

Un filtre 437 MHz de rêve

À flancs très raides et à fréquence centrale variable

Michel Vonlanthen HB9AFO

Un bon filtre UHF est en général constitué de cavités lourdes, encombrantes et fastidieuses à régler. C'est la raison pour laquelle, une fois ajustées sur la bonne fréquence, on ne les touche plus. Le filtre décrit ci-après modernise tout cela. Il est petit, il a des performances HF extraordinaires (3 MHz à -60 dB) et, cerise sur le gâteau, sa fréquence est ajustable au moyen d'un simple potentiomètre. Quoi de plus pour être heureux ?

Au début de l'année 2016, Henry F4WBG/HB9VJU m'avait parlé d'un filtre 437 MHz réalisé avec des filtres à ondes de surface trouvé sur eBay.

Il en avait mis deux en série et obtenait ainsi une courbe de rêve : 3 MHz à -3 dB et 5 MHz à -60 dB ! Les FOS (Filtre à Ondes de Surface) étant centrés sur 44 MHz, il avait fait une conversion de fréquence avant (437 → 44 MHz) et une après (44 → 437 MHz) afin d'obtenir un filtre centré sur 437 MHz, notre fréquence de travail DATV sur la bande des 70 cm. Les deux mélangeurs étaient attaqués par le même oscillateur.

Je m'étais alors posé la question de savoir s'il était possible de construire le même filtre avec un oscillateur à fréquence variable afin de pouvoir déplacer la fréquence centrale du filtre. J'imaginai ainsi pouvoir sélectionner en temps réel la partie de bande utilisable en cas de QRM.

Eh bien oui, c'est possible mais la concrétisation de ce rêve m'a pris plus d'une année. Au final, j'ai obtenu un filtre à flancs très raides, soit 2 MHz à -3 dB et 3 MHz à -60 dB (largeur de bande suffisante pour un signal DVB-T à 2 MHz), dont je peux déplacer la fréquence centrale de 10 MHz au moyen d'un potentiomètre.

C'est vraiment très utile de pouvoir déplacer ainsi une bande passante. Lorsqu'un QRM surgit pas trop loin de la fréquence de travail, il suffit de déplacer le filtre afin de repousser le brouillage à l'extérieur. Sa bande passante étant de 2 MHz et nos transmissions DATV faisant en général moins de 1 MHz de large, il est toujours possible de trouver un endroit libre dans une bande et de le cadrer avec le filtre.

Le mien est centré sur 437 MHz mais il est possible de l'adapter à n'importe quelle fréquence simplement en changeant l'oscillateur variable et le filtre passe-bas. Je pense que cela doit être possible entre 50 et 800 MHz, mais je ne l'ai pas testé.

LA RÉALISATION

En théorie tout paraît simple mais j'ai dû faire face à quelques embûches. Tout d'abord les fuites de HF qui faisaient plafonner l'atténuation des signaux hors filtre à -20 dB.

Cela provenait du circuit imprimé dont les pistes étaient mal disposées. Il faut dire que j'étais en plein dans la réalisation de mes modules HF universels dont le but était de pouvoir réaliser rapidement toutes sortes de convertisseurs, dont ce filtre.

J'avais conçu des amplificateurs apériodiques, des amplificateurs sélectifs utilisant plusieurs types de filtres, des mélangeurs et des oscillateurs. Tous fonctionnaient à merveille mais je n'avais pas été confronté à la question de la diaphonie. J'ai donc dû réaliser plusieurs circuits avant d'arriver au résultat escompté.

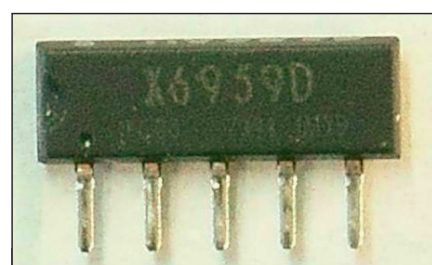


Figure 1 : Filtre FOS Epcos X6959D

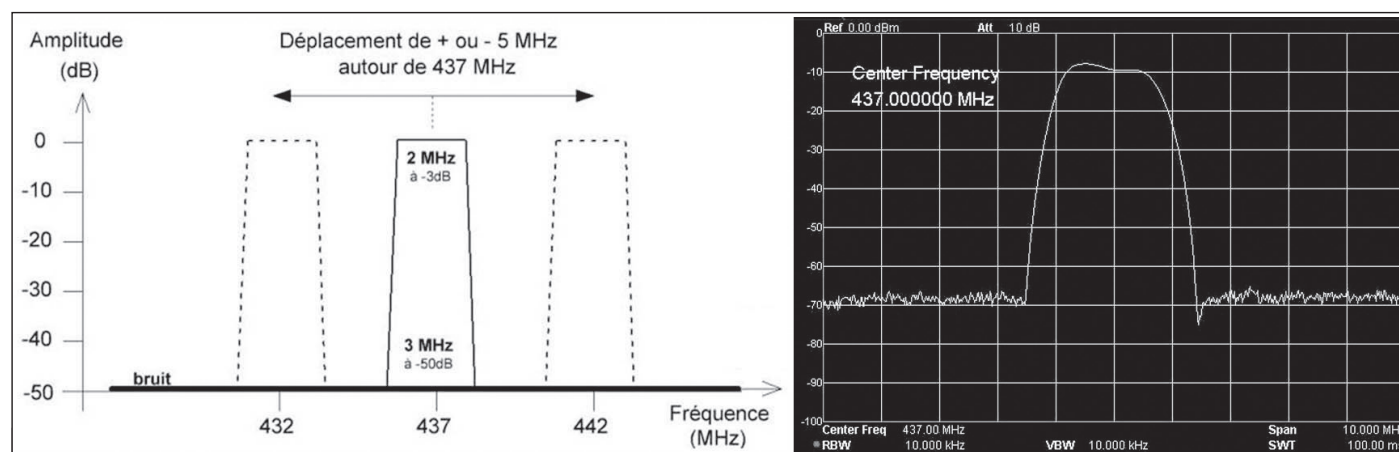


Figure 2 : Principe du filtre à fréquence centrale variable et courbe réelle du filtre obtenu

Mes modules universels font tous 35 mm de large, afin de pouvoir les insérer dans des boîtiers Schubert en fer blanc plié.

Leur longueur aussi est standard, soit 35 mm, mais certains font moins, par exemple l'amplificateur aperiodique, afin de les faire précéder, si nécessaire, d'un filtre réalisé avec des éléments de très bonne qualité UHF.

À noter que c'est avec ce montage que j'ai gagné le contest des préamplificateurs 144 MHz à faible bruit lors de la réunion EME 2014 à Pleumeur-Bodou. Le mélangeur passif est également plus court.

Les entrées et sorties se font toutes sur une impédance de 50 Ω , ce qui rend les montages inconditionnellement stables. Chaque circuit est physiquement conçu afin que sa sortie aboutisse sur l'entrée du circuit suivant au moyen d'une ligne 50 Ω . L'alimentation se fait en 12 Volts, le circuit étant protégé contre les inversions accidentelles de polarité par une diode série et par un régulateur 5 V. De nombreux découplages « assagissent » les composants HF.

Le matériau utilisé est du FR4 double-face standard en époxy, de 1,5 mm d'épaisseur. Le plan de masse n'est pas gravé et reste entier.

Seuls quelques trous y sont détournés au foret afin d'éviter des court-circuits des fils traversants.

Je préfère cette fabrication artisanale car ainsi je domine le développement d'un circuit de A à Z. Le matin je dessine le schéma du circuit au moyen du logiciel S-Plan (Abacom) et le circuit imprimé avec S-Layout.

Ensuite j'imprime le typon sur du papier calque au moyen d'une imprimante laser. J'insole le circuit de base pré-sensibilisé dans un banc à ultra-violet, je le développe à la soude caustique et je le grave ensuite dans une solution d'acide chlorhydrique, d'eau oxygénée et d'eau.

Pour terminer je perce mes trous au moyen d'une perceuse à colonne Dremel, idéale pour cet usage et bon marché de surcroît. Et le soir tout est réalisé !

Si l'intérêt s'en faisait sentir, je pourrais détailler la méthode d'élaboration des circuits imprimés dans un autre article, mais sachez que je fabrique moi-même tous mes circuits de façon artisanale, ce qui me permet de passer très rapidement de l'idée à l'application. Il me faut en général un jour pour dessiner le schéma, le plan du circuit et le réaliser.



Figure 3 : Ampli 144 MHz à faible bruit et forte tenue aux signaux élevés

L'idée arrive le matin et le circuit est monté et fonctionnel le soir, c'est comme cela que j'aime travailler !

Côté câblage, rien de spécial à dire pour les composants passifs, il suffit d'un bon fer à souder (Weller), d'une bonne paire de lunettes plus une loupe pour les contrôles, et d'un fil de soudure de 0,5 mm de diamètre. Par contre il faudra prendre la précaution de tout mettre à la masse pour souder les composants actifs, le PGA103+ entre autres, sans quoi l'IC serait irrémédiablement détruit par l'électricité statique.

En pratique je soude sur un tapis antistatique relié à la masse du fer à souder mis à la masse du secteur 230V. La masse du circuit imprimé à souder y est reliée, de même que mon poignet à l'aide d'un bracelet prévu pour cet usage.

Avec l'âge, mes yeux se sont dégradés et je dois souvent souder ou visser des composants « au toucher ». J'arrive cependant sans problème à disposer les composants sur le circuit imprimé, d'autant plus que je prends la précaution de ne pas trop les serrer lorsque je dessine le circuit imprimé avec le logiciel S-Layout.

Mes mains sont aussi devenues moins sûres et je dois prendre quelques appuis pour ne pas trop trembler mais j'arrive à mes fins. Un petit étau de table Uni-Spann de bonne qualité et orientable est une aide appréciable lors de l'opération soudure. En un mot comme en mille, malgré les atteintes de l'âge (« Ô rage ! ô désespoir ! ô vieillesse ennemie ! » Corneille dixit), j'arrive sans trop de problèmes à fabriquer mes propres circuits imprimés. Bien sûr je pourrais

les faire tirer par une entreprise professionnelle mais cela entraînerait un délai de plusieurs semaines, ce que mon impatience congénitale ne supporte pas... Il est possible cependant que je fasse tirer quelques-uns des modules les plus courants par la suite, surtout si d'autres que moi désirent les utiliser dans leurs propres montages.

Nous en reparlerons peut-être.

LE SCHÉMA

Il consiste en deux amplificateurs identiques à FOS pris en sandwich entre deux mélangeurs, ces derniers alimentés par le même oscillateur à la fréquence de 393 MHz (437 - 44 MHz). Les deux amplis à FOS sont montés dans un boîtier Schubert afin de les isoler du reste du montage.

Analyse du schéma (figure 4)

Dans le détail, nous avons de gauche à droite sur le schéma :

- mélangeur 437 - 44 MHz,
- filtre passe-bas 50 MHz,
- amplificateur aperiodique,
- 1^{er} FOS 44 MHz + ampli,
- 2^{ème} FOS 44 MHz + ampli,
- mélangeur 44 - 437 MHz.

L'oscillateur, quant à lui, se compose du VCO POS-535+ commandé par une tension variable de 6 à 6,5 Volts délivrée par le potentiomètre (1 tour) de 5 k Ω et ses résistances associées.

Sa tension est régulée à 8 Volts grâce au 78L08. À noter qu'elle gagnerait à être mieux stabilisée à l'aide d'un régulateur de précision afin qu'elle ne varie pas, quelle que soit la valeur du 12 Volts. En pratique il faut quelquefois réajuster la tension au moyen du petit ajustable de 10 k Ω 10 tours. Un splitter Mini-Circuits répartit le signal HF de sortie vers les deux mélangeurs. Le potentiomètre de 100 Ω permet d'ajuster très précie-

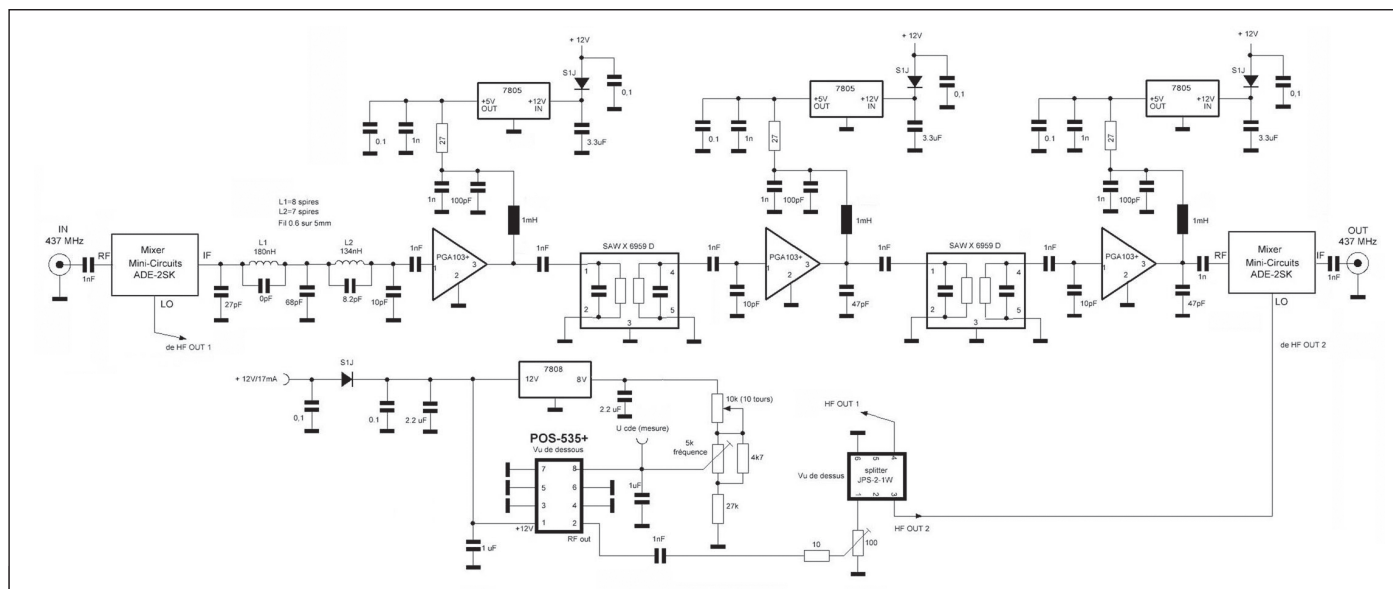


Figure 4 : Schéma complet du filtre

sément la valeur d'injection LO des mixers, ni trop, ni trop peu.

Le schéma est un peu particulier en ce sens qu'il est constitué de plusieurs modules universels ce qui rend certaines parties redondantes. En cas de réalisation sur un circuit imprimé unique, il est bien sûr possible de le simplifier en ne mettant, par exemple, qu'un seul régulateur 5V. Avec ce schéma, le signal de sortie est amplifié de 8 dB. Si cette amplification n'est pas souhaitée, il suffit d'insérer un atténuateur en Pi (100 Ω à la masse, 68 Ω en série et 100 Ω à la masse) entre le second mixer et le condensateur de sortie. Le signal d'entrée se retrouvera alors en sortie avec le même niveau. Le montage supporte -20 dBm en entrée sans saturation. Il consomme 250 mA sous 12 Volts.

Les composants spéciaux proviennent de RF Elettronica (Rota) et les composants courants de chez Reichelt (DL). Le circuit FOS Epcos X6959D peut se trouver sans problème sur eBay. J'utilise essentiellement des composants CMS (Composants à Montage de Surface), c'est tellement pratique de les souder sur le dessus du circuit imprimé !

PROTECTION CONTRE LES INVERSIONS ACCIDENTELLES DE POLARITÉ

J'ai pris l'habitude de protéger tous les montages que je construis contre les inversions accidentelles de la polarité de la tension d'alimentation de 12 Volts. Cela m'est indispensable car il m'est maintes fois arrivé d'être en portable, pris par l'excitation du

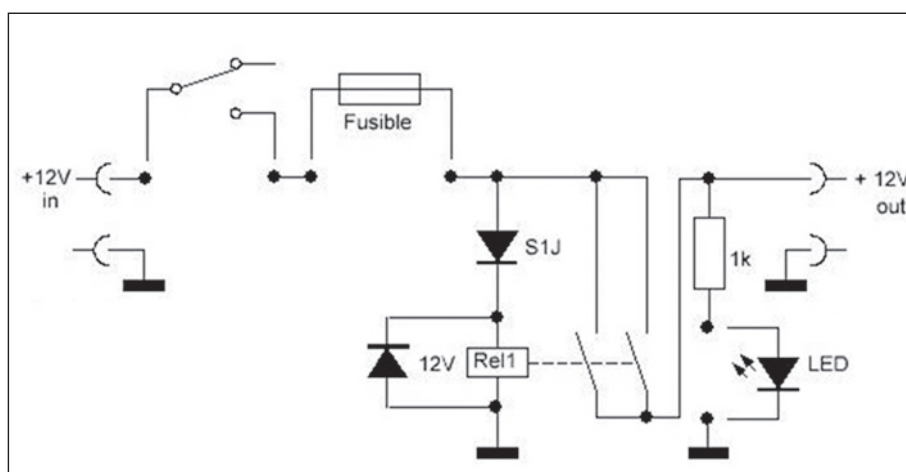


Figure 5 : Protection contre les inversions accidentelles de polarité

trafic, et d'inverser les fiches bananes qui équipent l'une des extrémités de mes câbles d'alimentation.

Normalement c'est « le bleu sur le bouton bleu et le rouge sur le bouton rouge » (« La 7^{ème} compagnie au clair de lune »), donc la fiche rouge sur le positif et la noire sur la masse. En cas d'inversion, il y a de fortes chances (si l'on peut dire) de griller quelques composants du montage en l'alimentant. Il faut donc prévenir ce genre de mauvaise manipulation.

Bien sûr, vous allez me dire « Pourquoi utiliser des fiches bananes plutôt qu'un connecteur d'alimentation non inversible ? ». Eh bien parce qu'en portable, c'est très pratique de pouvoir connecter une alimentation à n'importe quoi, à l'aide de pinces crocodiles s'il le faut. Avec un connecteur soudé et fermé, comment le réparer s'il se dessoude en pleine montagne ?

Et comment mesurer une tension avec les fils du voltmètre si le connecteur est petit et coaxial ?

C'est pour toutes ces raisons que j'ai normalisé des câbles d'alimentation 12 Volts avec d'une côté deux fiches bananes 4 mm et de l'autre, un connecteur d'alimentation coaxial standardisé pour petits appareils électroniques.

J'ai donc développé un petit circuit équipé d'un relais mécanique qui empêche le 12 Volts d'alimenter l'appareil connecté en cas d'inversion de polarité. Le schéma est d'une simplicité biblique (quoique la Bible, elle, ne le soit pas toujours...). Il comporte un relais alimenté à travers une diode qui impose une tension positive en entrée.

Si elle est négative, la diode ne conduit pas et le relais ne colle pas.

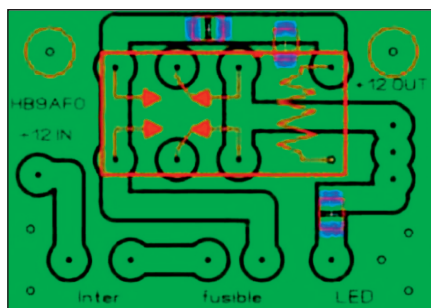


Figure 6 : Circuit imprimé de la protection

Les contacts du relais sont reliés au +12 V entrant et l'acheminent en sortie lorsque le relais colle.

Au final, on peut inverser les fils d'alimentation et il ne se passe rien, le relais reste au repos. En plus de

cette fonction, le petit circuit de protection comporte des prises pour la LED, l'interrupteur et le porte-fusible à mettre sur le panneau avant ainsi que quelques pastilles où connecter les sorties 12V. Voir le schéma sur la *figure 5* et le typon du circuit imprimé sur la *figure 6*.

Oui, je sais, certains d'entre vous vont me dire « Mais tu es rétrograde avec ton relais mécanique ! Pourquoi n'utilises-tu pas plutôt un MOSFET ? ». Tout simplement parce que la vie m'a appris à me méfier comme de la peste des composants électroniques de protection qui peuvent claquer simplement avec une tension électrostatique. Cela me rappelle la visite d'une usine électrique qui avait été modernisée. J'avais posé la question au chef d'atelier « Je présume qu'avec une telle mécanique (la tur-

bine) protégé par toute cette électronique (une armoire), vous n'avez plus jamais de panne ».

Il m'avait répondu « Non, avant on en avait jamais, mais maintenant c'est l'électronique de contrôle qui tombe en panne ! »...

MISE EN COFFRET DU FILTRE

Voir sur la *figure 7* le résultat de la mise en coffret et sur la *figure 8* les typons des C-I.

CONCLUSIONS

Je remercie Henry F4WBG de m'avoir « lancé » sur ce projet avec ses idées et ses recherches sur le Net. Il a la manière pour dénicher des circuits intéressants et financièrement accessibles. Par exemple les FOS (SAW en anglais) ne coûtent qu'entre 2 et 3 € pièce.

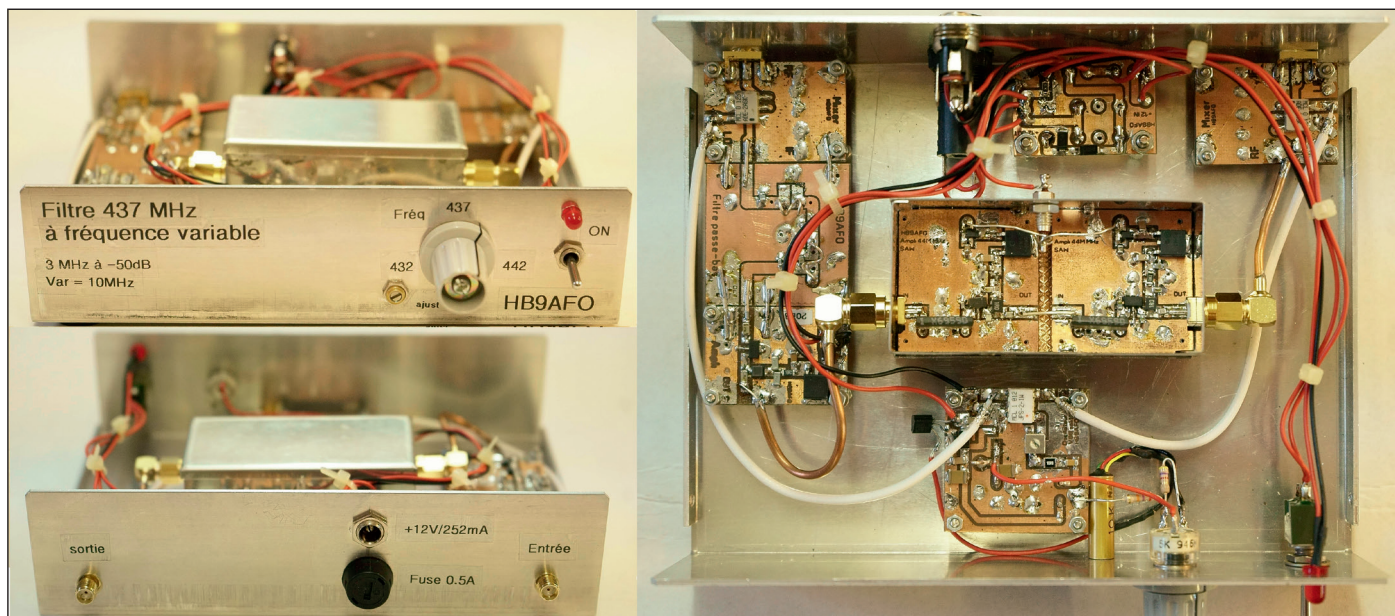


Figure 7 : Le filtre terminé, vues avant, arrière et dessus

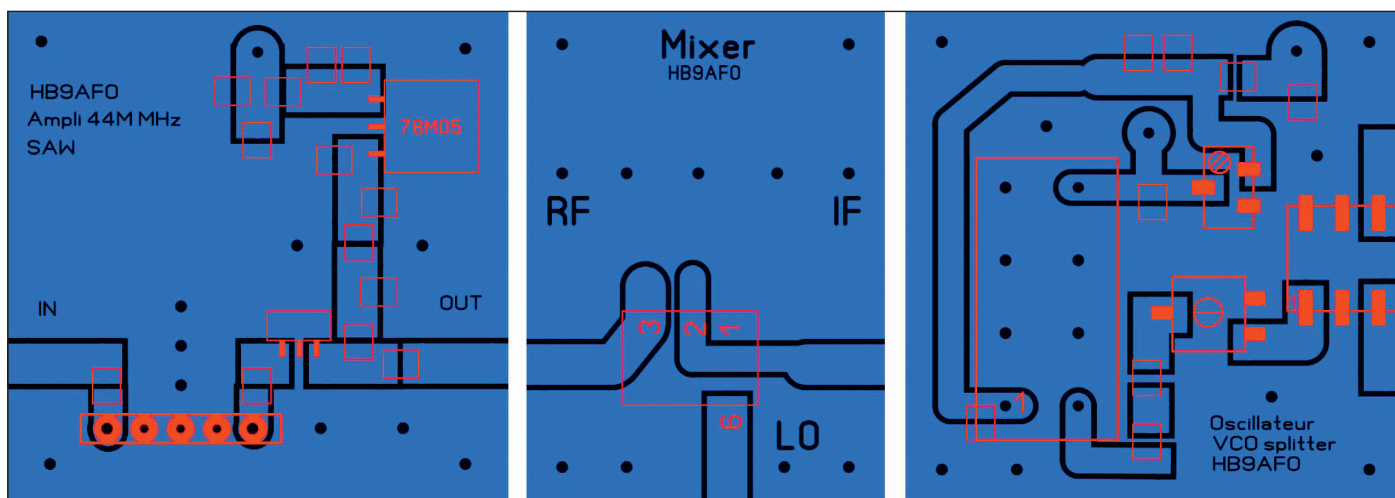


Figure 8 : Les circuits-imprimés : Ampli FOS, mixer et VCO

J'utilise presque quotidiennement ce filtre, placé derrière le convertisseur 45-437 MHz que j'ai mis derrière mon récepteur de trafic AR-5001DX. Suivi d'un récepteur DVB-S ou DVB-T ainsi que d'un SDR (Software Defined Receiver) utilisé comme analyseur de spectre, cet équipement me permet de recevoir n'importe quelle émission ATV (analogique FM) et DATV (DVB-S et T) sur n'importe quelle fréquence

de 40 kHz à 3 GHz, sans parler, bien sûr, des modes habituels phonie, SSB, CW, FM, etc.

C'est l'installation de réception dont j'ai rêvé durant toute ma vie : hyper stable et précise, tous modes et toutes bandes !

Pour toute information complémentaire, je reste bien sûr à votre dispo-

sition via mon adresse mail :

mvonlanten@vtx.ch

et mon site web :

<http://www.hb9afo.ch>

73 et bel été !