

Préamplificateur 400 MHz pour la bande des radiosondes

F5RCT Jean-Matthieu STRICKER

Mars 2011

L'activité de recherche de radiosondes intéresse de plus en plus de radio amateurs et de SWL. Dans le cadre de cette activité, se munir d'un préamplificateur offre d'avantage de sensibilité pour décoder les dernières coordonnées de la sonde au moment de sa chute au sol. L'usage de transceivers commerciaux comprenant la réception de la bande 400 MHz ou de récepteurs à couverture générale sont bien pratiques, malgré une sensibilité parfois médiocre. Ce préamplificateur sans réglage décrit ci-après est spécialement conçu pour les récepteurs « passoires » ; il comporte des réjecteurs des bandes FM et 145 MHz. La rejection de la bande 144 MHz protège le préamplificateur du champ important d'un émetteur à proximité (lors de recherche en usage mobile par exemple). A titre d'exemple ce préamplificateur, avec son facteur de bruit de 1,5 dB, améliore la sensibilité de 6 à 7 dB d'un récepteur scanner type MVT7100 de Yupiteru, sans apporter d'intermodulation.

Pour cette application, nous ne recherchons pas un excellent facteur de bruit comme on pourrait le faire avec un transistor AsGa. L'usage d'un transistor bipolaire donne un compromis intéressant pour le facteur de bruit, tout en ayant un courant de fonctionnement de 10 mA sous 4 V. L'adaptation de ce type de transistor peut aisément se faire en large bande, et ceci sans réglage ; ce qui n'est pas le cas des transistors AsGa. En fait, c'est un préamplificateur simple à réaliser qui fonctionnera dès la dernière soudure.

Trouver un bon transistor faible bruit comporte quelques difficultés. On trouve encore facilement des BFR93A, qui très utilisés à l'époque du *RADIOCOM 2000*, donnent un facteur de bruit de l'ordre de 2 à 2,5 dB. Mais les fabricants ont développé différentes générations de transistors après le BFR93A. On se retrouve aujourd'hui avec des fréquences de transition de plus de 10 GHz, avec un courant collecteur de l'ordre de 1 mA sous 2 à 3 V de tension collecteur émetteur. Ces transistors sont difficilement applicables à 400 MHz car ils ne sont pas caractérisés en facteur de bruit et sont souvent instables par l'excès de gain en UHF. A faible courant collecteur, le point de compression et le point d'interception du 3^e ordre sont très médiocres.

Il faut s'orienter vers de générations moins récentes, développées vers 1995. Le critère de recherche fut un faible facteur de bruit à courant collecteur supérieur à 5 mA, ceci pour une tension V_{CE} de l'ordre de 3 à 5 V. Notre choix s'est orienté vers le BFG540 ou BFG540W (boitier plus petit) que l'on trouve chez Franco Rota [1] ou Reichelt [2]. Ce transistor est caractérisé à 400 MHz pour différentes valeurs de courant et de tension. Son point de fonctionnement à 10 mA et 4 V donne un compromis intéressant pour le point de compression avec un facteur de bruit théorique de 1,2 dB, figure 1.

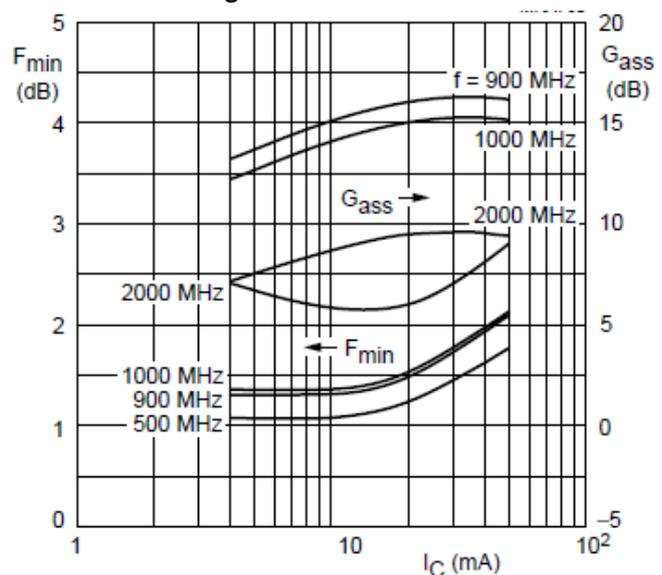
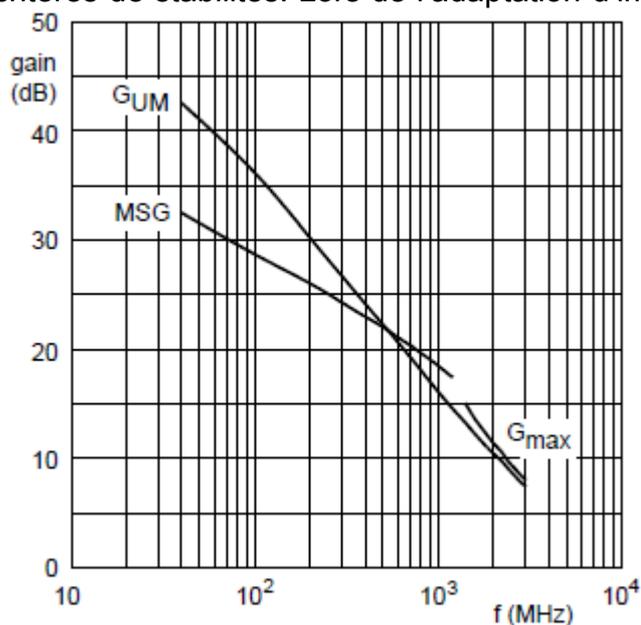


Figure 1 : Facteur de bruit et gain du BFG540 en fonction du courant collecteur

La conception d'un préamplificateur, ou LNA (low noise amplifier), est grandement facilitée par un travail préalable avec un outil de simulation [3]. Avant de se lancer dans la première simulation, ne perdons pas de vue que les pertes au niveau du circuit d'adaptation d'entrée du transistor dégraderont le facteur de bruit. Gardons à l'esprit que les capacités céramiques ont beaucoup moins de pertes en HF que les inductances. Pour un étage HF à basse impédance d'entrée, il convient mieux de choisir un circuit d'adaptation type passe-haut ; c'est-à-dire comprenant une capacité plutôt qu'une inductance entre l'entrée et la base du transistor. Adapter un transistor avec un circuit résonant LC est possible, mais les pertes seront supérieures et l'impédance à présenter pour le minimum de facteur de bruit sera moins bien maîtrisée.

Il arrive aussi, et les anciens le diront, qu'un préamplificateur se transforme vite en oscillateur sous l'effet de paramètres non maîtrisés ! « Si tu fais un préamplificateur : il sera un bon oscillateur, alors fais un oscillateur et tu verras qu'il n'oscillera pas ! ». La simulation montre les critères de stabilité. Lors de l'adaptation d'impédance par simulation, des contours calculés en



fonction du transistor délimitent des frontières d'impédances qu'il ne faut pas approcher au détriment de l'instabilité. L'adaptation large bande non résonante en entrée et en sortie a l'avantage d'apporter plus de stabilité.

Le gain disponible d'un transistor ayant 9 GHz de fréquence de transition avoisine les 25 dB à 400 MHz. Trop de gain est aussi une cause d'instabilité. Ainsi plus le transistor est utilisé bas en fréquence, plus il faudra le stabiliser en gain. **La figure 2** montre le MSG (maximum stable gain) et le GUM (maximum unilatéral power gain). Il convient de travailler le circuit de sortie pour réduire le gain à moins de 20 dB. Après quelques essais, un gain de 13 dB au minimum suffit pour dominer les 6 à 7 dB de facteur de bruit d'un récepteur médiocre.

Figure 2 : Gains du BFG540 en fonction de la fréquence.

Revenons à la simulation (**figure 3**) et au schéma (**figure 4**) du préamplificateur. L'adaptation du transistor à l'entrée au minimum de facteur de bruit dépend des éléments C1 et L1. En sortie, L2 et C3 déterminent le gain. La piste inductive dans l'émetteur a été introduite pour stabiliser le transistor aux fréquences supérieures à 500 MHz, et réduire le gain à une valeur convenable. Le couple L5 et C7 forme un filtre passe bande très grossier pour atténuer les fréquences en dessous de 150 MHz, et au dessus de 500 MHz, (bande GSM) ; la perte apportée en entrée n'est que de 0,2 dB. La mise à la masse de l'entrée par L5 protège le préamplificateur des décharges électrostatiques. La self L3 associée à C1 résonne à 145 MHz pour apporter 40 dB de rejection sur la bande 2 m. Le même procédé est apporté en sortie par L4 et C3, toujours pour rejeter la bande 2 m. Ces réjecteurs protègent le préamplificateur d'une émission à proximité. La capacité C4 et la self L2 forment quant à elles un réjecteur centré dans la bande FM pour réduire les intermodulations sur les récepteurs large bande. Les résultats de simulation sont relativement optimistes, le facteur de bruit est de 1,14 dB pour un gain de 17 dB. En réalité, le facteur de bruit passe à 1,5 dB pour un gain de 15 dB. Car les paramètres de bruit du modèle du transistor sont extrapolés par le simulateur.

Le transistor est relativement tolérant par rapport à son point de polarisation. La résistance R1 détermine le courant de base pour 10 mA et 4 V au collecteur. La résistance R2 est déterminée pour 7,3 V de tension d'alimentation sur JP1. Ainsi avec une résistance de 100 Ohms, ou bien

une LED rouge en série dans l'alimentation, il est possible de le connecter à une petite pile 9 V. Pour l'alimenter en 12 V, il convient d'ajouter en série sur JP1, une résistance de 470 Ohms, ou bien une résistance de 270 Ohms avec une LED verte en série. Pour télé-alimenter ce préamplificateur, il suffit de déplacer R2 en la mettant en parallèle sur C6 et d'utiliser les configurations précédentes que l'on mettra dans un T de polarisation.

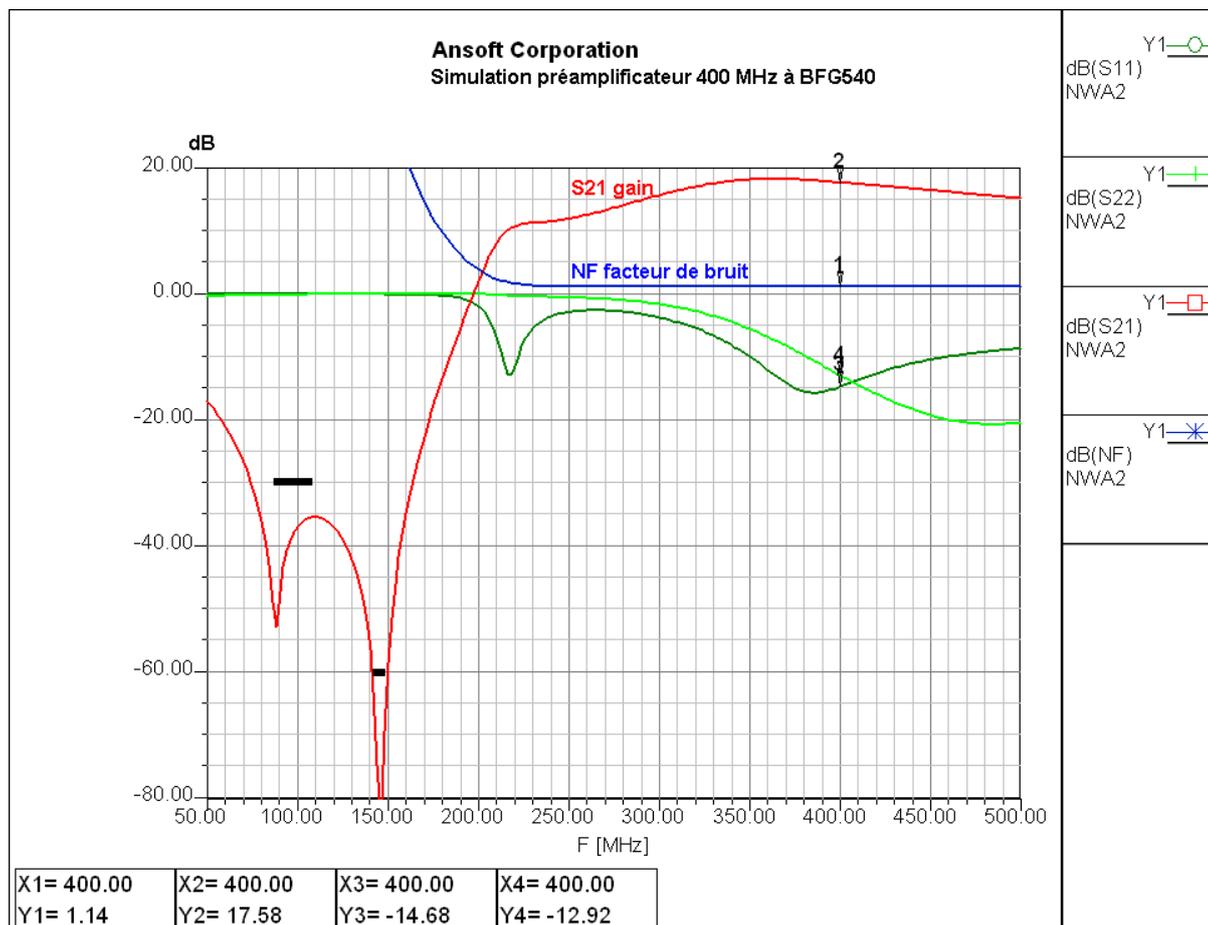


Figure 3 : Courbes de simulation du préamplificateur : (1) NF, (2) gain, (3) S11, (4) S22.

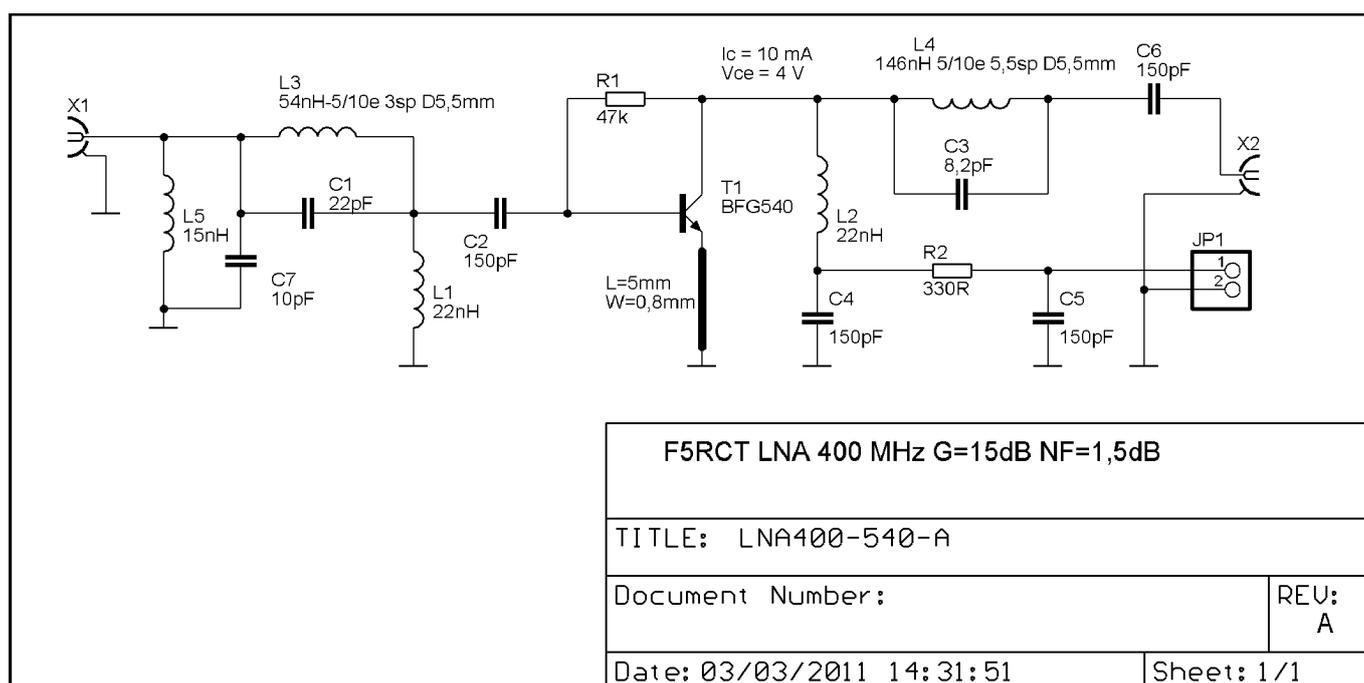


Figure 4 : Schéma de principe du préamplificateur 400 MHz.

Réalisation :

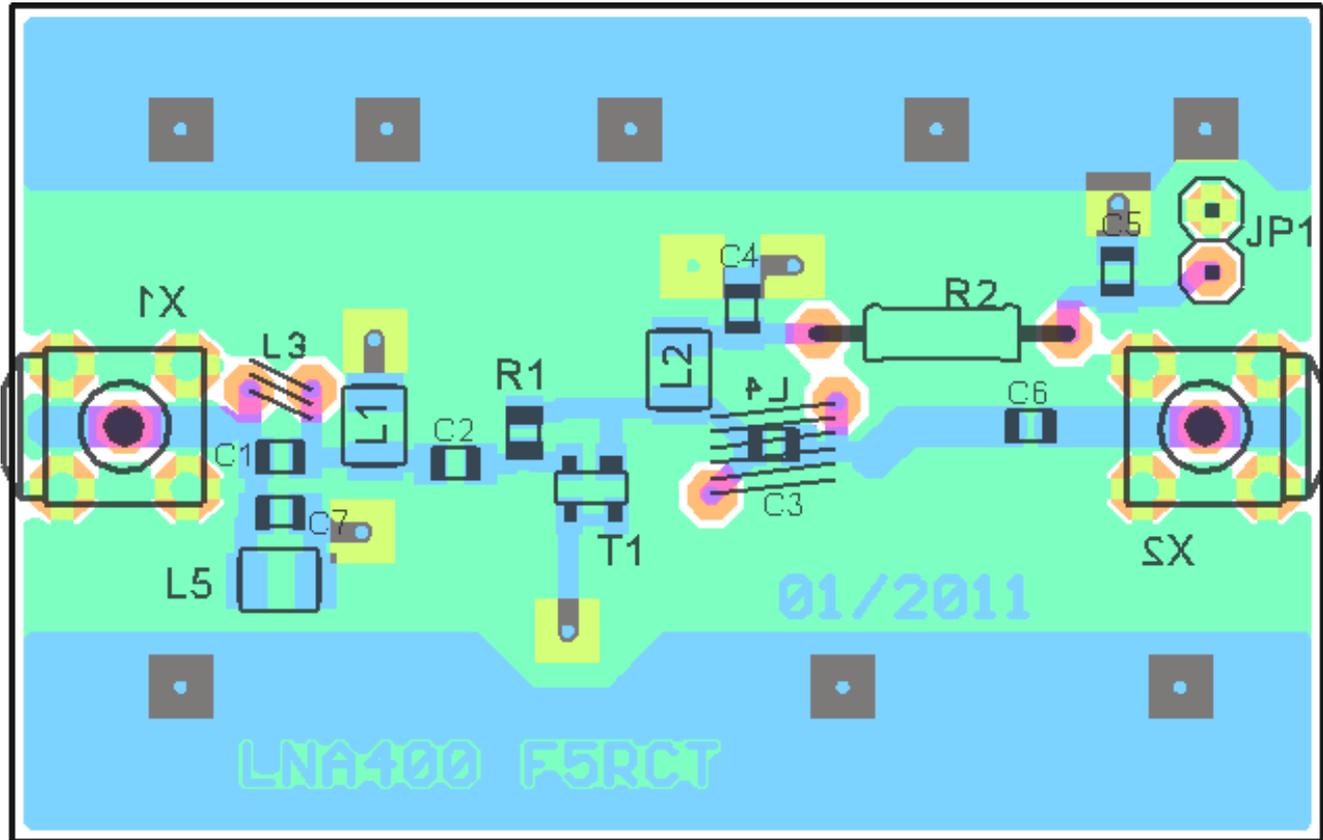


Figure 5 : Implantation des composants. L3, L4, R2, X1 et X2 sont sur la face opposée qui comprend le plan de masse.

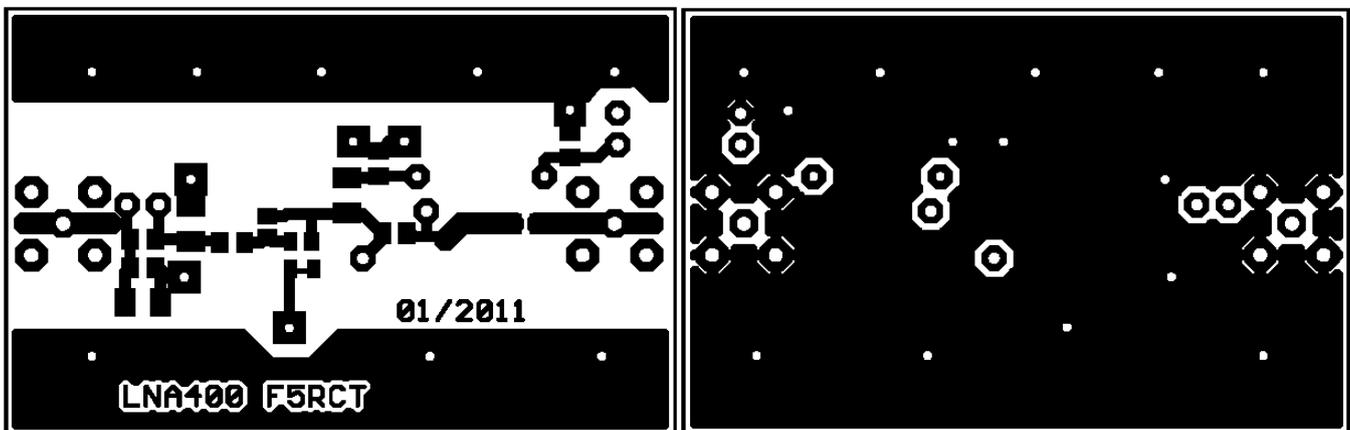


Figure 6a et 6b : Circuit imprimé double face, taille du cadre 35,5 x 54,5 mm

Commencer par ajuster le circuit imprimé au boîtier, et percer ce dernier pour y installer les fiches coaxiales (BNC, SMA, ou SMB). Pour une installation en fixe on peut très bien y mettre des embases F et utiliser du câble coaxial 75 Ohms prévu pour les antennes satellite : ce câble présente peu de pertes à 400 MHz face à la faible désadaptation d'impédance (75/50).

Une fois les ajustements mécanique effectués, on procèdera à la soudure des via de masse avec des queues de composants. Tant que le circuit imprimé peut être posé à plat on y soudera tous le composants CMS ; à commencer par les résistances, le transistor, et les capacités céramiques (ces dernières étant les plus fragiles).

On bobinera les selfs sur un foret de 5,5 mm avec du fil émaillé de 5/10^e. L3 fait 3 spires jointives et L4 fait 5,5 spires jointives (voir photo en **figure 7a et 7b**). Les souder du coté du plan de masse à 1 mm de la surface.



Figure 7a et 7b : Réalisation des inductances L3 et L4.

Souder le circuit imprimé dans le boîtier par un trait de soudure en continu sur les deux faces.

En fonction du mode d'alimentation, on mettra R2 à son emplacement ou bien, elle sera soudée en parallèle sur C6 entre le point de L4 et la sortie ceci pour la télé-alimentation.

Procéder à la mise sous tension, en veillant à insérer la bonne valeur de résistance en série :

- 100 Ohms ou une LED rouge en série dans l'alimentation, pour 9V.
- 470 Ohms ou une association d'une LED verte avec une résistance de 270 Ohms, pour l'alimenter en 12V. voir **figure 8a**.

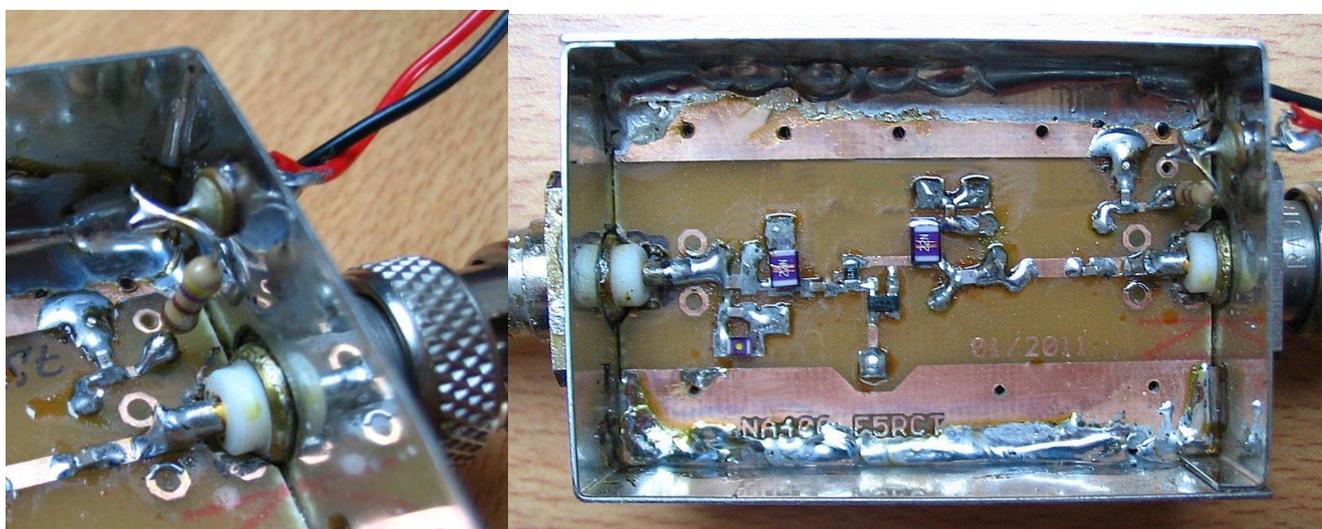


Figure 8a et 8b : Ajout d'une résistance de 470 Ohms pour l'alimentation et vue du prototype.

Vérifier la tension V_{CE} sur C4, on doit avoir 4 V +/- 0,5 V. Le courant collecteur se mesure par la chute de tension sur R2 : pour 10 mA +/- 20 % on doit avoir 3,3 V +/- 0,7 V. Le transistor est très tolérant sur son courant de repos et sa tension d'alimentation, ainsi en alimentation 12 V, il tolère 10 à 14 V sans que les caractéristiques soient grandement modifiées.

Mesures :

Gain : 15 dB +/-0,5 dB à 400 MHz

Point de compression en entrée $P_{in\ comp\ 1dB}$: -7 dBm

Point d'interception du 3^e ordre IP_{3E} : + 3 dBm

Facteur de bruit mesuré : 1,5 dB

Atténuation à 145 MHz : < -65 dB

Atténuation à 88 MHz : < -40 dB

Déjà réalisé en une dizaine d'exemplaires par les radioamateurs du Bas-Rhin et de Moselle, ce préamplificateur apporte une nette amélioration pour le décodage du dernier point de chute des radiosondes. Sur le terrain en phase d'approche, il permet de mieux décoder la sonde et même la suivre en roulant pendant sa chute. Avec deux antennes 2 m et 70 cm espacés de moins d'un mètre sur le toit du véhicule de F5RCT, il supporte l'émission en 2 m avec plus de 30 W sans risque de destruction. Si on coupe son alimentation, ce dernier atténue de 20 dB environ (bien pratique en phase d'approche quand le S-mètre est au taquet !). Ce préamplificateur également est utilisable dans la bande 430 à 440 MHz ; le gain est de 14 dB pour un facteur de bruit de 1,6 dB.

Un kit comprenant le circuit imprimé double face à percer, les composants CMS et le boîtier est disponible auprès de l'auteur : Email « f5rct.jm @ gmail.com ». Ce kit ne comprend pas les connecteurs d'entrée et de sortie qui sont laissé au goût de chacun.

Liste de composants :

référence	qté	Valeur	Désignation
C1	1	22 pF	CMS 0805
C2,C4,C5,C6	4	150 pF	CMS 0805 ou 0603
C3	1	8,2 pF	CMS 0805
C7	1	10 pF	CMS 0805
L1, L2	1	22 nH	CMS 1210
L3	1	54 nH	Fil émaillé 5/10 ^e ; 3 spires ; diamètre 5,5 mm
L4	1	146 nH	Fil émaillé 5/10 ^e ; 5,5 spires ; diamètre 5,5mm
L5	1	15 nH	CMS 1210
Q1	1	BFG540	CMS SOT323 ou BFG540W
R1	1	47 k	CMS 0805
R2	1	330 R	traversante
boîtier	1	553730	37 x 55 x 30 mm Schuber
Bypass	1	-	100pF à 1 nF

Note : Les BFG540/X, /XR, /WX ou /WXR ne conviennent pas car leur brochage est différent.

[1] BFG540 chez France Rota (catalogue, section D, transistors): <http://www.rfmicrowave.it>

[2] BFG540W chez Reichelt.de (enter BFG540W dans Schnellsuche : <http://www.reichelt.de>

[3] Ce projet a été simulé sur Ansoft Designer 3.5, maintenant il existe une version bien supérieure que l'on peut demander à l'essai chez ANSYS.com. La complexité de ce simulateur destiné à l'usage professionnel demande quand même une formation et de solides connaissances en radiofréquences.