

Filtre pour harmoniques 432 MHz inspiré par YU1AW

Par Yves OESCH / HB9DTX

www.yvesoesch.ch

(parution originale dans HB-Radio 5/2013)

Une première version de cet article est parue dans la revue du club HB9WW *SUNE Télégraphe* de mai 2013. Compte tenu de quelques retours et remarques constructives, j'ai décidé de faire profiter les lecteurs d' HB-Radio de cette lecture en espérant qu'elle soit intéressante et utile à certains d'entre vous.



Depuis plusieurs années je participe au contest IARU UHF d'octobre avec quelques membres du club HB9XC depuis le site du Chasseral. Nous trafiquons sur 70 cm et 23 cm principalement. Les antennes étaient situées sur le même mât et nous avions des perturbations sur 23cm lorsque la station 70 cm était en émission.



Filtre dans son boîtier avec embases N

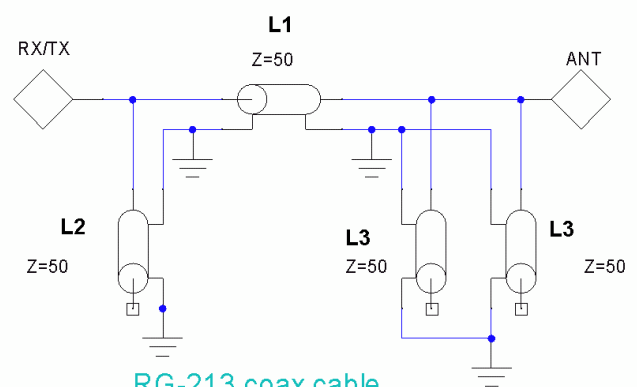
Afin de trouver une solution à ce problème d'interférence, j'ai cherché à construire un filtre supprimant l'harmonique trois du 70cm en sortie de l'émetteur. En effet $3 \times 432 \text{ MHz} = 1296 \text{ MHz}$, qui sont les deux fréquences de trafic qui sont utilisées lors des contests UHF.

Une autre bonne raison d'utiliser un filtre à harmoniques est l'emploi d'un amplificateur linéaire, qui peut facilement générer des harmoniques si tant est qu'il ne soit pas parfaitement linéaire...

J'ai cherché quelque chose de facile à construire, et qui supporte facilement la puissance, en tous cas jusqu'aux 75W de l'émetteur. (Nous n'utilisons pas de PA pour le moment). Le but est de garder le câblage de la station UHF le plus simple possible. Le pré-amplificateur de réception situé en tête de mât est alimenté en fantôme pendant les phases de RX en 12V par le TX, via le câble coaxial. L'idéal pour garder cette configuration est que le filtre laisse passer le courant continu. Un VRAI passe-bas en quelque sorte !

YU1AW propose un montage à base de 4 tronçons de coax^{1 2}. Il l'a développé pour le 50 MHz et propose des version pour 70, 144 et 432 MHz. C'est cette dernière qui m'intéresse. Pour garantir une bonne tenue en puissance du filtre, je souhaite utiliser du RG-213. Cependant les longueurs de coax que Dragoslav suggère sont courtes à ces fréquences (entre 21 et 71 mm). Le fait de devoir câbler en parallèle deux tronçons de 21mm ne me plaisait pas. Le relativement gros diamètre du RG-213 rend ce montage difficile et l'inductance parasite pour la connexion de chacun des stubs est importante. Je souhaitais avoir un montage sans mise en parallèle de câbles courts.

Harmonics Filter



RG-213 coax cable
connections as short as possible

YU1AW

Schéma original du filtre à harmoniques selon YU1AW

Je me suis donc lancé dans une variante de design, inspiré par le travail original de YU1AW. J'ai utilisé l'excellent simulateur QUCS (Quite Universal Circuit Simulator ³) disponible en open source, et dans les packages standard de certaines distributions Linux.

Après quelques itérations j'ai obtenu la solution présentée plus bas. Afin de garantir un coefficient de réflexion (SWR) correct, il a fallu ajouter une capacité en sortie du filtre. Ce qui donne le schéma simplifié suivant :

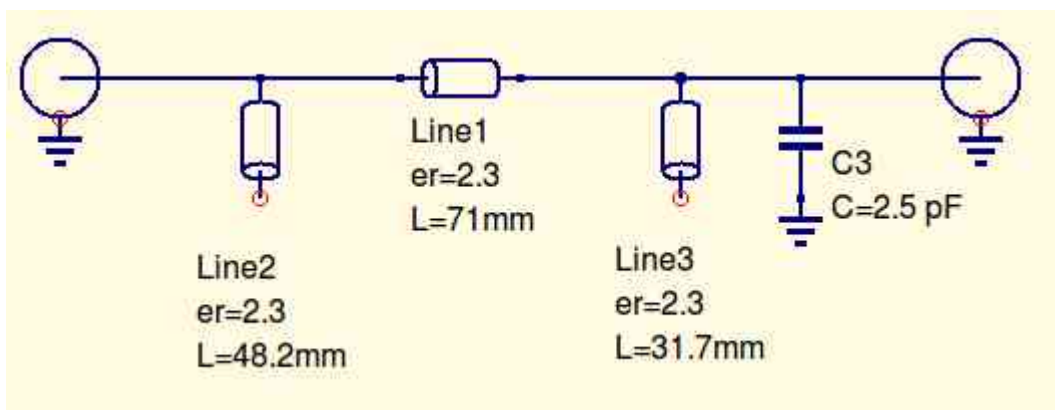


Schéma de principe du filtre harmoniques 432 MHz YU1AW/HB9DTX

Pour la simulation, j'ai tenu compte de certaines imperfections : inductances parasites sur les connexions aux stubs coax, capacités parasites du côté « ouvert » des stubs ainsi que d'une résistance R1 simulant grossièrement les pertes du circuit. Les différentes valeurs de simulation ont été ajustées pour coller au mieux à la mesure (voir plus bas). Le schéma de simulation est le suivant :

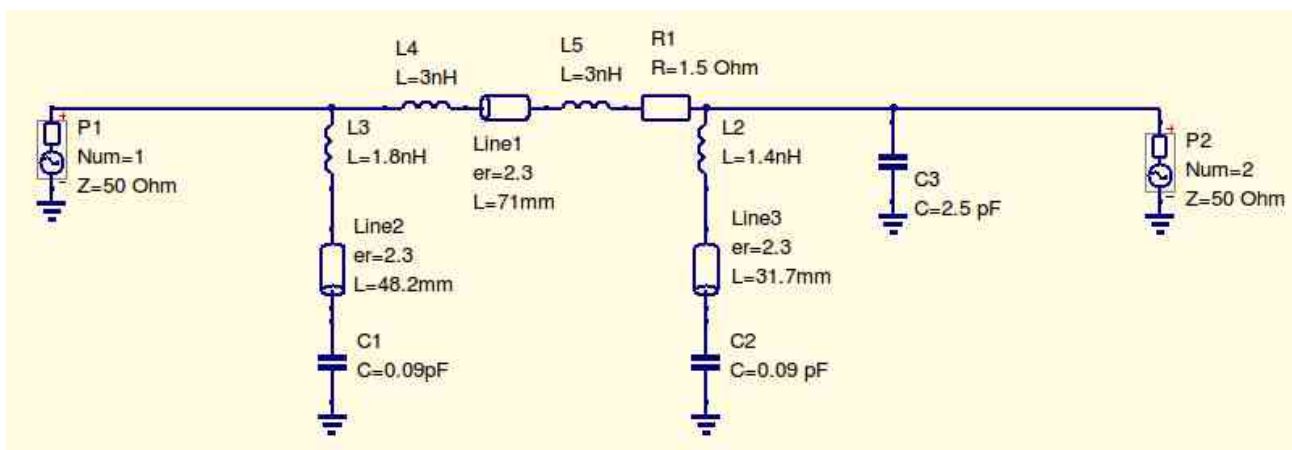


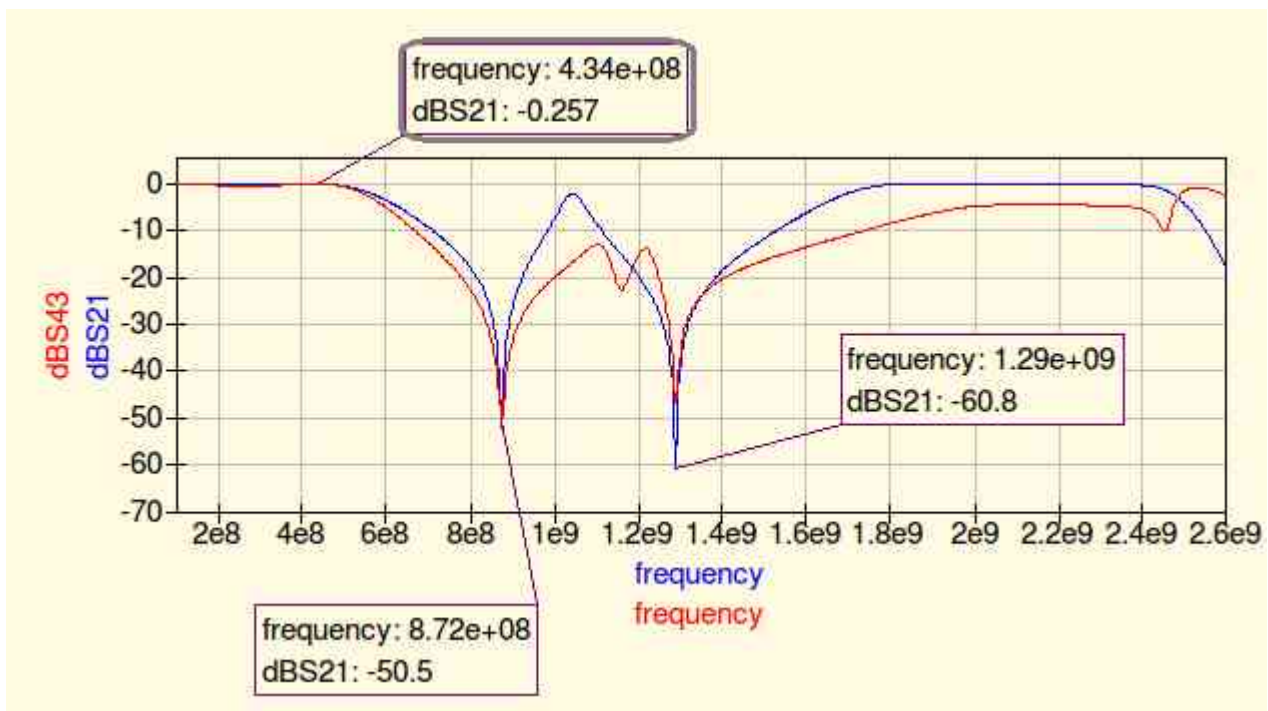
Schéma de simulation complet avec composants parasites du filtre YU1AW/HB9DTX. Valeurs ajustées

Une première version de ce filtre, sans capacité C3 additionnelle et avec une longueur Line3 légèrement différente n'a pas fonctionné. La perte d'insertion mesurée était bonne (de l'ordre de 0.3-0.4 dB) mais le SWR était de 1.8. Or le transceiver que nous utilisons (IC-910) est très sensible sur ce point. La puissance est automatiquement réduite dès que le SWR augmente un tant soit peu.

J'ai donc dû me résoudre à ajouter une capacité sur le port 2. Pour construire un condensateur de faible valeur qui supporte 100W, j'ai pris de la bande de cuivre autocollante que j'ai disposé sur une plaque de Veroboard sans cuivre, d'épaisseur 1.6mm. Cette plaquette est collée au boîtier du filtre. Le contest approchant à grand pas, je n'ai pas eu l'occasion de faire un condensateur plus «propre»... Il a fallu encore fixer à la colle à chaud la bande de cuivre, car elle adhère mal sur le Veroboard troué... C'est un peu du bricolage, je l'avoue, mais le temps pressait. Et la solution trouvée était suffisante. Après tout, nous sommes amateurs, et ce montage n'était pas destiné à une production en série, non ?

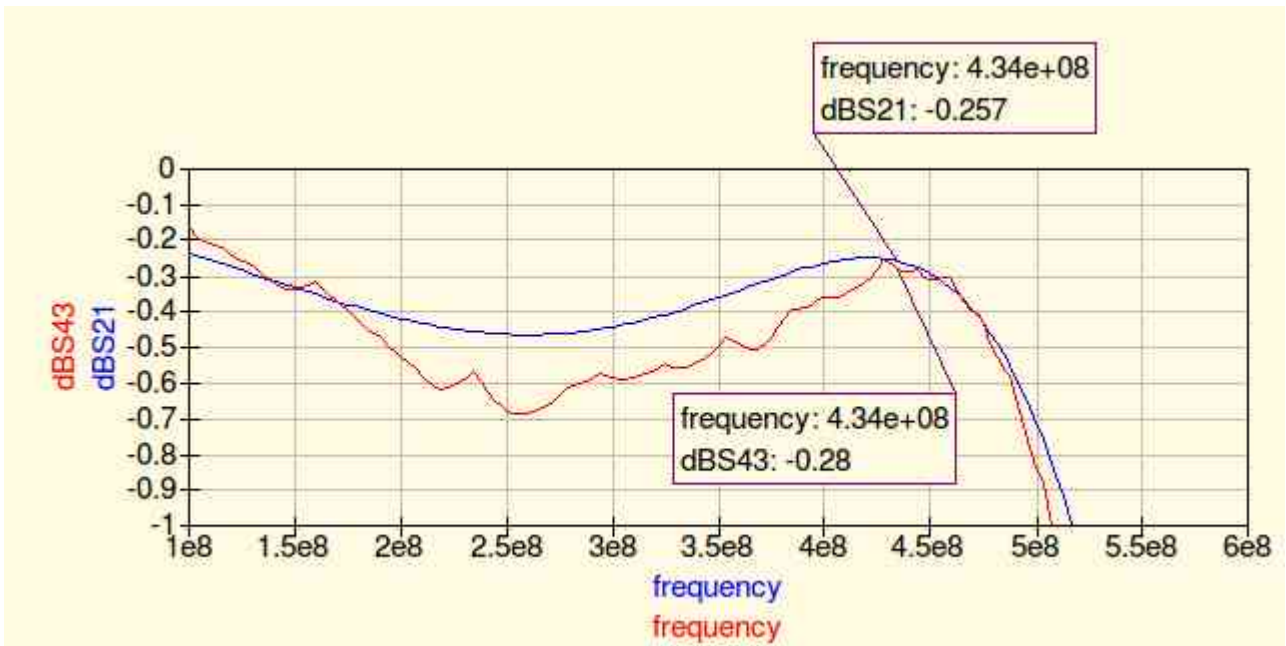
Étant équipé au QRL pour des mesures de réseaux jusqu'à 14 GHz, j'ai pu affiner le réglage de la longueur des tronçons coax et de la surface de la capacité directement en mesurant l'atténuation à 432 MHz et la réjection à 1296 MHz.

Les résultats de la simulation et de la mesure sont les suivants :



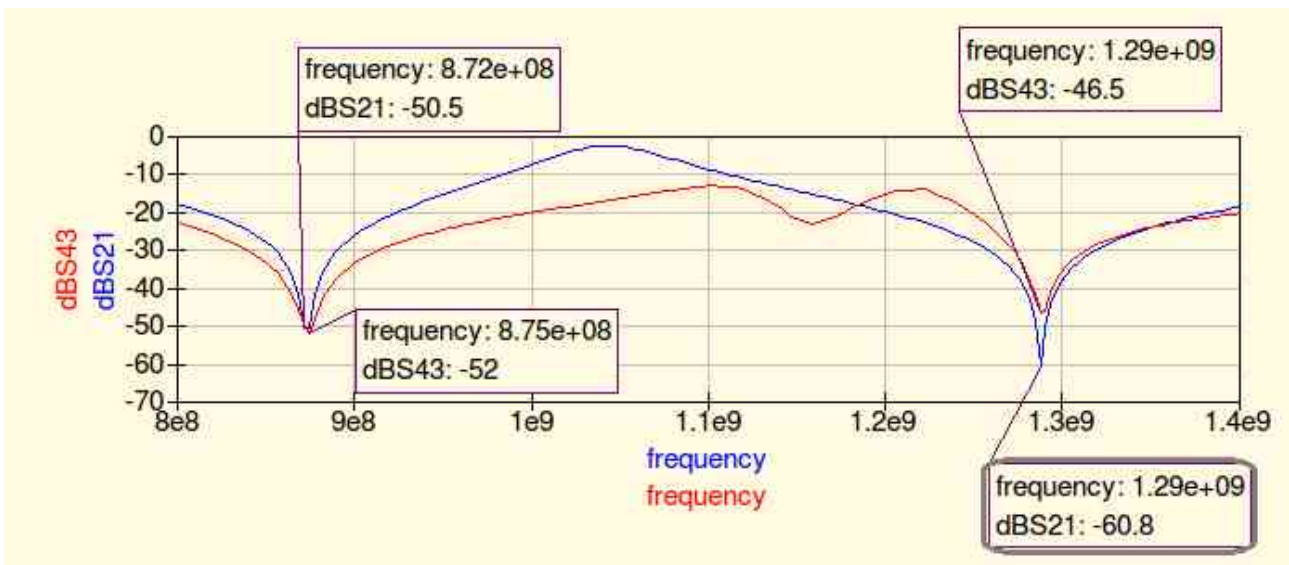
Réponse en fréquence du filtre complet (Bleu : simulation, Rouge : mesure)

L'ondulation sur la mesure autour de 1.1 GHz est probablement due à la capacité de sortie C3 de qualité douteuse (résonance parasite). En touchant cette partie du circuit avec le doigt, cette ondulation change passablement. C'est certainement un point à améliorer pour une prochaine version même si le comportement en fréquence hors des bandes d'intérêt n'est pas primordial.



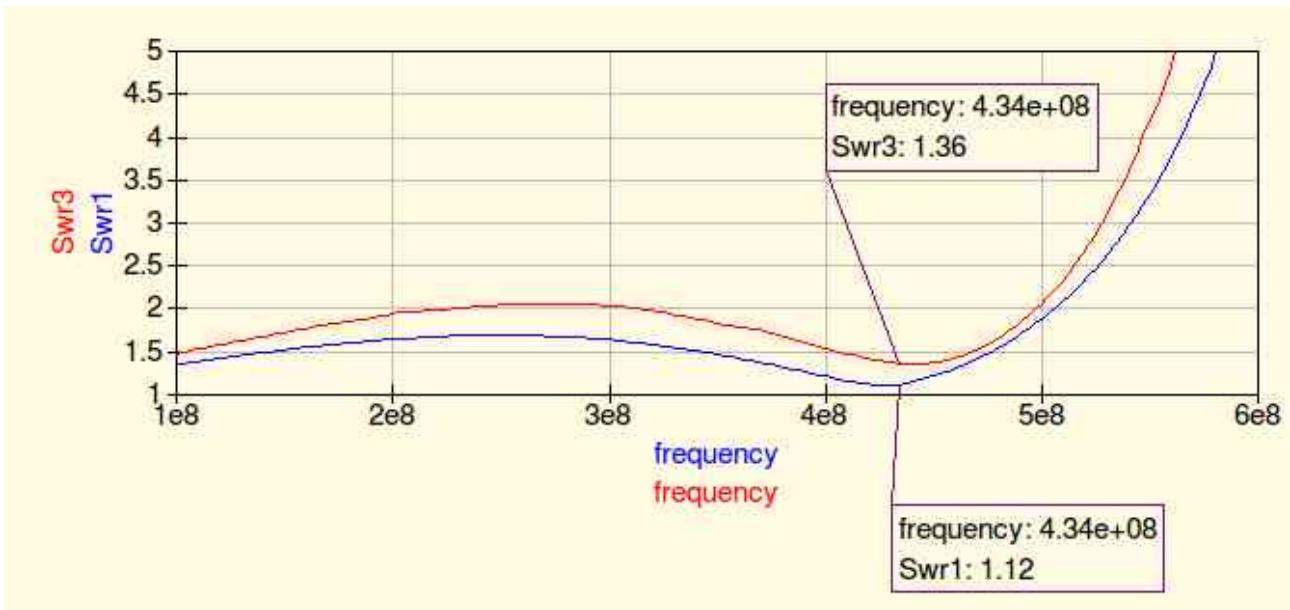
Réponse en fréquence entre 100 et 600 MHz (zoom, Bleu : simulation, Rouge : mesure)

La différence entre mesure et simulation pour l'atténuation dans la bande passante est faible (moins de 0.3 dB d'erreur)



Réponse en fréquence entre 800 et 1400 MHz (zoom, Bleu : simulation, Rouge : mesure)

On voit sur le graphe précédent que les fréquences de réjection (harmoniques 2 et 3) sont les mêmes entre mesure et simulation. C'est assez normal vu qu'elles ont été ajustées en coupant les stubs coax tout en faisant la mesure.



SWR entre 100 et 600 MHz (Bleu : simulation, Rouge : mesure)

Le SWR sur 70cm est correct, sans être excellent.

En résumé, les trois figures les plus importantes de ce filtre sont

Paramètre	Fréquence	Valeur simulée	Valeur mesurée
Perte d'insertion S21	434 MHz	0.257 dB	0.28 dB
Réjection S21	1296 MHz	60.8 dB	46.5 dB
SWR dans la bande	434 MHz	1.12	1.36

Le filtre remplit son office. La perte d'insertion est négligeable (0.3dB), en tous cas pour une application en contest. La réjection de 46 dB est intéressante et le SWR dans la bande est tolérable, même pour le IC-910.

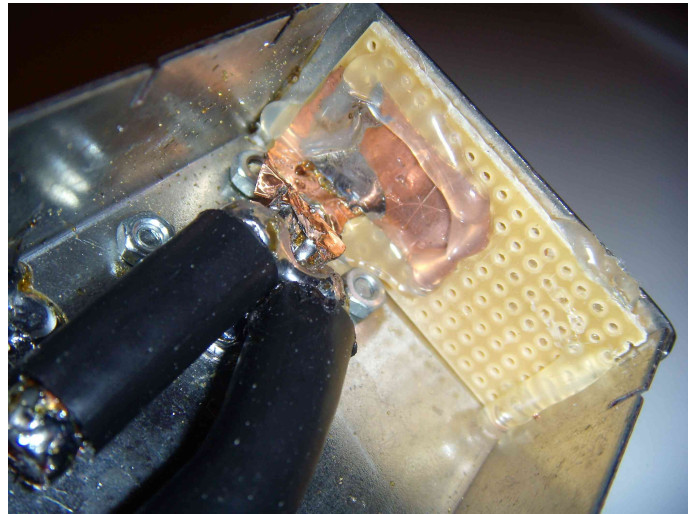


Vue intérieure du filtre

Ce filtre a très bien fonctionné lors du contest UHF d'octobre 2012 (pas de réduction de puissance du transceiver), même si la perturbation de la station 70 cm sur la station 23cm a finalement été complètement supprimée en montant les antennes 70 et 23 cm sur des mâts différents !

Pour terminer, quelques remarques concernant le montage :

- Penser à couper les tronçons de coax légèrement plus longs que nécessaire, pour pouvoir les raccourcir à la pince coupante (raccourcir l'âme seule suffit pour quelques mm)
- Pour travailler à ces fréquences il faut des moyens de mesures pour régler le filtres. Une différence de quelques dixièmes de mm, surtout sur le dernier stub (Line3) déplacera la fréquence de réjection maximale et diminuera donc drastiquement la suppression de l'harmonique 3, paramètre principal du montage
- On pourrait envisager une façon plus propre de construire la capacité terminale. Autre solution : utiliser un condensateur du commerce.
- A l'extrémité libre des stubs coax, il est recommandé de souder la tresse de masse au boîtier pour avoir une bonne stabilité mécanique du filtre et des des capacités parasites de valeur fixes



Zoom sur la capacité C3 construite sur Veroboard

Sylvain, F6CIS, propose de remplacer la ligne coaxiale *Line1* par une inductance ou une self en U.

Sylvain m'a également suggéré d'utiliser un autre type de câble coaxial que le RG-213. Il propose du semi-rigide ou sucoform (141 CU par exemple). Ces coax sont moins perméables aux hyperfréquence au niveau de leur masse, et donc la réjection des harmoniques pourrait être améliorée. De plus le montage serait facilité par le diamètre plus petit de ce genre de coax comparé au simple RG-213 que j'ai utilisé. Malgré leur faible diamètre ils supportent facilement plus de 100W. Une autre suggestion de la part de F6CIS pour l'utilisation de stations de contest multi-bandes, et d'ajouter un stub $\lambda/4$ en parallèle de l'entrée de chacun des préamplificateurs de réception. Il faut bien entendu tenir compte du facteur de vélocité du coax. Un tel stub court-circuité à une extrémité et monté en parallèle à l'entrée du préamplificateur atténue les fréquences sous-harmoniques et protège ainsi le LNA des émissions à forte puissance sur les bandes inférieures. La dégradation de la figure de bruit du préamplificateur est négligeable. Pour être parfait, il pourrait falloir dans certains cas retoucher un peu l'adaptation d'entrée du LNA.

1 YU1AW Dragoslav Dobricic, *PA Harmonski filter*, CQ-ZRS, 2/2009, page 20

2 http://www.qsl.net/y/yu1aw/VHF_PA/VHFPower.htm

3 <http://qucs.sourceforge.net/>