

Préamplificateur d'antenne VHF: faible coût, faible bruit et haute linearité

Angel Vilaseca HB9SLV (avilaseca@bluewin.ch)

Le préampli d'antenne décrit est destiné à être utilisé pour la réception des satellites météo dans la bande 137 MHz, avec un récepteur RTL SDR. Ce que l'on attend d'un préamplificateur d'antenne pour une telle utilisation, c'est:

1) Un gain d'une vingtaine de dB.

2) Comme on travaille très près du plancher de bruit, il faudra que le préamplificateur génère lui-même le moins possible de bruit. Un facteur de bruit d'environ 1 dB serait souhaitable. Pour l'utilisation envisagée, en réception VHF avec une antenne omnidirectionnelle, il serait probablement vain de rechercher un facteur de bruit plus faible.

3) A proximité de 137 MHz, on trouve des signaux radio très puissants: Pagers, radios commerciales FM, trafic aérien. Il faut une bonne linéarité de l'amplification, afin d'éviter une éventuelle intermodulation.

4) Le récepteur de type RTL SDR présente de nombreux avantages, mais malheureusement, son circuit d'entrée ne présente aucune sélectivité et son fonctionnement peut donc être perturbé dans le sens d'une désensibilisation s'il y a des émetteurs puissants à proximité. Le préampli devra donc présenter une certaine sélectivité.

Traditionnellement, un tel préamplificateur peut être réalisé autour d'un MOSFET faible bruit, tel que le BF981.

Pour ce montage, je vais utiliser un composant plus récent, un MMIC, le TQP3M9009.

Son facteur de bruit à 200 MHz est très proche de celui du BF981, moins de 1 dB.

Le TQP3M9009 présente une excellente linéarité. Son IP3 de sortie est de +39,5 dBm.

L'originalité du montage que je me propose de réaliser est d'être construit autour d'un module à faible coût comme de celui de *l'image 1*.



Ces platines sont en vente sur les sites Web bien connus, Ebay ou Aliexpress, pour seulement quelques francs. Elles présentent l'intérêt d'avoir le MMIC, qui est de très petite taille, déjà soudé sur une platine, avec les condensateurs de couplage en entrée et en sortie, ainsi que tout le circuit de découplage de l'alimentation. Le tout en CMS. Et un blindage qui renferme le tout.

Comme on peut le voir sur la photo, le MMIC que je compte utiliser, le TQP3M9009, a quand même 4 GHz de bande passante! L'auto-oscillation est donc LE problème que je redoutais le plus dans cette réalisation, mais qui ne s'est pas manifesté. Selon le datasheet, ce MMIC est «unconditionally stable».

La sélectivité recherchée, c'est-à-dire la limitation de la bande passante devrait par ailleurs permettre de réduire le risque d'auto-oscillations intempestives.

L'idée générale est de rester dans du faible coût, c'est pourquoi au lieu d'utiliser un filtre à ondes acoustiques de surface, j'ai décidé d'utiliser des filtres à lignes quart d'onde

accordées. Une ligne quart d'onde avant l'ampli et deux après.

Le montage mécanique que j'ai réalisé permettrait assez facilement de faire des essais avec ou sans filtre à l'entrée. Selon sa datasheet, le MMIC serait assez résistant à la saturation en présence de forts signaux à l'entrée. Tout filtre présente une certaine perte d'insertion, alors faut-il en mettre un à l'entrée alors que l'on travaille à -110 dBm?



L'image 2 montre l'équivalence entre un circuit résonnant LC classique (en haut à gauche) et les circuits LC tels qu'ils sont réalisés dans le présent montage (en haut à droite).

Dans ces deux circuits, le point 1, proche de la masse, est à basse impédance et le point 2 est à haute impédance.

Le préampli définitif contient trois de ces circuits. Le premier comporte une entrée/sortie à basse impédance, sur laquelle sont connectés la prise SO239 d'entrée et l'entrée de la platine.

Le second circuit LC comporte une entrée basse impédance, sur laquelle est branchée la sortie de la platine. Et une sortie haute impédance, connectée à une petite capacité (de l'ordre de 1 pF) de liaison avec le troisième circuit LC. L'entrée

de ce dernier se fait à haute impédance par la capacité de liaison et la sortie se fait à basse impédance vers la prise SO239 de sortie.

Le placement des différents éléments du montage est important. Il est essentiel que tout le montage soit contenu dans un boîtier métallique afin d'assurer un bon blindage. Mon point de départ a donc été ledit boîtier. J'ai utilisé une boîte métallique en fer-blanc de récupération pour le premier prototype. Elle mesure 61 x 104 mm.

On voit sur **l'image 3** les broches des deux connecteurs SO239 d'entrée et de sortie. Les connecteurs SMA de la platine ont été préalablement des-soudés. C'est pratique, l'espacement des perçages de fixation de la platine de l'ampli est le même que celui des prises SO239. Le serrage des vis de fixation des connecteurs SO 239 permet en même temps d'assurer un contact large et fiable avec le plan de masse de la platine.

Pour obtenir trois espaces blindés à l'intérieur de ce boîtier, il faut façonner deux cloisons et les souder en place. Une des deux cloisons va «en-jamber» la platine, assurant ainsi une séparation entre l'entrée et la sortie de la platine. Le côté ouvert de la boîte métallique sera couvert par du feuil-lard de cuivre adhésif. Comme dans les anciens tuners UHF de télévision. On obtiendra ainsi trois comparti-ments distincts parfaitement blindés.

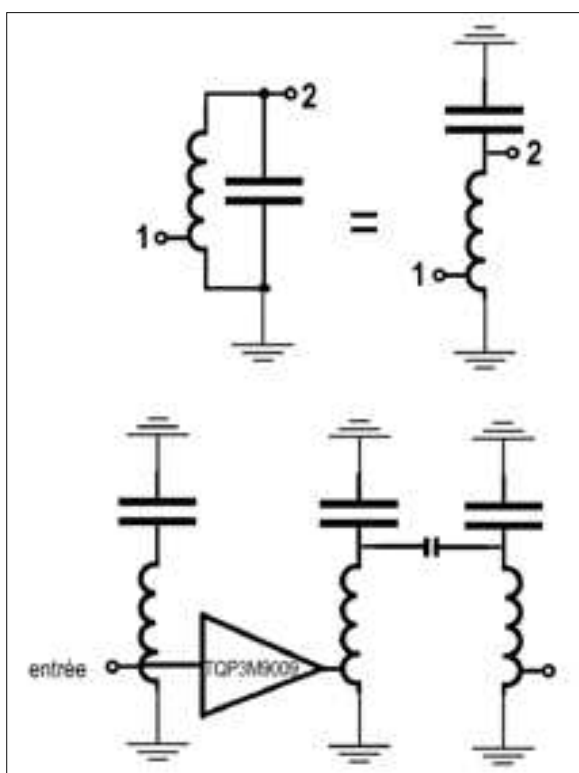


Image 3

L'image 3 montre le montage prêt pour les premiers essais. L'architecture générale est la même que celle qui était utilisée dans les anciens tuners UHF de télévision. On appelait à l'époque les circuits résonnants de ce type «Lignes de Lecher».

Le connecteur d'entrée se trouve en bas de cette image. La borne centrale est reliée directement à la borne d'entrée du circuit imprimé.

Dans un premier temps, je n'ai pas monté de circuit résonnant à l'entrée du montage, mais il sera possible de le faire après les premiers essais.

La borne de sortie du circuit imprimé est connectée à une ligne résonnante, constituée par le fil de cuivre d'environ 55 mm de longueur et 1,5 mm de diamètre horizontal, visible au milieu de **l'image 6**.

Le circuit résonnant constitué par cette ligne et par le condensateur ajustable, visible à gauche, devra être accordé comme les autres, sur 137,5 MHz, au moyen de ce condensateur ajustable, qui est le composant de couleur jaune qui se trouve à l'extrémité gauche de la ligne. Le côté «condensateur» de la ligne fonctionne à haute impédance, c'est-à-dire: faible courant RF, tension RF élevée. Le côté connecté à la masse, c'est-à-dire le côté droit sur la photo, fonctionne à basse impédance, c'est-à-dire fort courant RF, tension RF basse.

Enfin, quand je dis «fort», on est bien d'accord que tout est relatif. On est à bien moins d'un millivolt, respectivement milliampère ! Aucun risque pour la santé, bien évidemment. Les condensateurs ajustables de 40 pF sont disponibles sur les mêmes sites online que la platine avec le MMIC. Ils se règlent en tournant (au moyen d'un petit tournevis cruciforme métallique) une petite pièce métallique, accessible depuis l'extérieur de la boîte. Cette pièce est connectée à une des deux pattes du condensateur. Il faut veiller à ce que la patte

connectée à la pièce servant au réglage soit soudée à la masse du boîtier, et l'autre patte au fil de cuivre de 1,5 mm, servant de self. Bien vérifier à l'ohmmètre laquelle des deux pattes est connectée à la vis de réglage !

De cette manière, lorsque l'on tournera la pièce de réglage avec un tourne-vis métallique, on ne perturbera pas le fonctionnement du circuit accordé.

L'extrémité droite du fil de cuivre est connectée à la masse (boîtier métallique). La sortie du circuit imprimé se trouve de ce fait connecté au côté faible impédance de la ligne. On sait en effet que ces petits amplis sont conçus pour fonctionner avec une impédance d'entrée et de sortie égale à 50 Ω.

Les deux lignes résonnantes sont couplées par un condensateur de faible valeur, de l'ordre du picofarad, placé du côté à haute impédance. Ce condensateur est réalisé au moyen de deux fils isolés parallèles, réalisés à partir d'une nappe de fils, récupérée sur un vieux PC.

Plus le couplage entre les deux lignes résonnantes sera léger (condensateur de faible valeur) et plus la sélectivité sera élevée. Ces deux lignes accordées forment le filtre de sortie. On verra si j'ajoute un filtre d'entrée.

Mise au point et mesures

Il est possible de trouver depuis quelque temps et pour un prix avantageux, un petit appareil de mesure nommé nano VNA. Il s'agit d'un analyseur vectoriel de réseau (vector network analyser, donc VNA en anglais). L'appareil nécessite un petit apprentissage pour apprendre à s'en

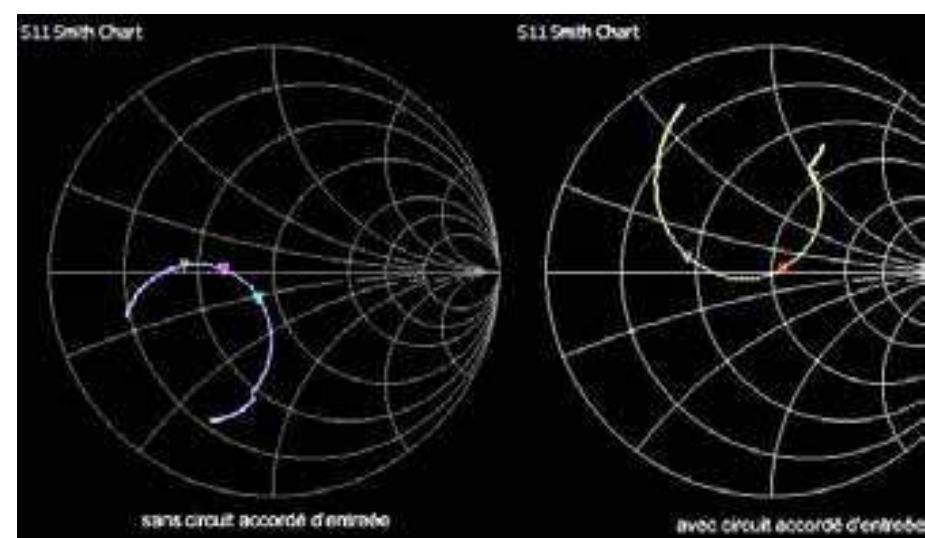


Image 4

servir, mais dans le cas présent, il me permet de régler avec précision les trois circuits accordés de ce petit préamplificateur. En branchant le port 0 du nano VNA sur l'entrée du préampli, on obtient le graphique de Smith de *l'image 4*.

Celui de gauche a été réalisé lorsque le circuit accordé d'entrée n'avait pas encore été monté, c'est-à-dire que le connecteur d'entrée était directement relié à l'entrée de l'ampli.

Le graphique de Smith de droite a été réalisé après montage du circuit résonnant d'entrée.

Le marqueur rouge correspond à 137,5 MHz, le centre de la bande passante visée. Une fois le condensateur variable d'entrée réglé, on arrive à faire en sorte que le marqueur soit le plus proche possible du centre de graphique.

Le nano VNA permet de régler avec précision (*image 5*) le ROS en entrée et en sortie du préampli et de voir comment est réparti le gain global du circuit en fonction de la fréquence.

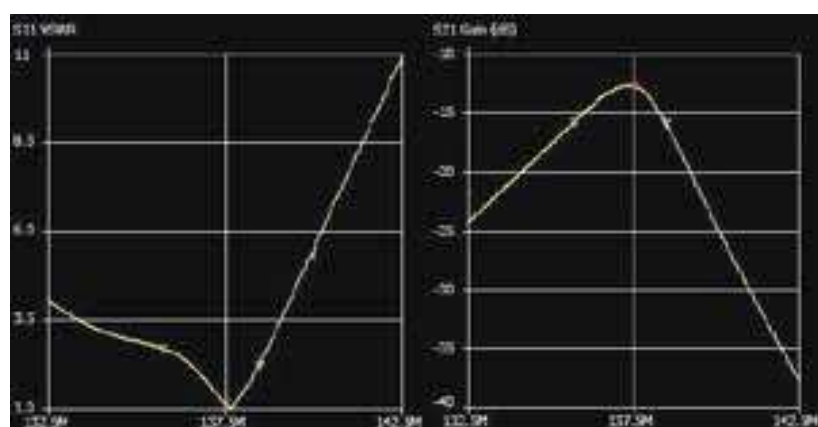


Image 5

Pour cela, il faut connecter l'entrée du préampli non alimenté au port 0 du nano VNA. On règle le condensateur ajustable du circuit résonnant d'entrée, de manière à obtenir le meilleur ROS possible. Il est égal à 1 dans ce cas (*image 5*). C'est parfait.

On fait ensuite de même avec la sortie du préampli et on règle le condensateur ajustable du circuit résonnant de sortie.

On connecte ensuite le port 0 à l'entrée du préampli, le port 1 à la sortie du préampli, en insérant un atténuateur de 20 dB avant le port 1, pour ne pas risquer de le détruire. On sait en effet, que le gain de la platine à MMIC peut atteindre 20 dB et sa puissance de sortie maximale + 20 dBm, soit 100 milliwatts. Avec l'atténuateur, le port 1 ne verra jamais plus de 1 mW. Même si le préampli se met à auto-osciller.

On alimente le préampli et on peut alors voir comment est réparti le gain global du circuit en fonction de la fréquence (*image 7*).

En tenant compte de la présence de l'atténuateur au niveau du port 1, on voit que le gain maximum à 137,5 MHz (20-15 dB) est de 5 dB seulement.

Alors que le gain à 137,5 MHz de la platine à MMIC est de 20 dB à cette fréquence.

Cela est dû à la capacité de couplage de trop faible valeur entre le 2e et le 3e circuit résonnant. Je l'ai donc remplacée par une capacité un peu plus importante et j'ai refait les mesures (*image 7*). J'obtiens ainsi un bon compromis entre gain et sélectivité.

Le nouveau condensateur de couplage est constitué de deux morceaux de fil émaillé torsadé. De ce fait, les deux conducteurs sont beaucoup plus proches qu'avec les deux fils utilisés précédemment. La capacité entre les deux fils

est donc plus importante.

Le gain du préampli est maintenant de 16 dB, compte tenu de l'atténuateur placé avant le port 1 du nano VNA. Le ROS d'entrée est acceptable. J'ai optimisé l'accord du circuit d'entrée pour un gain maximum.

La courbe de sélectivité du préampli (*image 7*) montre que dans la bande FM, on a une atténuation de 50 dB (marqueur vert). Le DAB est quant à lui atténué de 30 dB.

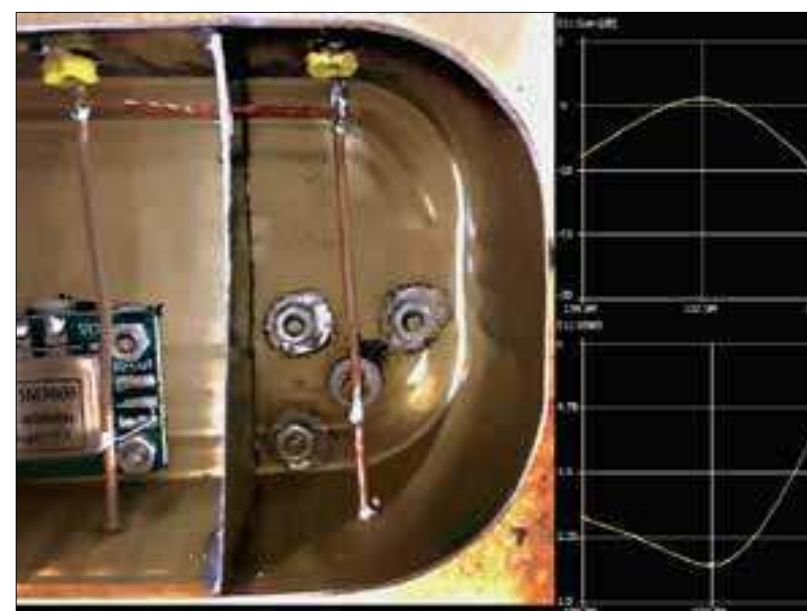


Image 6

Il serait intéressant de faire des mesures plus poussées sur ce montage, concernant d'une part sa linéarité, qui va conditionner sa résistance à l'intermodulation. Et d'autre part, son facteur de bruit, qui va conditionner sa sensibilité et par là-même la sensibilité de tout le système récepteur. Ceci fera peut-être l'objet d'un prochain article.

Ce prototype répond bien à ce qui était demandé dans le cahier des charges, bien qu'il soit humblement réalisé avec un boîtier en fer blanc de récupération, mais nul doute que les performances en termes de gain et de sélectivité ne pourraient qu'être améliorées si le matériau du boîtier était du cuivre, particulièrement s'il était plaqué argent. Comme les anciens tuners TV UHF. ■

Image 7

