

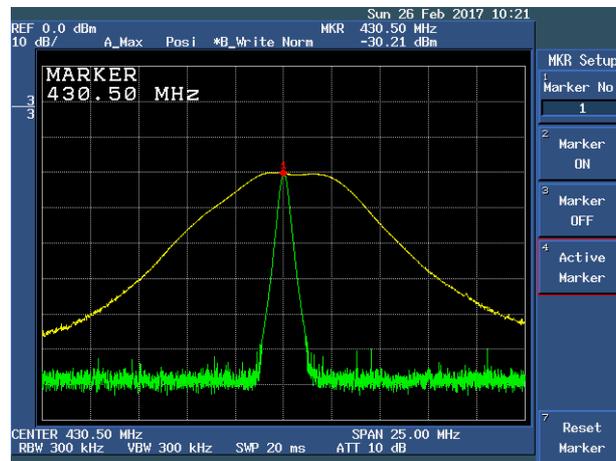
FILTRE PASSE-BANDE ACTIF 430-440 MHz pour relais DSTAR - STARKITY

F5FDR – 13/04/2017

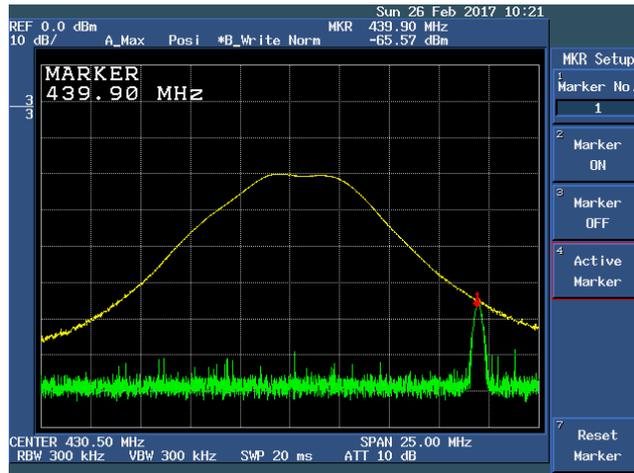
Pour donner au relais une bonne réception avec une réjection efficace de la fréquence d'émission et un filtrage correct de la bande 430-440 MHz, j'ai utilisé l'étage d'entrée d'un **IC-435TF** qui est équipé d'un filtre d'accord à cavités (filtre hélicoïdal). Le gain apporté par le transistor FET double porte est de 10 dB environ, largement suffisant pour compenser la perte d'insertion du duplexeur. La réjection de la fréquence d'émission est de plus de 30 dB.

En fait, les problèmes que l'on constate généralement sur des relais analogiques lors de la réception d'un signal faible sont les suivants : modulation déformée, crachement etc... Ces mêmes phénomènes se matérialisent par une dégradation très rapide du BER sur les relais numériques et donc une apparition du « D2R2 » quasi permanente. Tous ces défauts peuvent être provoqués, entre autre, par le système de couplage du relais ou par un manque de réjection des fréquences utilisées par le duplexeur du relais. Un autre phénomène très courant concerne le maintien du relais en émission sur les signaux très faibles. Il n'y a rien de pire qu'un relais que l'on « ouvre » et une fois en service, ne reçoit plus le signal qui l'a ouvert. Ce problème est principalement dû à la perturbation de la réception par la propre émission du relais. En DSTAR ce phénomène se traduit par des émissions brèves et non maintenues du relais et avec une retransmission totalement perturbée de l'OM qui utilise le relais à ce moment là. C'est pour ces différentes raisons que j'ai été amené à faire ces essais de filtre préampli.

Ce type de filtre ne commence à être actif que pour des « shift » supérieur à 5 MHz, en dessous, le filtre passe-bande ne servira que pour le filtrage de la bande 430 MHz mais n'apportera rien côté réjection de la fréquence d'émission du relais.

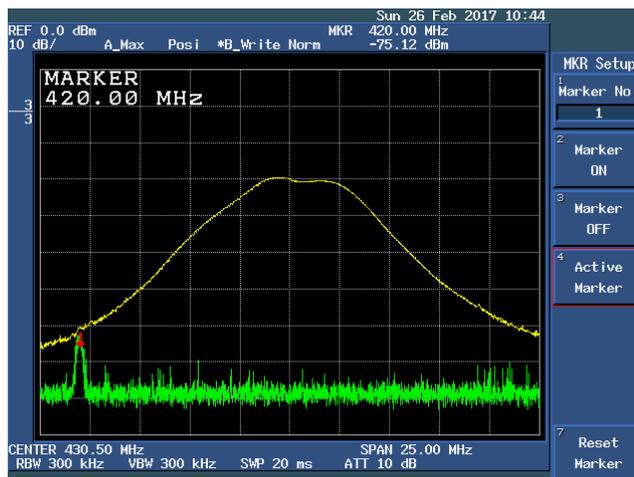


Trace A (jaune) correspond à la bande passante du filtre. La trace B (verte) correspond à la fréquence réception du relais. Le niveau est de -30,61 dBm pour un niveau d'entrée de -40 dBm.

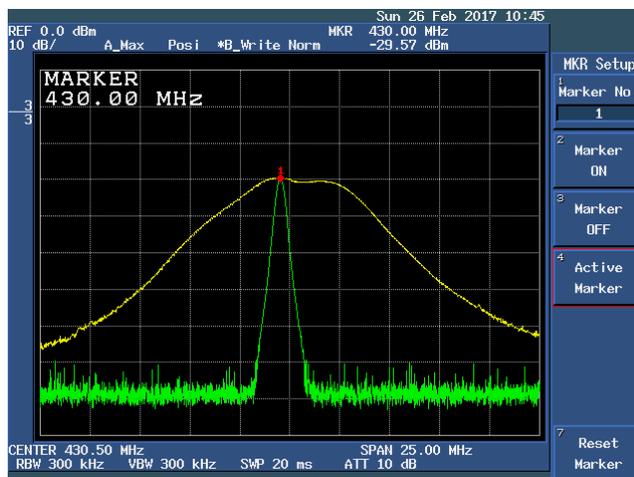


Trace A (jaune) inchangée ; trace B (verte) correspond à la fréquence d'émission du relais. Bien entendu, cette atténuation, de 35 dB environ, s'ajoute à celle apportée par le duplexeur. Il est évident que ce filtre passe-bande ne peut pas être utilisé seul, c'est à dire sans duplexeur; il faut le connecter en sortie de la branche RX du duplexeur et l'entrée du récepteur du relais. Ce filtre sera alimenté par le 13.8V du relais.

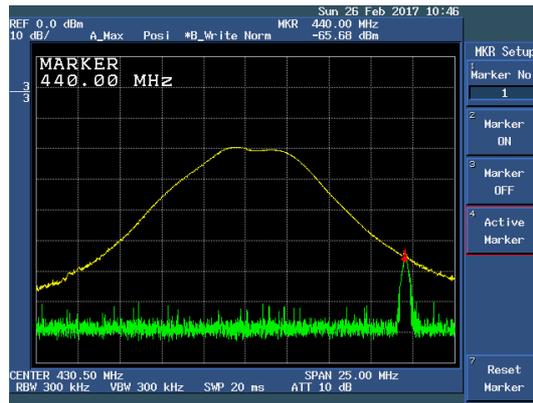
Mesure de la bande passante du filtre



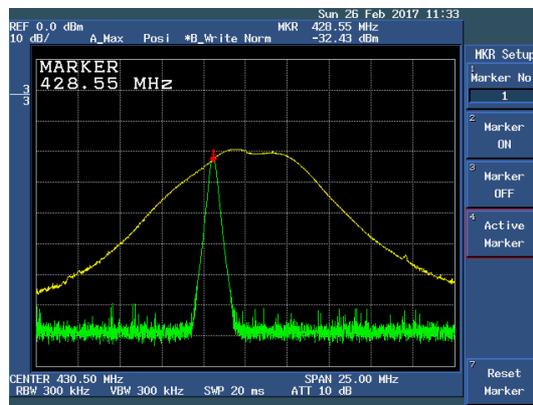
L'atténuation à 420 Mhz est de 45 dB environ.



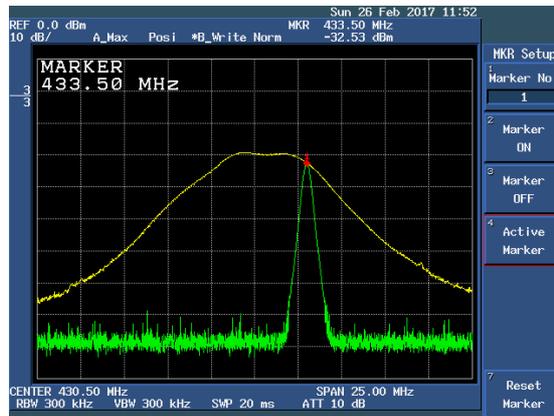
En début de bande 430 Mhz l'atténuation est nulle.



Et en fin de bande l'atténuation est de 35 dB



Limite basse du filtre a -3 dB est à 428.550 Mhz

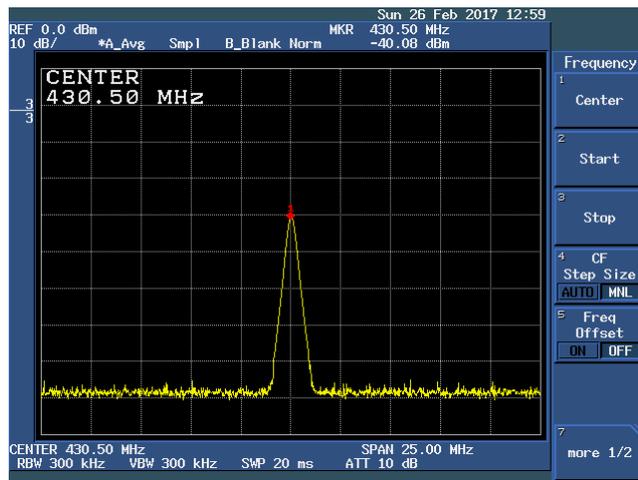


Limite haute du filtre a -3 dB est à 433.500 Mhz.

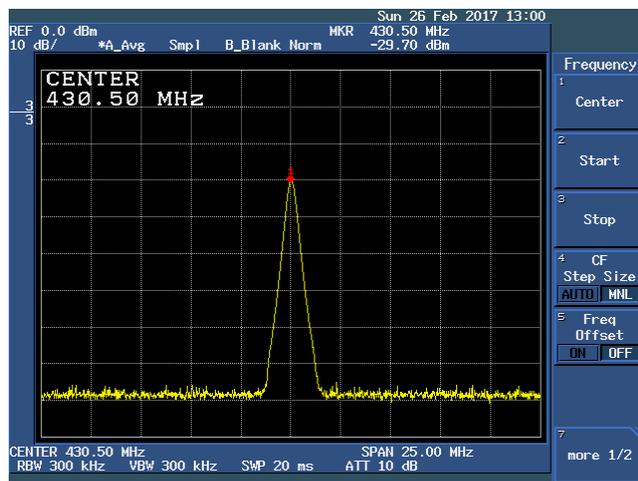
La bande passante est donc d'environ 5 Mhz centrée sur 430.900 Mhz environ.

Note : Les deux traces ont légèrement décalées, c'est normal. En fait, la trace **A** est réalisée en « max-hold », c'est à dire que ce sont les mesures maximum du signal qui sont conservées et affichées. La trace **B** est directe sans aucune mesure moyennée. Le décalage de la trace **A** est donc directement liée à la mesure « max-hold » de l'analyseur.

Mesure du gain du filtre

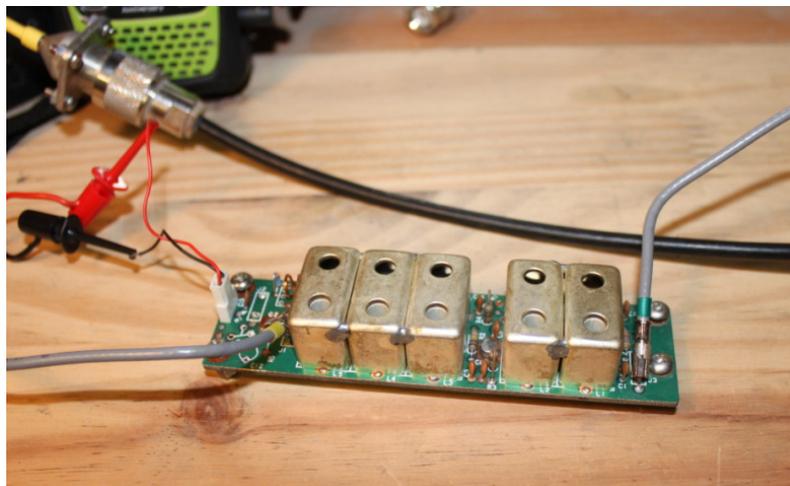


Signal réception de référence a -40 dBm.

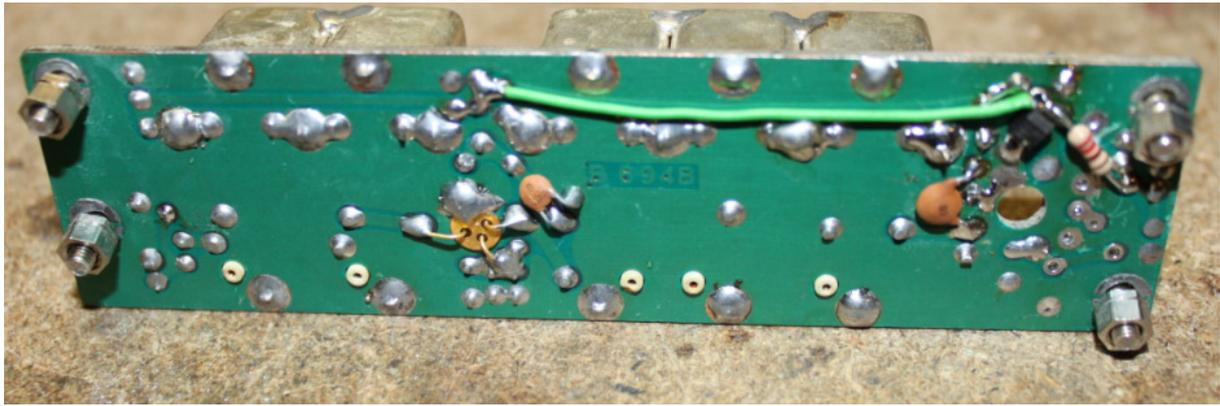


Même signal via le filtre. Gain 10,3 dB

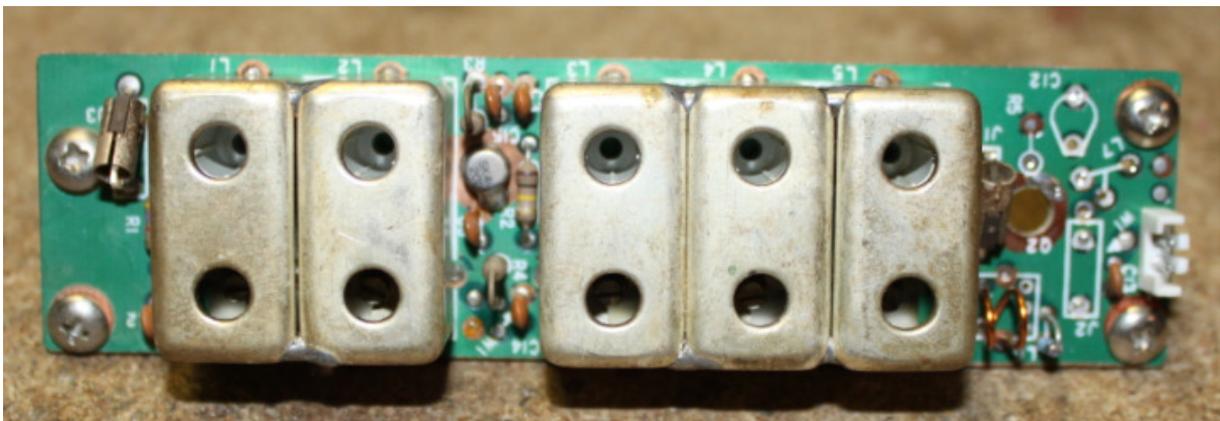
Réalisation / modifications



Filtre en cours de mesure alimenté sous 13,8V

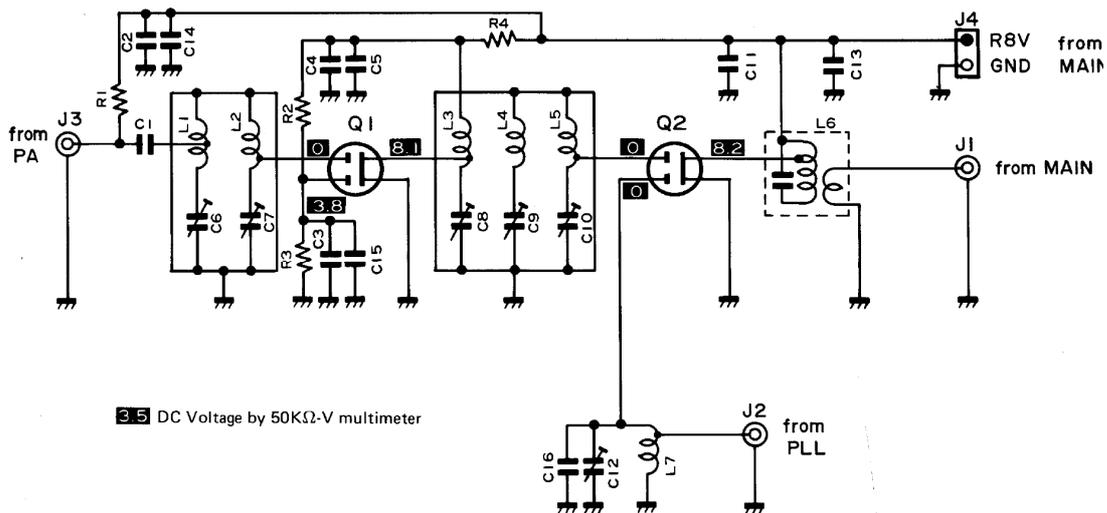


Ajout d'un condensateur de 18 pF pour la liaison avec la sortie RF. La résistance de 220 ohms et la capacité de 47 μ F/16V servent la régulation de la tension par la diode Zener.

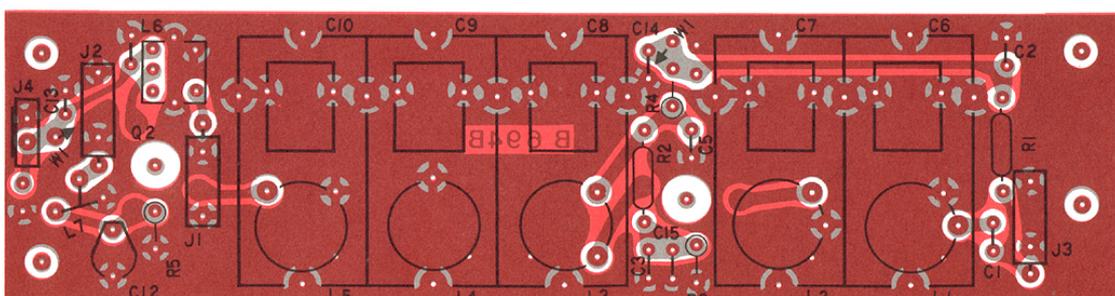


Filtre passe-bande actif près à être mis en « boîte ».

Schéma du filtre d'origine (étage d'entrée de l'IC-435TF)



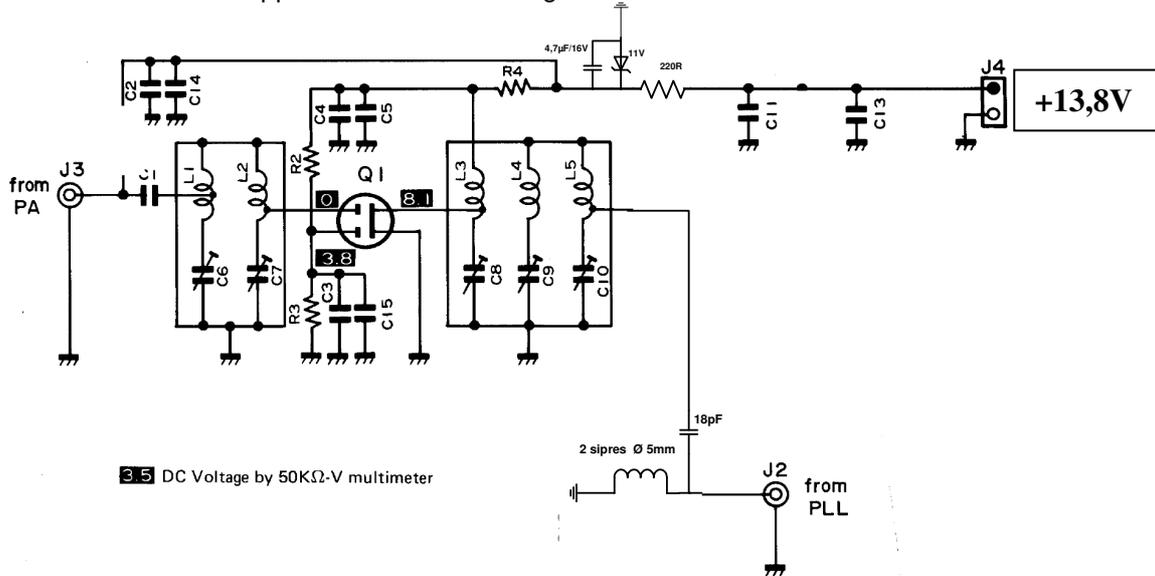
I



Il faut supprimer les composants suivants :

- R1
- Q2
- C16
- C12
- L7
- L6
- J1

Modifications à apporter au schéma d'origine :

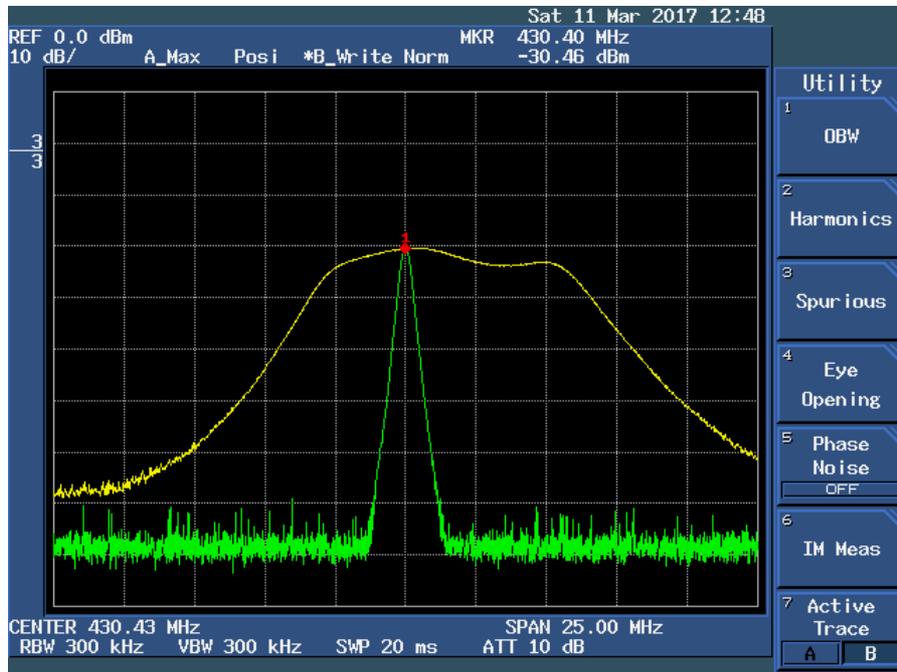


- Ajouter une résistance de 220 ohms en série avec R4 côté arrivée 13,8V (repérée R8V).
- Entre cette résistance de 220 ohms et R4, mettre la Zener de 11V cathode vers le point milieu R4 / 220R et l'anode côté masse.
- Mettre en parallèle sur la Zener un condensateur de 4,7µF/16V.
- Connecter J2 à la sortie de L5 via une capacité céramique de 18 pF.
- Mettre la self : 2 spires Ø de 5mm entre la masse et J2 (fil de cuivre émaillé de Ø 0,8 mm).

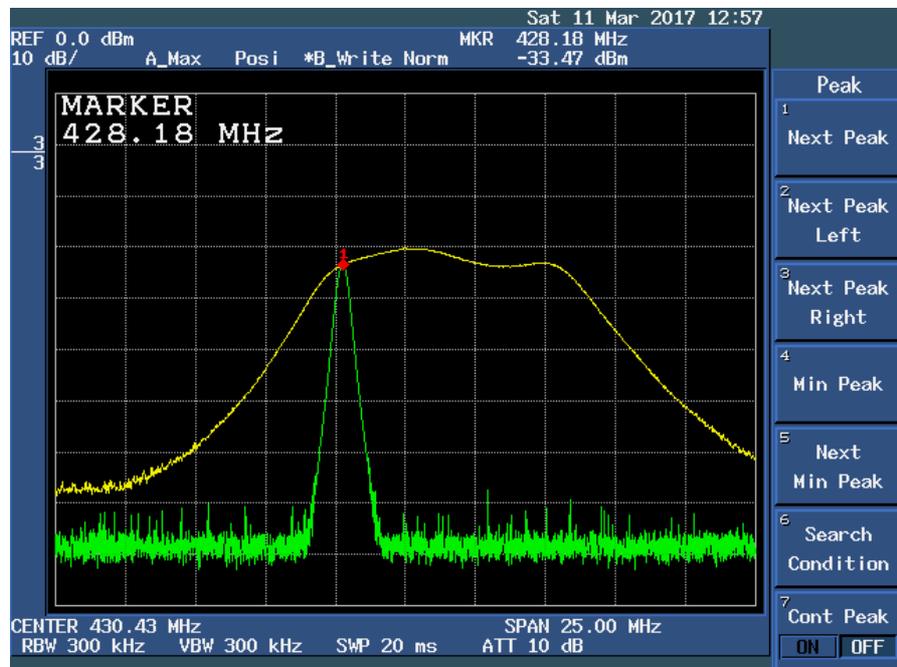


REALISATION D'UN SECOND FILTRE-PREAMPLI

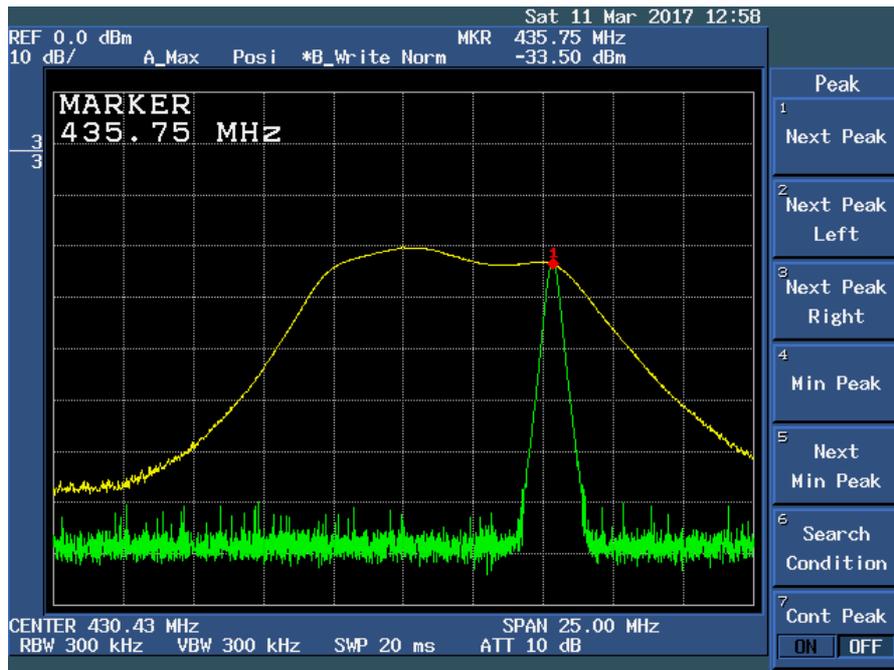
Afin de s'assurer de la reproductivité du montage, j'ai réalisé un second filtre pour le relais **F5ZKL** utilisant le couple 430.400 Mhz en réception et 439.800 Mhz en émission. Le circuit de sortie du filtre a été amélioré de façon à respecter au mieux l'impédance de 50 ohms en sortie. Les mesures ont été réalisées avec le même niveau de référence de -40 dBm et sur la fréquence réception du relais. Le gain obtenu est de 9,5 dB et la bande passante a -3dB est de 7,6 Mhz environ.



Le gain est de 9,5 dB

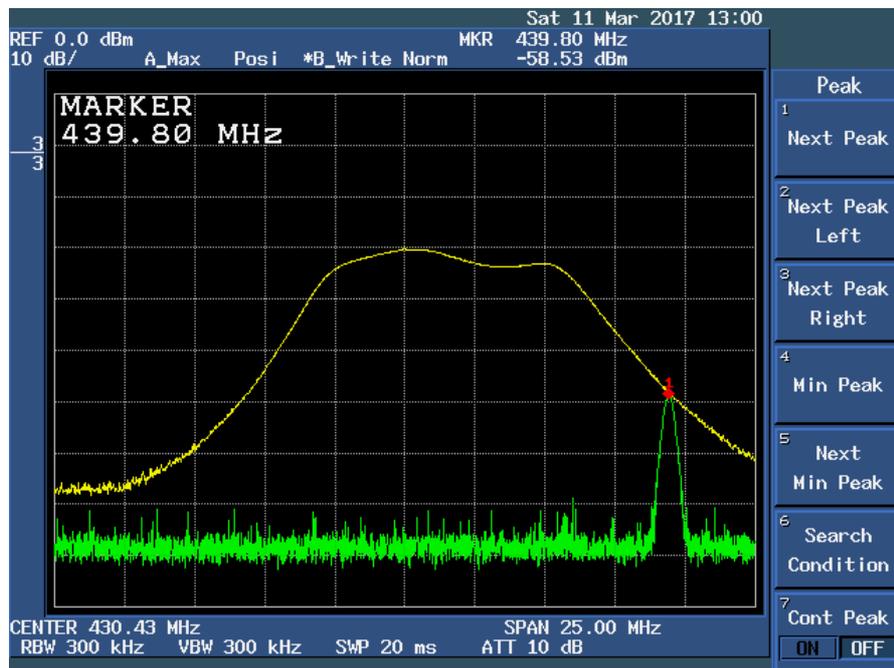


La limite basse du filtre a -3dB : 428,180 Mhz



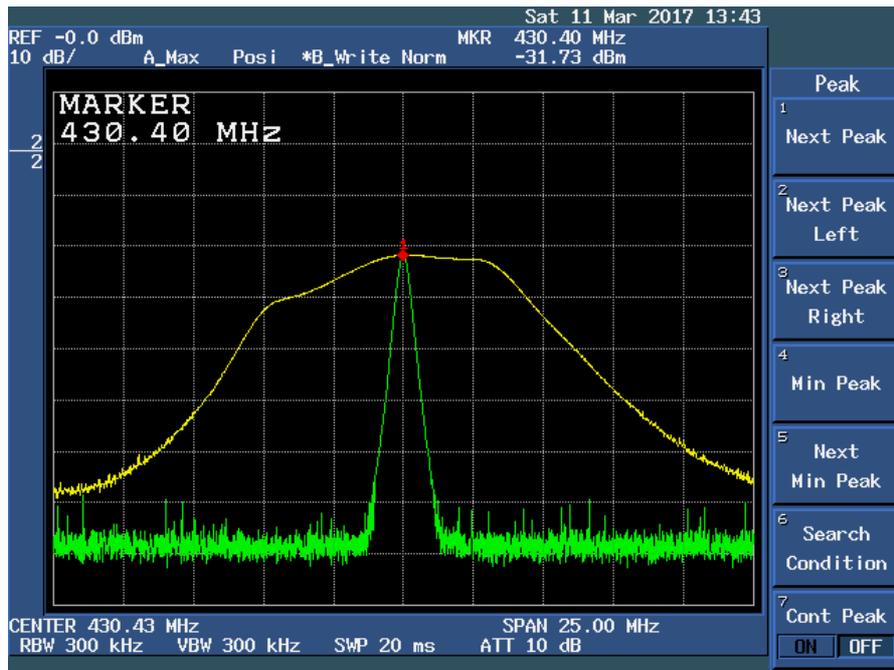
La limite haute du filtre a -3dB : 435,750 Mhz

On peut noter qu'il existe un creux à 433,800 Mhz a -3dB mais pour une mesure réelle, j'ai pris le niveau lors de la pente descendante du filtre. On obtient donc une bande passante de 7,57 Mhz. C'est un peu moins bon que les résultats du premier filtre.



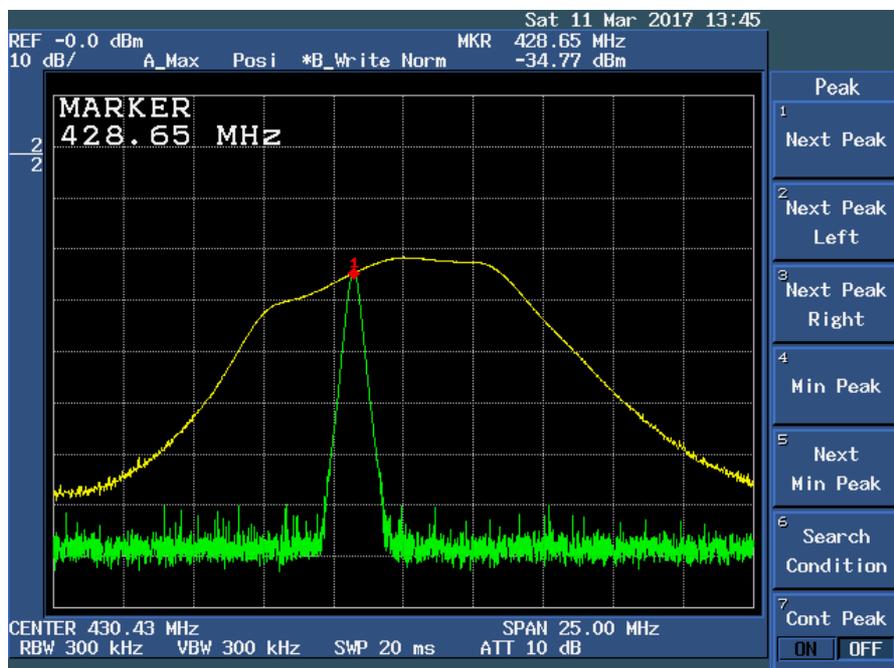
La réjection de la fréquence d'émission est de 28 dB

Ces résultats ne me convenant pas, j'ai repris le réglage du filtre pour essayer d'améliorer la bande passante et avoir une réjection plus importante de la fréquence d'émission.



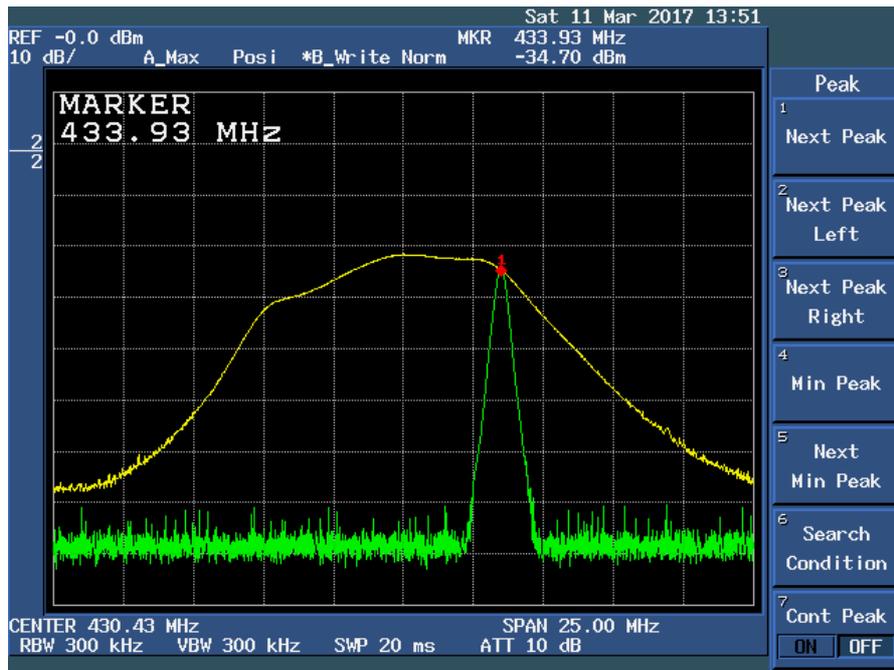
Le gain est de 8,3 dB

Après un réalignement différent, je suis arrivé à décaler le filtre vers le bas de la bande UHF. De ce fait, la pente vers le haut de la bande UHF démarre plutôt. Cela a une conséquence directe sur le gain apporté par le pré ampli. On obtient un gain de 8,3 dB mais la réjection de la fréquence d'émission passe allègrement la barre des 30 dB. Ces valeurs sont tout à fait honorables et un gain de plus de 8 dB suffira largement. Cette différence de 1,2 dB ne posera aucun problème et sera largement compensé par la réjection de la fréquence d'émission.

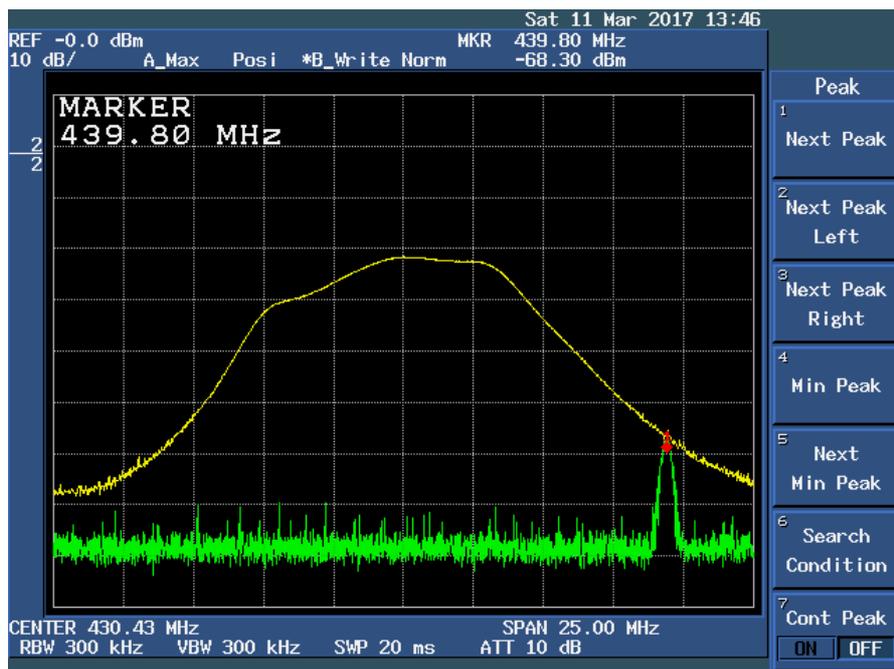


La limite basse du filtre a -3 dB : 428,650 Mhz

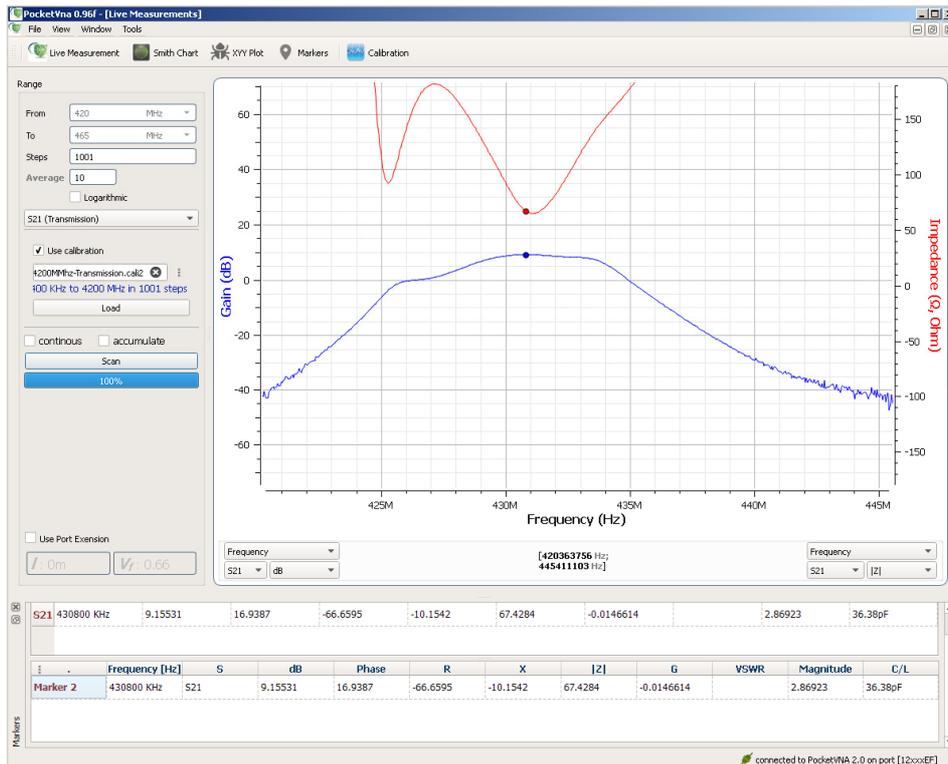
La bande passante mesurée toujours à -3 dB est maintenant de 5,28 Mhz ce qui explique la perte de 1,2 dB pour le gain sur la fréquence de réception.



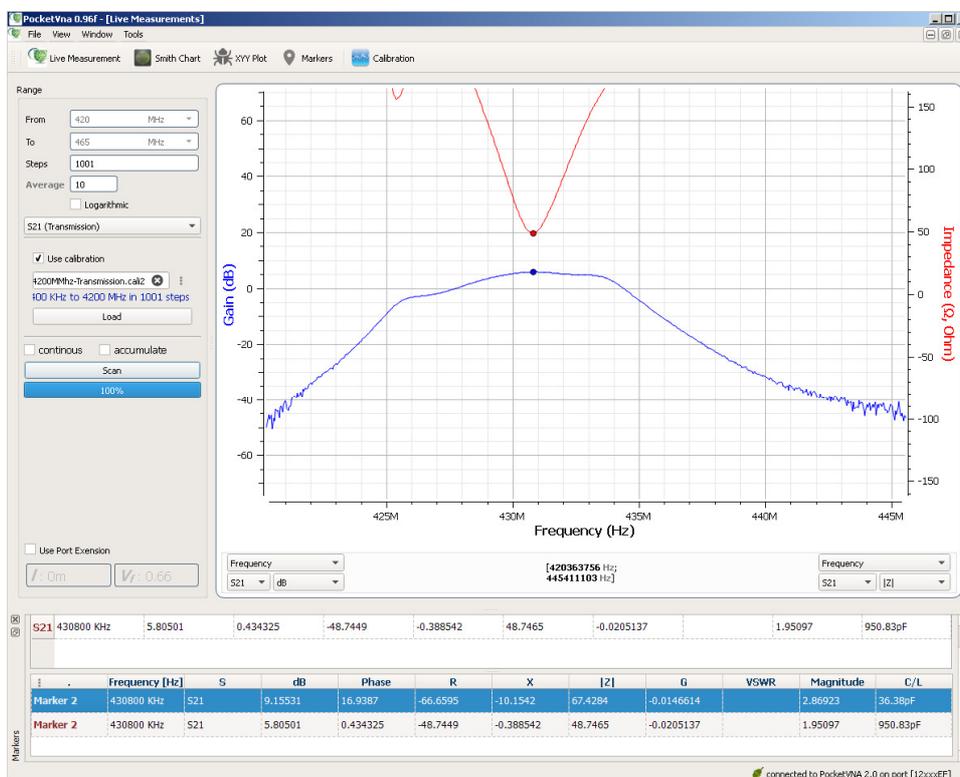
La limite haute du filtre a -3dB : 433,930 Mhz



La réjection de la fréquence d'émission est maintenant de 36,57 dB



On retrouve à peu près les mêmes mesures via l'analyseur vectoriel. Par contre on peut voir que l'entrée du filtre n'est pas tout à fait à 50 ohms. C'est bien une légère désadaptation d'impédance du circuit d'entrée. Si on insère un atténuateur de 3 dB sur l'entrée du filtre on retrouve bien l'impédance de 50 ohms à la fréquence désirée (image suivante).



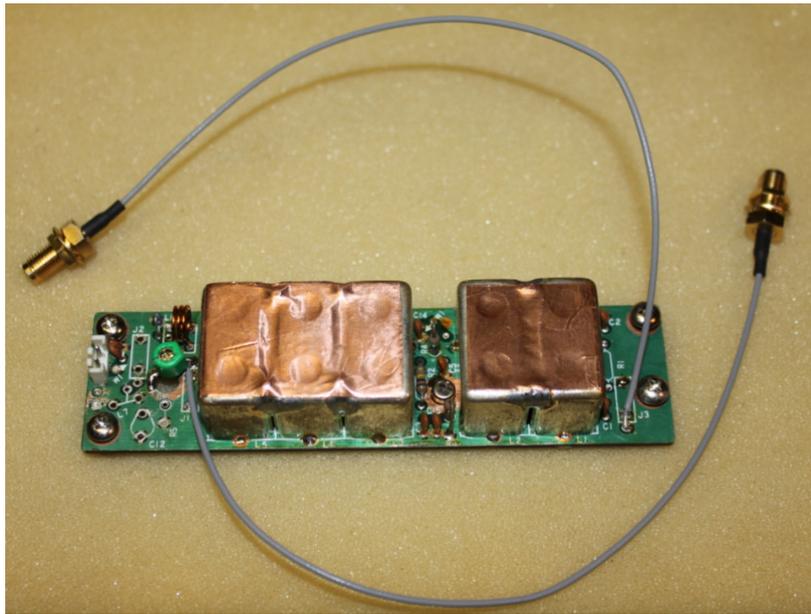
Avec l'atténuateur de 3 dB en série avec l'entrée du filtre, on retrouve bien notre impédance de 50 ohms et une atténuation globale du filtre de 3,3 dB. Cela dit, la désadaptation constatée ne devrait pas poser de problème.

REALISATION DU DEUXIEME FILTRE-PREAMPLI

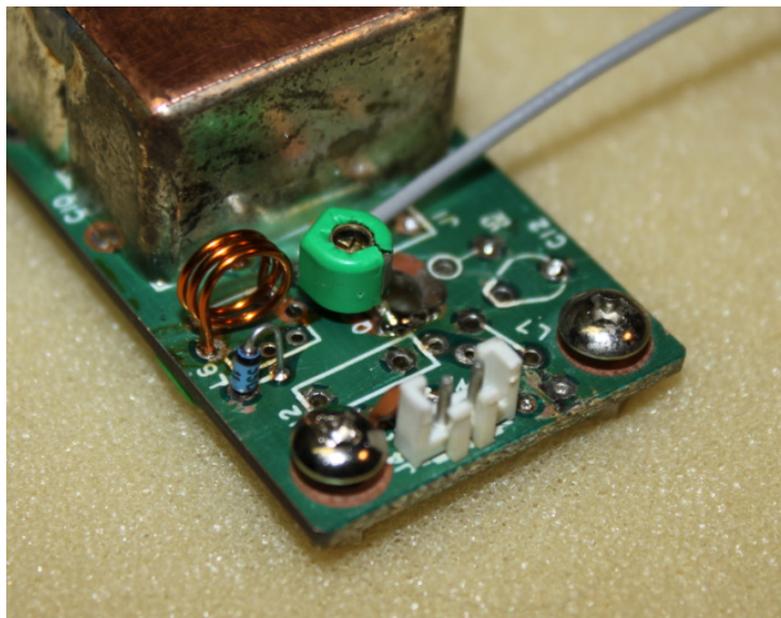
La base de la réalisation utilise aussi l'étage d'entrée d'un **IC-435TF** de récupération. Il a subi les mêmes modifications que le premier mis à part le circuit de sortie qui est légèrement différent. De plus, deux diodes de protections (**1SS97**) ont été ajoutées sur le circuit d'entrée.

La self est passée à 3 spires jointives sans mandrin, bobinées sur un axe de \varnothing 6mm. Une capacité ajustable de 6-30 pF a été ajoutée en parallèle sur cette self. Elle permet d'ajuster l'impédance de sortie du filtre. La self est réalisée avec du fil de cuivre émaillé de \varnothing 0,8 mm.

Les prises coaxiales d'origine ont été remplacées par des câbles terminés par deux socles SMA. Les connecteurs d'origines n'étant pas facile à réutiliser ; se sont des connecteurs spécifiques utilisés par ICOM.



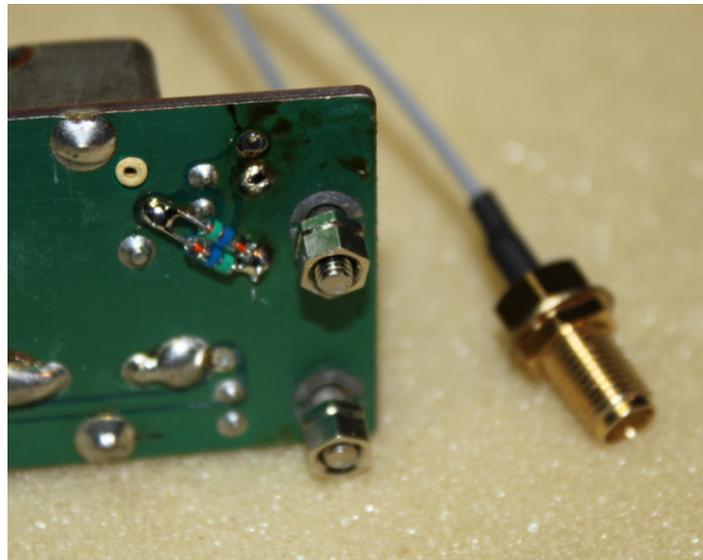
Filtre terminé et réglé. Les accès aux CV des cavités ont été obstrués par un film de cuivre.



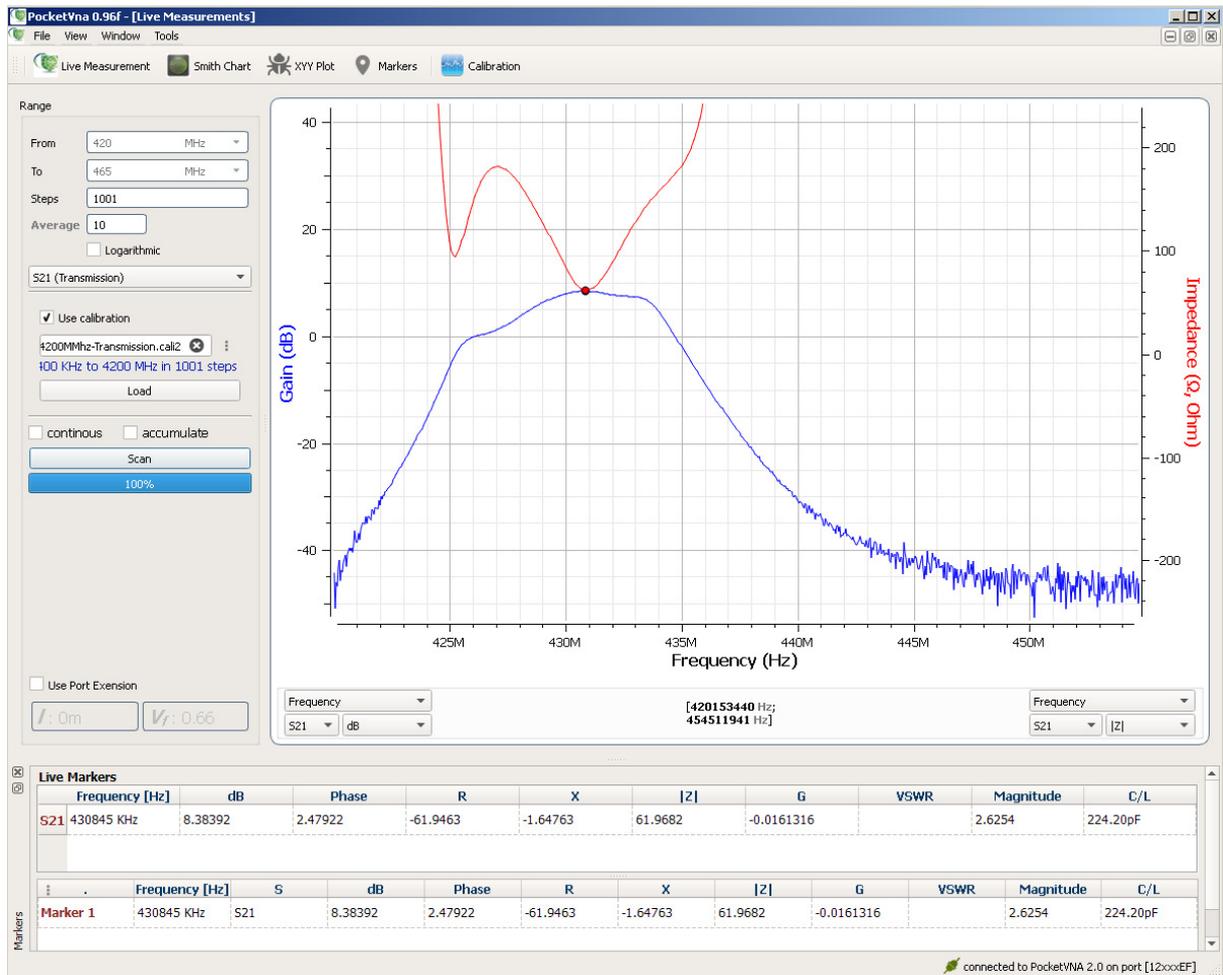
Gros plan sur la diode Zener, la self et le condensateur variable.



Circuit d'alimentation de la Zener et la capacité de liaison.



Diode de protection sur le circuit d'entrée.

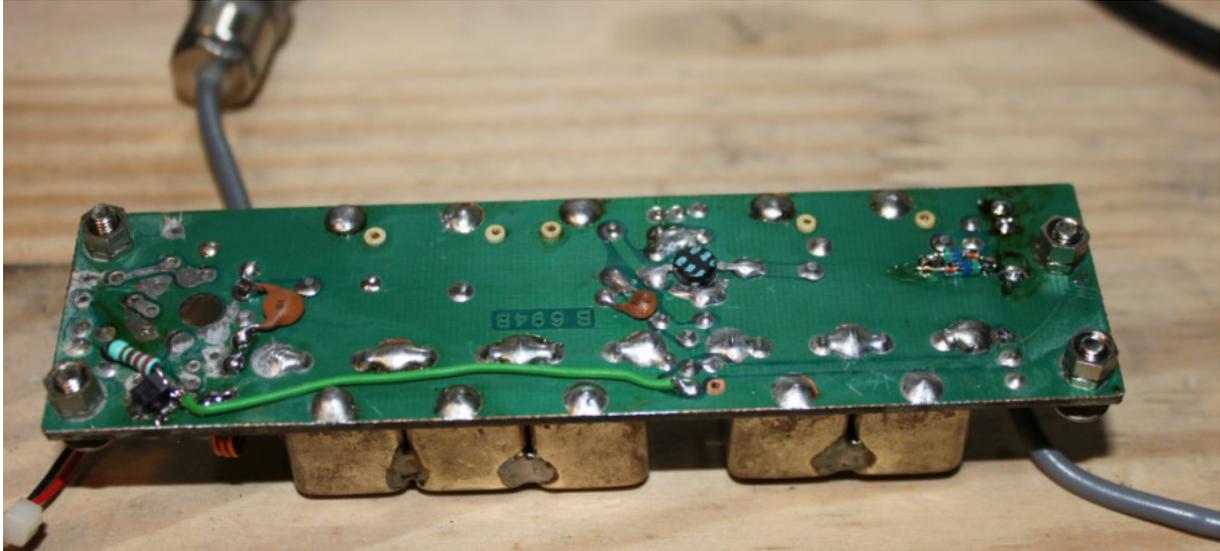


L'image ci-dessus reprend la mesure de la bande passante du filtre pré ampli (courbe bleue) et l'impédance d'entrée du circuit par rapport à la fréquence (courbe rouge). Le marker (point rouge) indique la fréquence d'entrée du filtre. Le niveau est de 8,4 dB pour une impédance de 62 ohms.

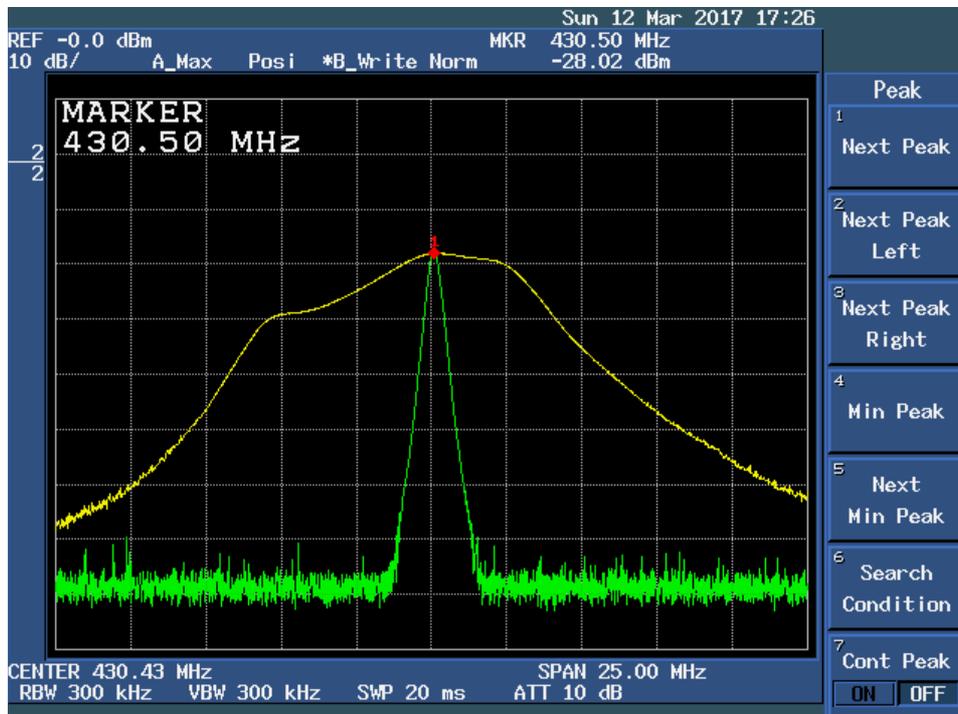
Le réglage du filtre nécessite un peu de matériel si on veut vraiment optimiser les réglages. Le filtre est très « pointu » à régler et sans générateur et un analyseur de spectre ce sera difficile à obtenir un accord aussi parfait. L'utilisation d'un analyseur vectoriel est une bonne solution mais le réglage sera plus long du fait du temps du « scan » de la bande passante.

TROISIEME REALISATION - REMPLACEMENT DU TRANSISTOR

Que donnerai ce filtre avec un transistor un peu plus performant ? Comme j'ai quelques **BF966S** dans mes tiroirs j'ai modifié un troisième filtre avec ce modèle de transistor. Si les résultats sont bons, j'ai prévu de remplacer le premier filtre actuellement utilisé sur le relais **F1ZKO**, premier filtre proto sans circuit d'adaptation d'impédance. Il faut donc refaire toutes les mesures après modifications.



Troisième filtre avec le BF966S à la place du 3SK48 en cours de mesures.

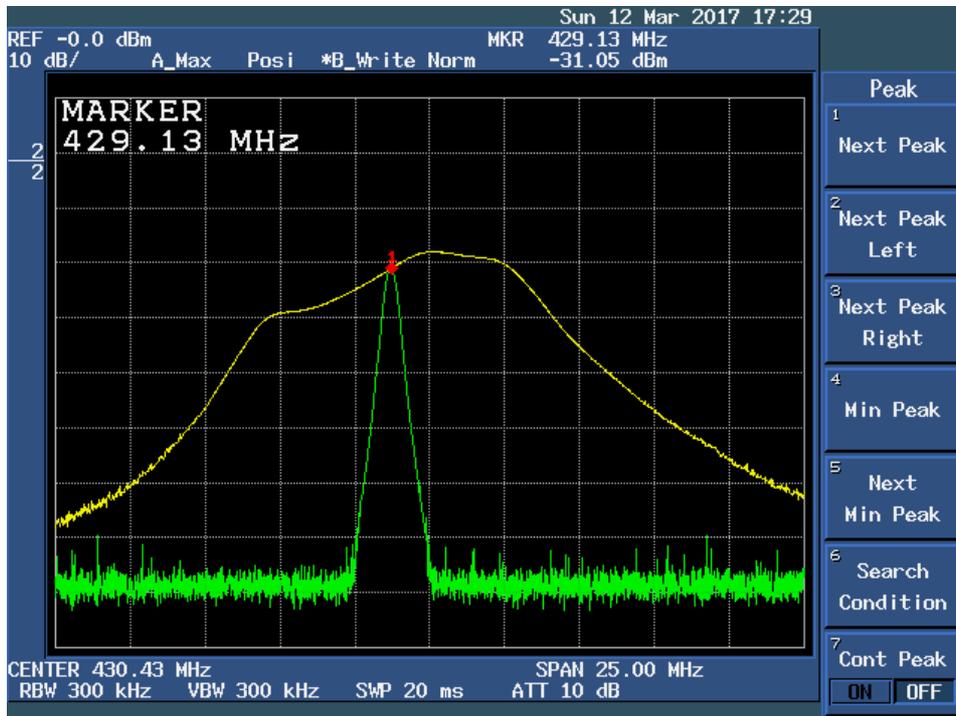


Filtre avec près de 12 dB de gain.

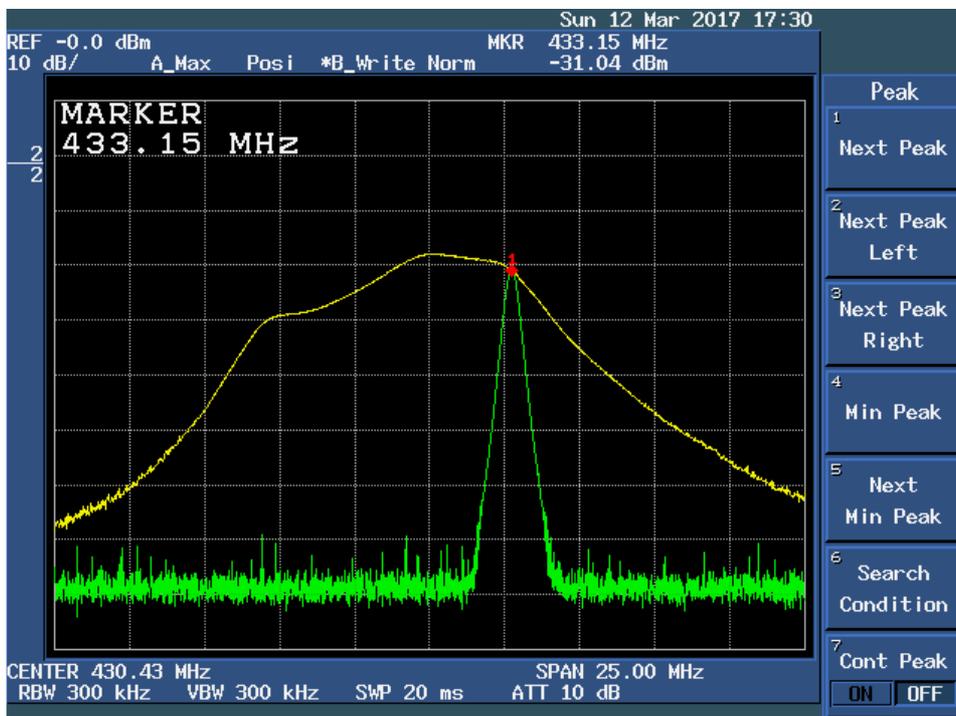
Les premiers essais montrent une petite amélioration du gain avec une bande passante tout à fait convenable. On obtient $-28,02$ dBm pour un signal d'entrée de -40 dBm. Cela donne donc un

gain de 11,98 dB. Le transistor étant alimenté lui aussi sous 11V. Pour rappel cette tension régulé est nécessaire pour conserver un gain constant quelque soit l'alimentation du relais de 12V à 14 V.

La bande passante du filtre est aussi excellente, elle est de 4,02 Mhz ; meilleure que les deux premiers filtres réalisés.

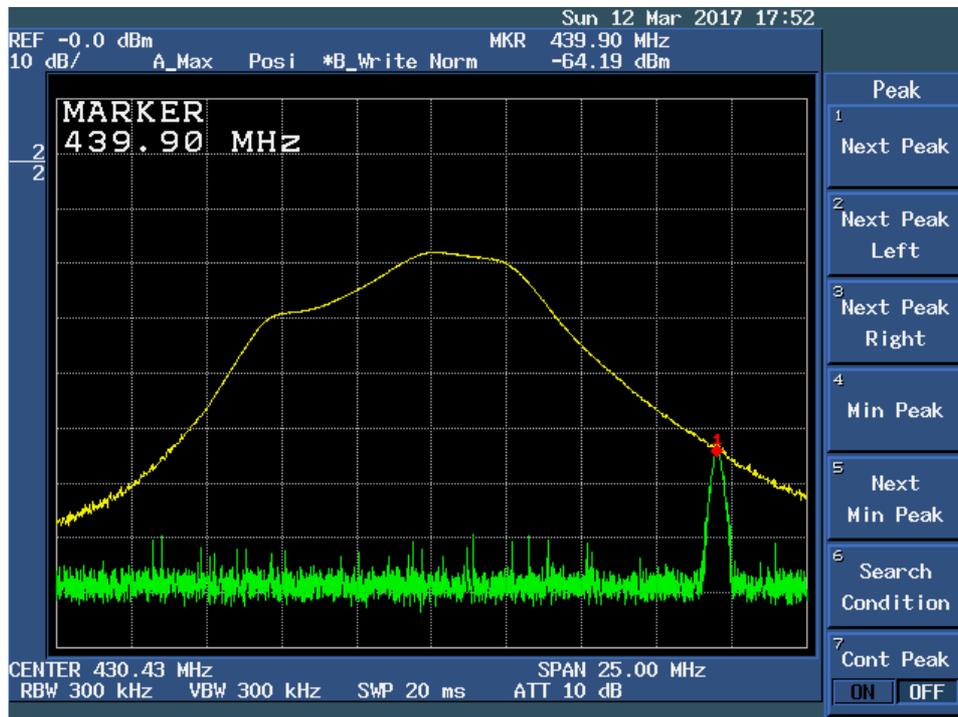


La limite basse du filtre a -3 dB : 429,130 Mhz



La limite haute du filtre a -3dB : 433,150 Mhz

La réjection de la fréquence d'émission est presque identique à celle obtenue avec le deuxième filtre : 36,17 dB d'atténuation. Ce filtre « tient la route » et avec un transistor plus moderne, il apporte un gain plus important et maintient la réjection de la fréquence d'émission supérieure à 30 dB.

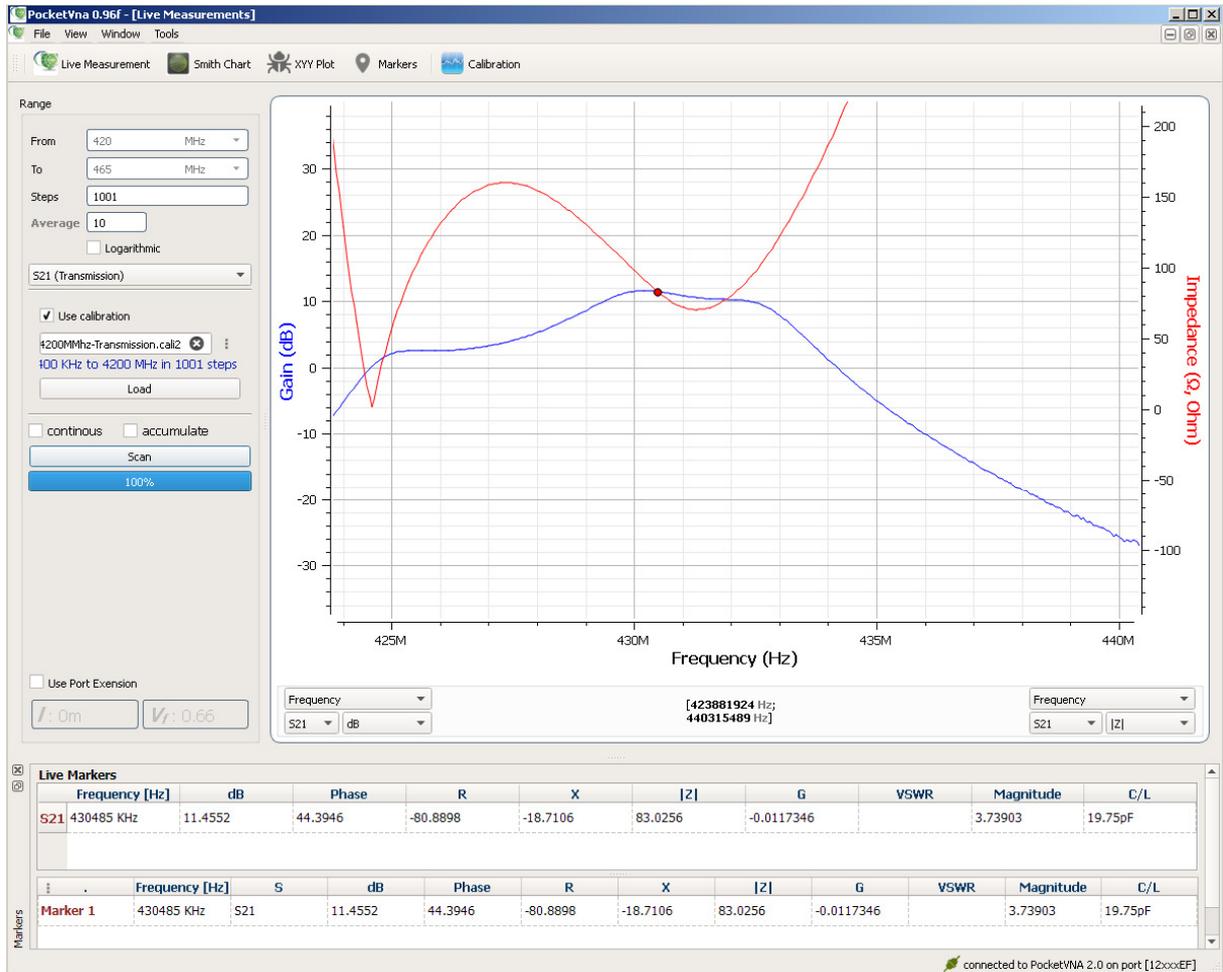


La réjection de la fréquence d'émission est de 36,17 dB

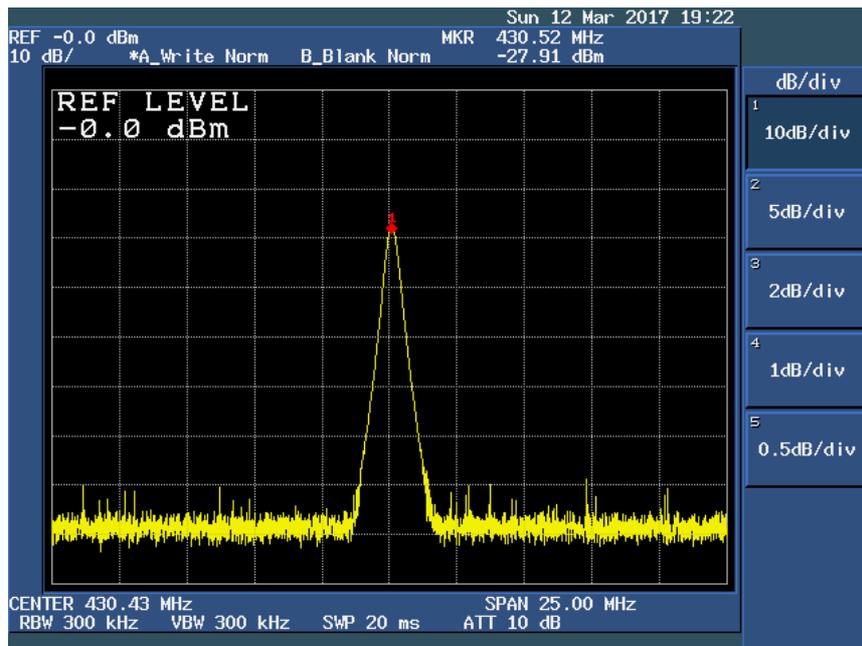
On peut aussi noter que la courbe de réponse de ce filtre est semblable à celle du précédent, mais avec un gain supérieur. Je n'ai pas pu trouver les caractéristiques du 3SK48, transistor trop ancien, mais celle du BF966S sont disponibles :

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Forward transadmittance		$ y_{21s} $	15	18.5		mS
Gate 1 input capacitance		C_{issg1}		2.2	2.6	pF
Gate 2 input capacitance	$V_{G1S} = 0, V_{G2S} = 4 V$	C_{issg2}		1.1		pF
Feedback capacitance		C_{rss}		25	35	fF
Output capacitance		C_{oss}		0.8	1.2	pF
Power gain	$G_S = 2 mS, G_L = 0.5 mS, f = 200 MHz$	G_{ps}		25		dB
	$G_S = 3,3 mS, G_L = 1 mS, f = 800 MHz$	G_{ps}		18		dB
AGC range	$V_{G2S} = 4 \text{ to } -2 V, f = 800 MHz$	ΔG_{ps}	40			dB
Noise figure	$G_S = 2 mS, G_L = 0.5 mS, f = 200 MHz$	F		1.0		dB
	$G_S = 3,3 mS, G_L = 1 mS, f = 800 MHz$	F		1.8		dB

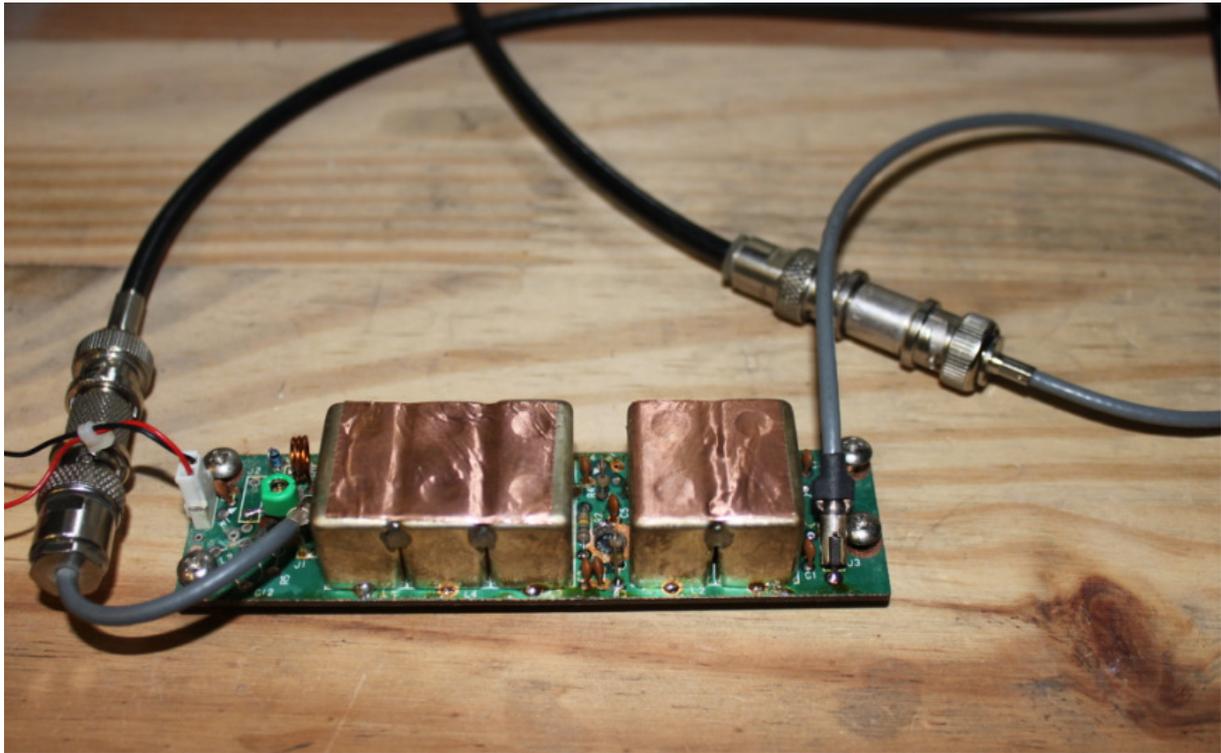
Extrait du datasheet du transistor BF966S



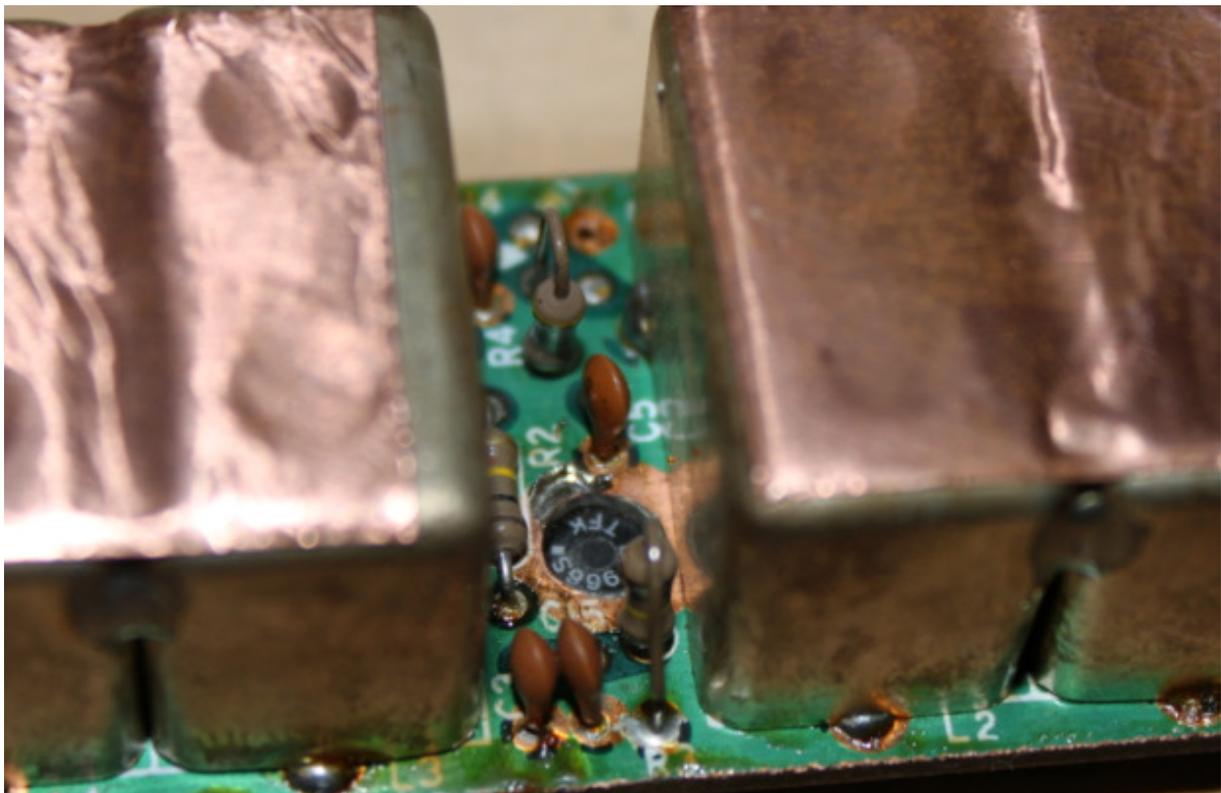
On retrouve la même courbe que le deuxième filtre avec une désadaptation légèrement supérieure du circuit d'entrée. En fait, il faudrait ouvrir le premier filtre et modifier la connexion de la capacité C1 sur la première spire. Peut être la prochaine fois...



Mesure du signal à travers le filtre ; Le gain est de 12,09 dB après une légère retouche du circuit de sortie.



Filtre une fois terminé, réglé et protégé.



C'est bien un BF966S.

Il est important de garder en mémoire qu'un préampli apporte du gain mais fragilise aussi la réception lorsqu'on est proche de la fréquence de réception utilisée. Il faut donc faire attention à conserver un gain raisonnable, généralement inférieur ou égal à 10 dB et s'assurer que le relais qui

sera équipé de ce montage ne sera pas perturbé par des émissions proches de la fréquence de réception. Dans le cas contraire il sera peut être nécessaire de brider le gain en utilisant un atténuateur ou au pire, de ne pas utiliser de préampli. Pour limiter le gain, on ne doit jamais utiliser l'alignement du réglage du préampli, c'est-à-dire le dérégler ; on doit utiliser un atténuateur en sortie du préampli. Il est déconseillé d'utiliser cet atténuateur en entrée du préampli, cela dégrade le facteur de bruit du transistor ; ce n'est pas la bonne solution.

Ce préampli utilise un circuit accordé très sélectif, il permet donc une utilisation assez standard sur des sites ayant déjà des équipements UHF. Il faut juste s'assurer que ces équipements soient bien hors de la bande passante du préampli.

MISE EN BOITE DU PREAMPLI POUR LE RELAIS F5ZKL (STARKITY)

Pour les bien faire les choses, il a été décidé de mettre le préampli en boite avec, en plus, le système de commutation de puissance d'émission du relais. En effet, ce dernier peut être utilisé avec trois puissances différentes :

- 5 W
- 10 W
- 20 W

On peut attribuer des entrées sur la SUBD-25 du STARKITY pour commuter des configurations différentes du relais. On a programmé quatre configurations, c'est-à-dire quatre canaux avec le même couple de fréquences mais avec des puissances différentes :

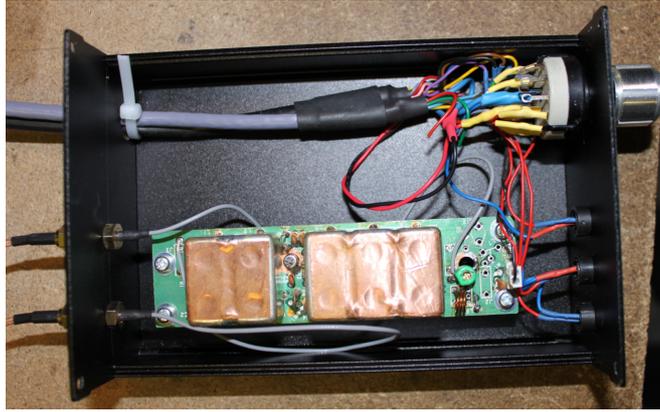
- 1^{er} Canal – Emission désactivée
- 2^{ème} Canal – Emission à 5 W
- 3^{ème} Canal – Emission à 10 W
- 4^{ème} Canal – Emission à 20 W

Quatre entrées ont donc été associées à ces quatre canaux et un simple commutateur rotatif 2 circuits 4 positions et trois LEDs suffisent pour sélectionner la puissance d'émission.

- LEDs éteintes : Emission de relais désactivée
- LED Verte : 5 W
- LED Orange : 10 W
- LED Rouge : 20 W



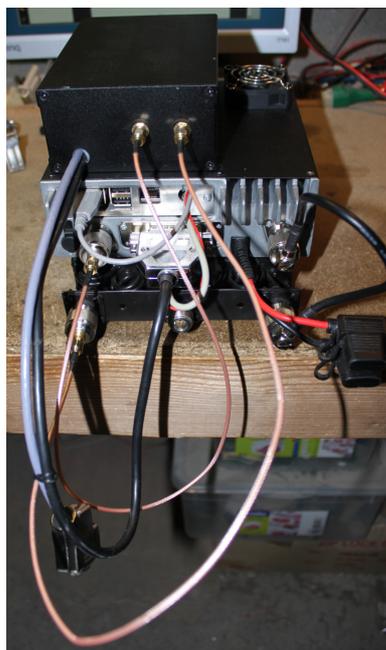
Mise en place du Préampli avec l'entrée/sortie sur SMA



Mise en place du commutateur, de la face avant et de la face arrière.



Face avant du relais STARKITY complet avec le boîtier préampli



Câblage arrière du relais STARKITY

AMELIORATION DU RELAIS DE MURET – F1ZKO

Le troisième filtre avec le **BF966S** va être utilisé sur le relais du Muret en remplacement de la première version de ce filtre-préampli. De plus, lors des dernières mesures effectuées sur cet équipement, il s'est avéré que le duplexeur avait une perte d'insertion élevée dans la branche émission. Son remplacement était donc nécessaire.

Ce relais est réalisé avec les équipements **DSTAR Icom**, c'est-à-dire un contrôleur **ID-RP2C** et le module **UHF ID-RP4000V**.



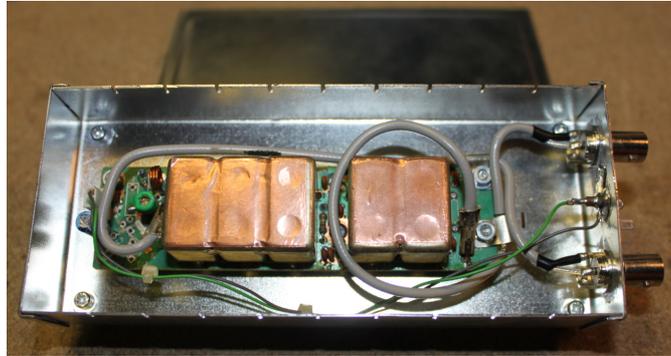
Relais F1ZKO en fonctionnement sur son site provisoire



Relais avec le filtre-préampli et l'ancien duplexeur

MISE EN BOITE DU PREAMPLI POUR LE RELAIS **F1ZKO**

La « mise en boîte » du préampli pour ce relais était nécessaire afin de le protéger au maximum de toutes perturbations extérieures. L'utilisation d'un boîtier « Teko » prévu pour les montages HF convient parfaitement. La récupération de deux câbles terminés par une BNC et équipés de du connecteur coaxial spécifique ICOM a simplifié cette opération.



Le préampli est alimenté au travers d'un « bypass » de 1 nF et d'une connexion directe sur la masse du boîtier.



Préampli prêt pour l'installation dans le « rack » du relais **F1ZKO.**

Une fois le préampli mis « en boîte », il a été légèrement réaligné avec le nouveau duplexeur dédié au relais **F1ZKO**. Le gain mesuré après réglage était de +13,8 dB.

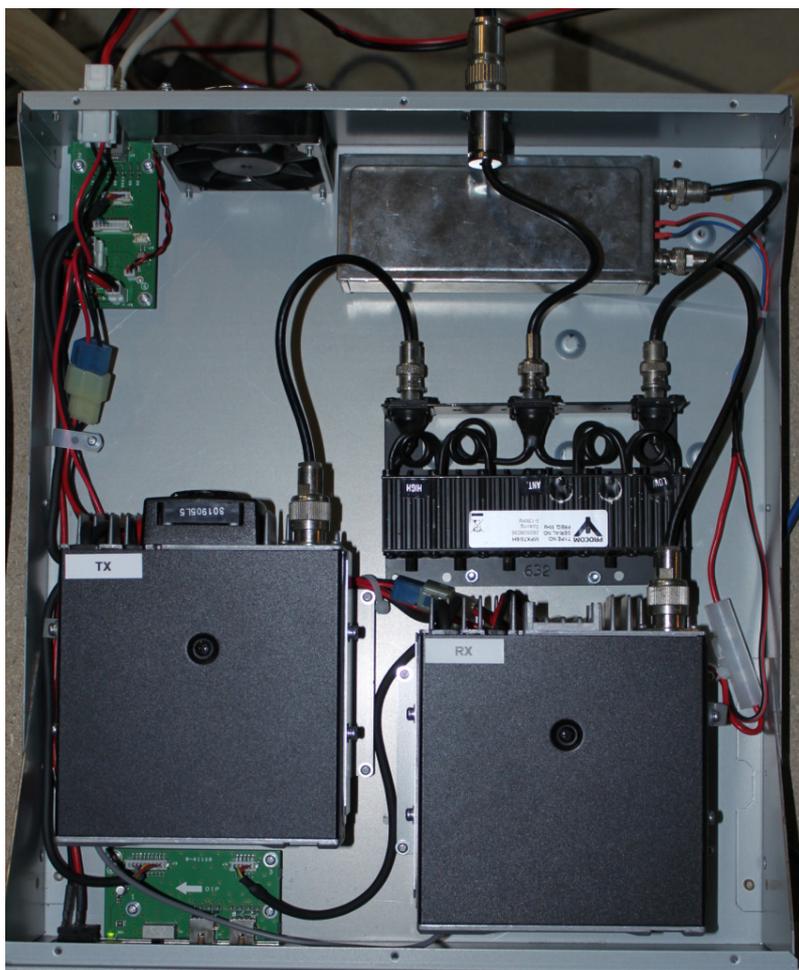
REPLACEMENT DU SYSTEME DE COUPLAGE DU RELAIS F1ZKO

La première chose à faire avant le remplacement du duplexeur et du préampli était de mesurer le système de couplage existant. Mesurer les pertes d'insertion ou du gain existant nous permettrait de connaître exactement les performances apportées par le nouveau duplexeur et le remplacement du préampli.

Bien entendu, ces mesures ont été effectuées avec les câbles existants à l'aide du générateur et l'analyseur de spectre calibré à -40 dBm (prise en compte et compensation, bien évidemment, des pertes apportées par les câble de mesures).

Les résultats des mesures sont les suivants :

- Branche RX : gain de +8,95 dB.
- Branche TX : -1,9 dB de perte d'insertion.



Mise en place du nouveau duplexeur et du filtre préampli.

Une fois le matériel en place, les mêmes mesures ont été refaites toujours à -40 dBm. Les câbles de raccordement ont été remplacés afin d'être mieux adaptés au nouveau matériel.

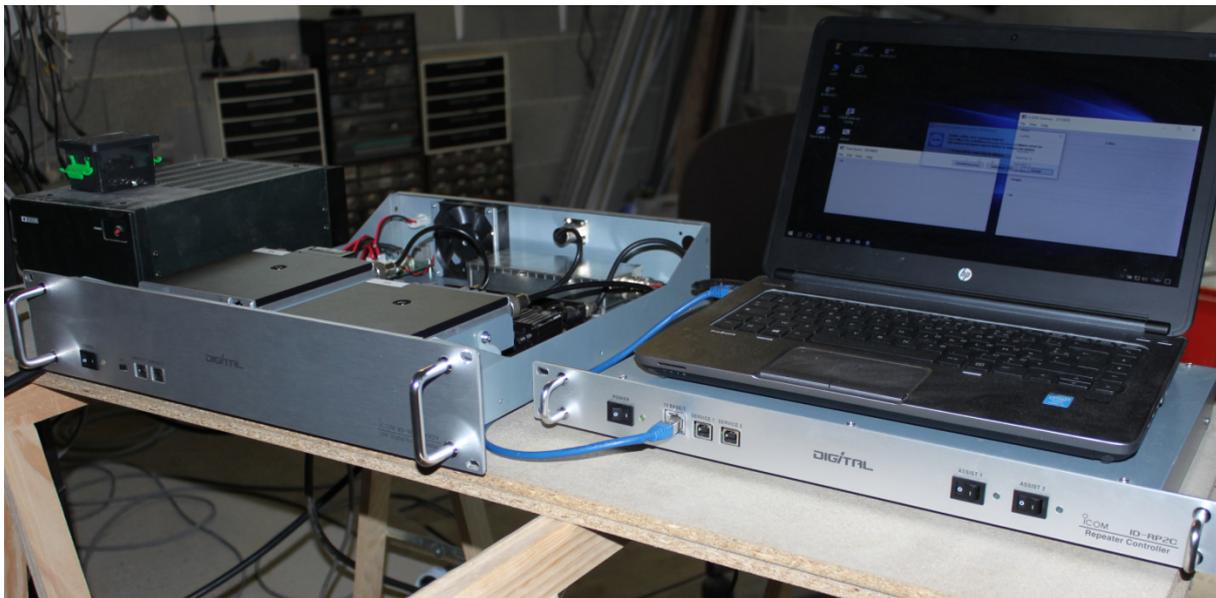
- Branche RX : gain de +12,16 dB.
- Branche TX : -1.52 dB de perte d'insertion.

Les mesures qui avaient été effectuées sur les éléments séparés, duplexeur et préampli, donnaient un gain légèrement supérieur pour le préampli et une perte d'insertion légèrement plus faible pour le duplexeur dans la branche TX. Les écarts mesurés sont principalement dû à la perte

d'insertion du duplexeur, branche TX et RX, et aux câbles coaxiaux de raccordement. En UHF, les pertes sont vite importantes suivant les longueurs et le type de câble utilisé.

Le système de couplage apporte donc une perte de -1,64 dB dans la branche réception et une perte de -1,52 dB pour la partie TX. Malgré cela, les caractéristiques du relais restent tout à fait honorables, on obtient donc un gain de 0,38 dB pour la partie émission et + 3,21 dB pour la partie réception par rapport à l'installation précédente.

Le relais étant réglé (et mesuré) pour une puissance de 25W, on obtient une puissance de sortie (mesurée) de 18W ce qui correspond effectivement à la perte d'insertion de -1,52 dB alors que précédemment nous avions une puissance (mesurée) de 16W ; perte d'insertion avoisinant les 2 dB. Effectivement, 2 W de plus restent négligeables mais pour la réception, 3 dB de plus c'est quand même pas mal. Cela dit, une période d'essais reste obligatoire afin de voir si le gain en réception ne fait pas apparaître des phénomènes d'intermodulation par exemple. Actuellement le site provisoire de **F1ZKO** est « assez propre » pour la bande UHF mais peut être qu'il sera nécessaire d'insérer un atténuateur de 3 dB si besoin est.



Relais F1ZKO en test sur banc de mesure pour les essais de désensibilisation par sa propre émission.

Une fois ces mesures effectuées, il a été nécessaire de tester la désensibilisation de la réception du relais par sa propre émission ; cela afin de vérifier le comportement du filtre du préampli. Aucune désensibilisation n'a été constatée même pour des signaux très faibles avoisinant les -120 dBm. Le système de couplage reste donc très performant pour ce relais ; il ne reste plus qu'à installer ce relais sur son site définitif.

Merci à Gilles, **F5UFI** et à Arnaud, **F1PVR** pour leurs implications dans ces projets de relais DSTAR et de l'aide qu'ils m'ont apporté pour mener à bien ces réalisations techniques.

F5FDR