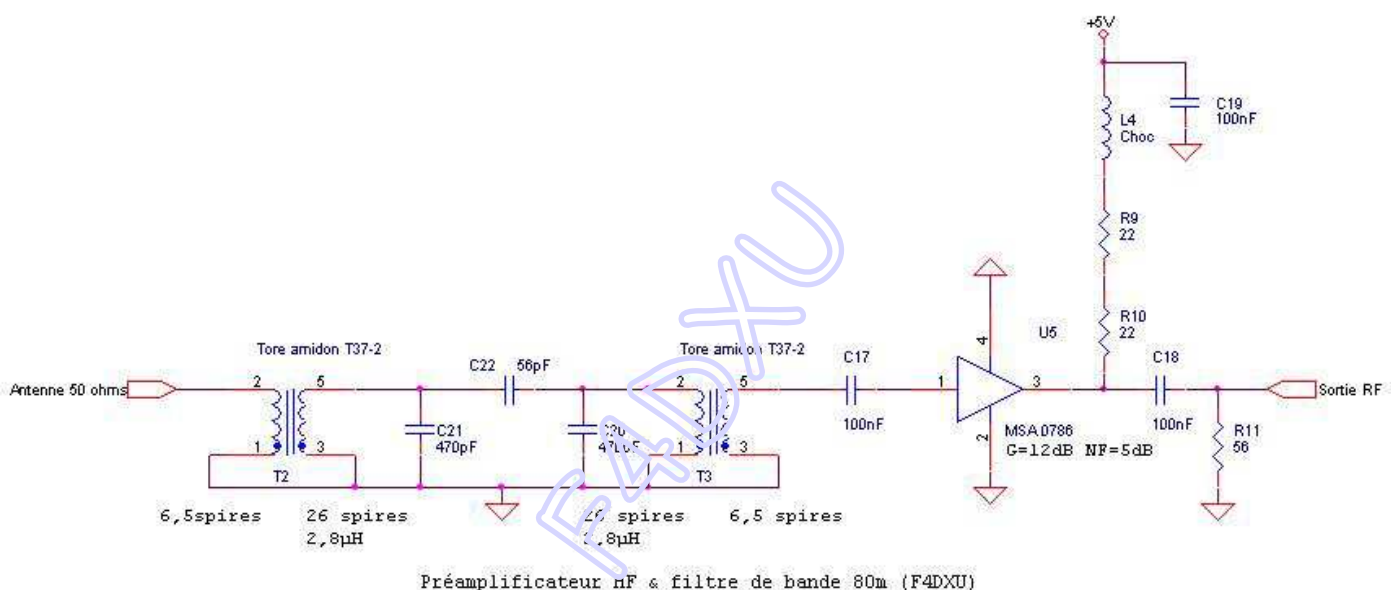


Schéma 1

La « Sortie RF » du préamplificateur va se connecter à l'entrée nommée « Entrée RF=OL » du mélangeur (schéma 2) qui comme son nom l'indique va mélanger le signal qui vient de l'antenne avec l'oscillateur local (OL). C'est la deuxième partie du récepteur. A la sortie on obtient directement la BF démodulée. L'oscillateur local (OL) peut être n'importe quel générateur de signaux carrés pouvant s'adapter aux spécification de l'entrée clock du 74AC74.

Pour la réalisation de cette fonction, toutes les informations se trouvent sur le schéma 2. Tout est alimenté par une tension unique de +5V. Pour réaliser la fonction logique des commutateurs du FST3125³ il est nécessaire de doubler la fréquence de l'oscillateur local (voir datasheet) d'où le $2 \cdot \text{OL}$. Comme indiqué sur le schéma, la sortie notée OL qui elle se trouve bien à la fréquence voulue peut être connectée à un fréquencemètre ce qui est tout de même plus pratique pour connaître la fréquence d'émission du correspondant.

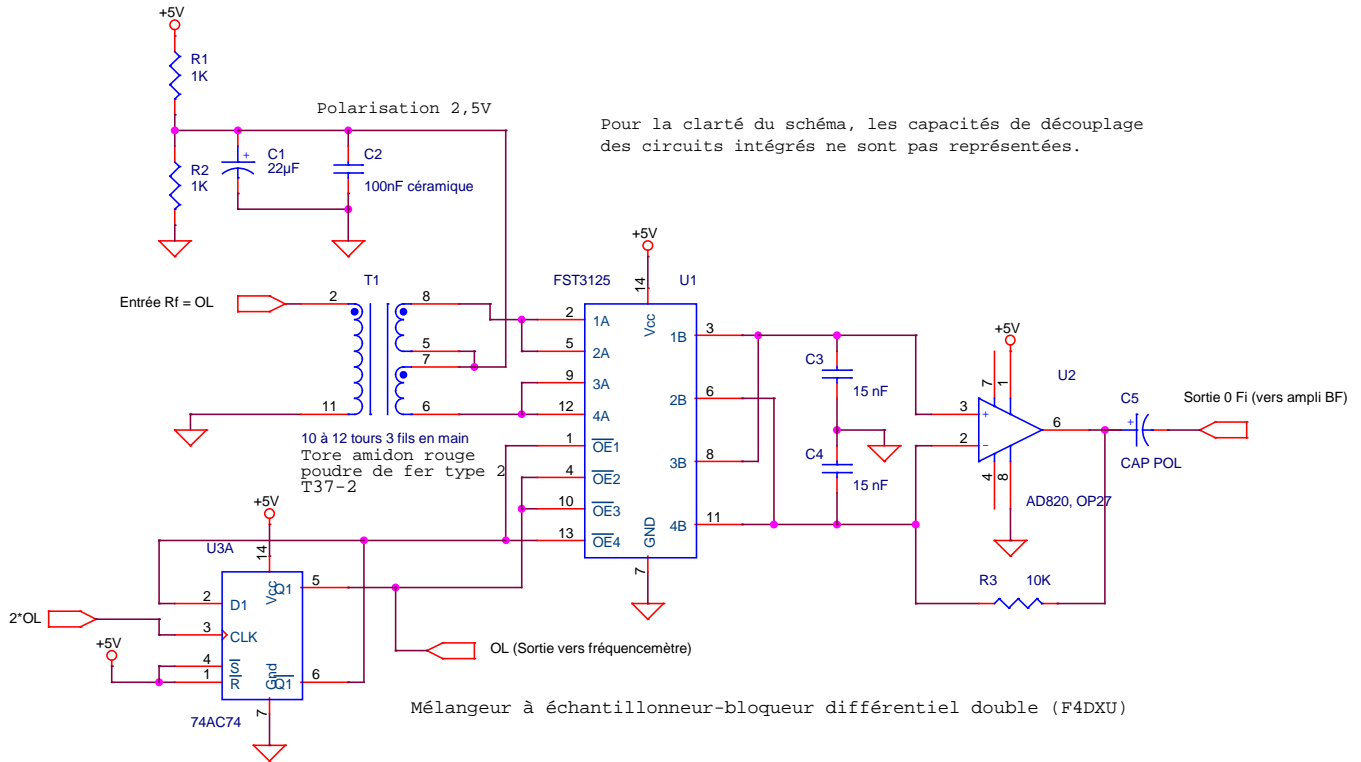


schéma 2

La troisième et dernière partie du récepteur concerne le schéma 3 qui est composé d'un filtre passe-bande BF suivi d'un préamplificateur BF. Le filtre elliptique passe-bande est du 7ième ordre à flanc très raide notamment du côté de la fréquence de coupure haute (3,5 KHz). Il est adaptée en impédance en entrée et en sortie.

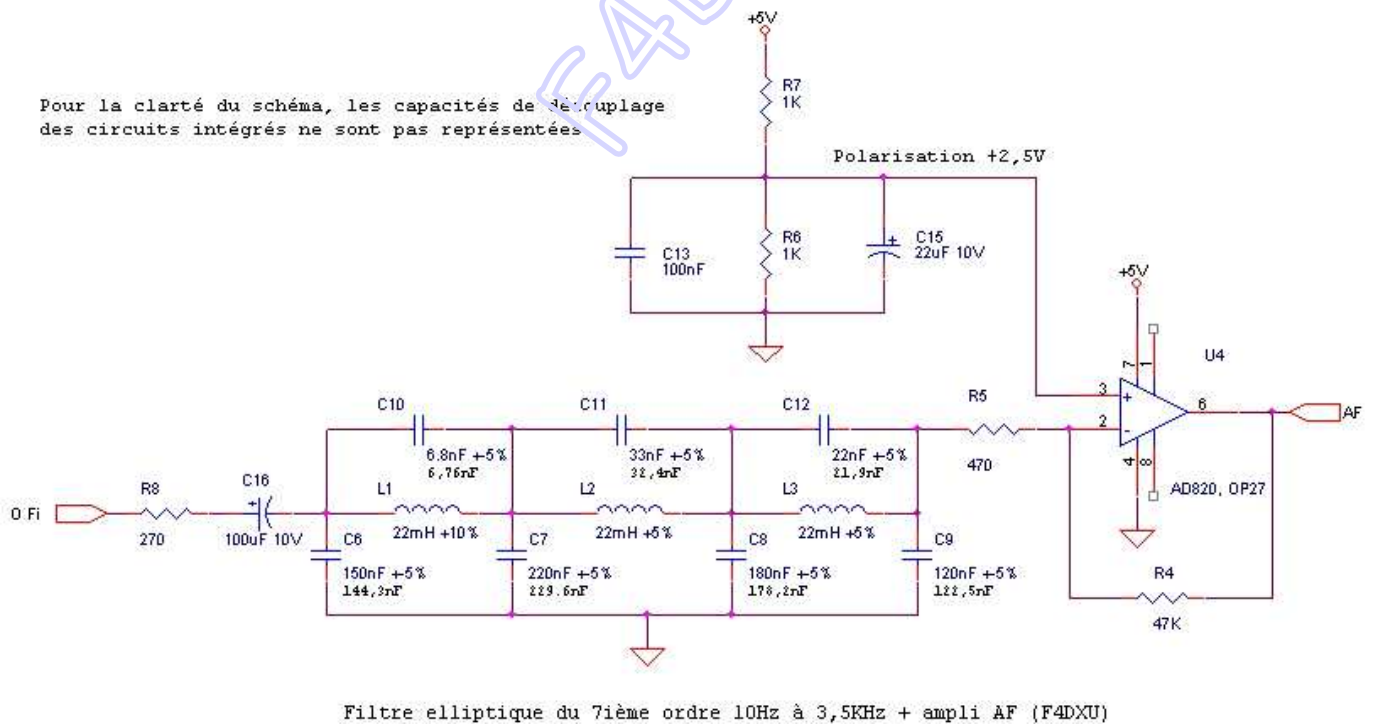


Schéma 3

Ce filtre passe bande à été calculé à l'aide de RFSim99⁴, c'est un logiciel libre qui permet de déterminer les paramètres S (fonction de transfert, désadaptation, etc) d'un quadripôle. Voici sur la figure 8 le résultat de cette simulation.

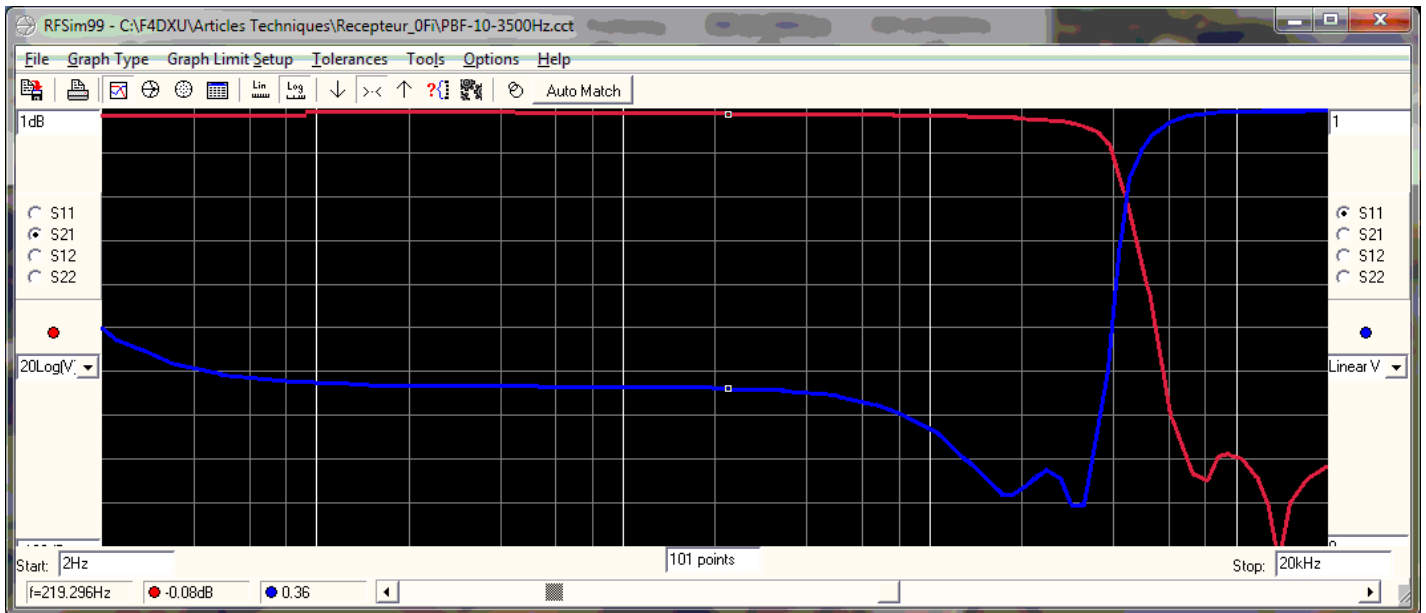
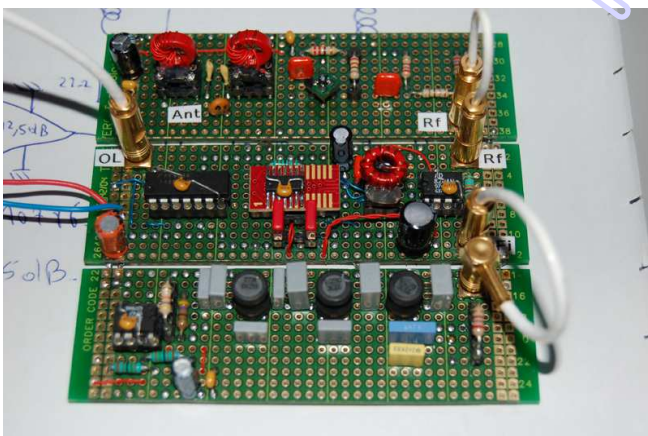


Figure 8

La sortie notée AF peut attaquer directement un casque haute impédance, un amplificateur BF ou être directement connecté à l'entrée de la carte son d'un PC. Dans ce dernier cas il sera possible d'utiliser un logiciel comme Spectrum Laboratory⁵ pour effectuer des traitements BF supplémentaires et obtenir un affichage en spectre glissant ou waterfall du signal BF. Pour une utilisation en modes numériques il sera préférable d'augmenter la fréquence de coupure basse du filtre pour réduire le bruit en $1/f$ du mélangeur.

La photo ci-dessous représente le prototype du récepteur 80m câblé sur une plaque de circuit imprimé à trous métallisés où l'on peut distinguer les 3 parties constituantes du récepteur qui de haut en bas se trouvent dans l'ordre de la description précédente.



Bien entendu, ce récepteur ne se limite pas à la bande 80, pour cela il suffit de changer la fréquence de l'oscillateur local et le filtre de bande pour une utilisation en LF, MF et sur une grosse portion de la bande HF, au delà le FST 3125 ne suivra pas la cadence du VFO.

Jean-Marc, F4DXU

Références, bibliographie et webographie :

- 1 http://fr.wikipedia.org/wiki/Sinus_cardinal
- 2 <http://datasheet.octopart.com/MSA-0786-BLKG-Avago-datasheet-9955747.pdf>
- 3 <http://www.fairchildsemi.com/ds/FS/FST3125.pdf>
- 4 RFSim99 : <http://www.multimode.fr/?wpdmdl=2>
- 5 <http://www.qsl.net/dl4yhf/spectra1.html>

F4DXU