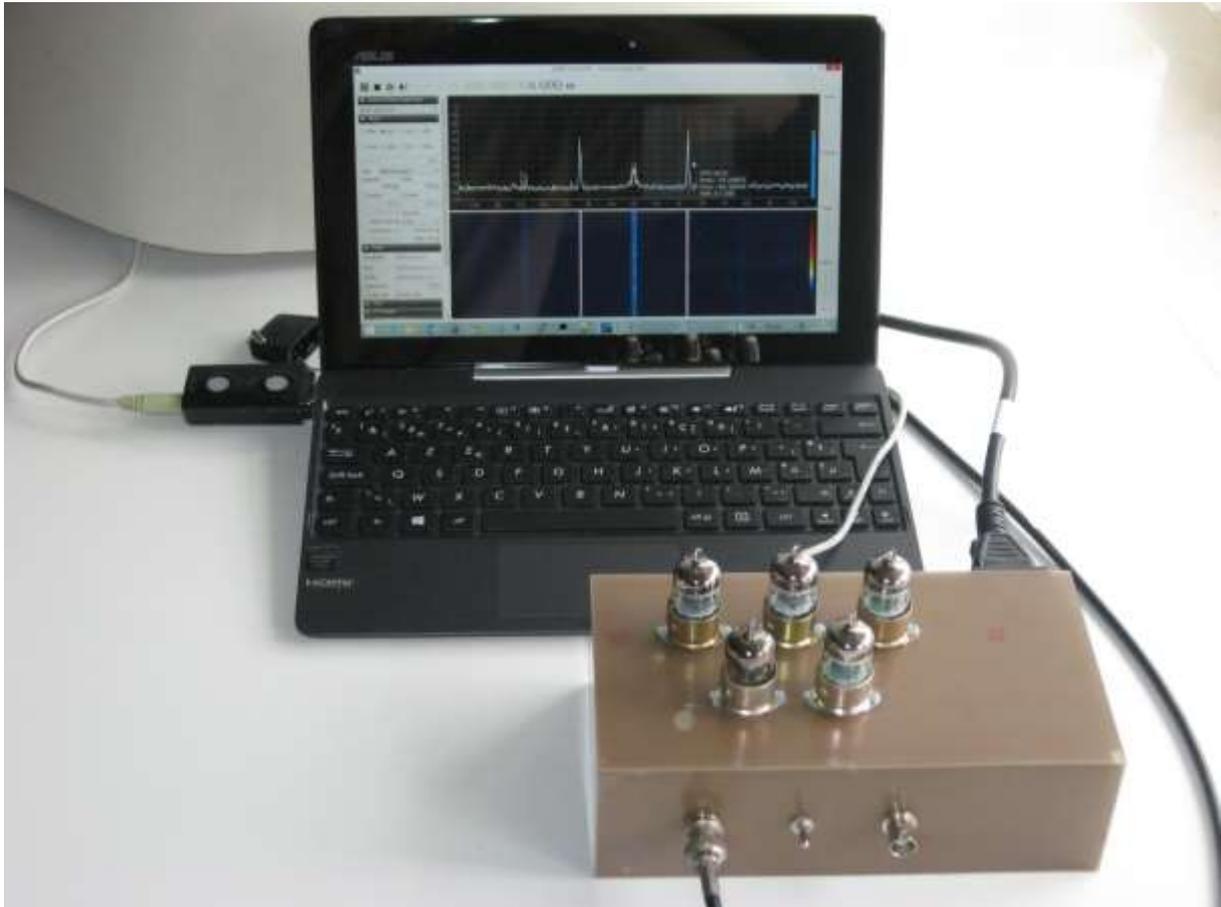


# SDR à lampes

---



## Introduction

Comme il trainait encore un bon de réduction d'Elektor bientôt périmé au fond d'un tiroir, j'ai fait un petit tour dans leur magasin en ligne. J'y ai trouvé deux petits livres soldés et moins le montant du bon cela me revenait moins cher que les frais de port. Je peux me réjouir dans l'expectative d'encore quelques soirées de bonne lecture...

Dans un club comme BSE – et je suppose que dans les autres sections il n'en est pas autrement – il y a quelques membres passionnés d'histoire qui s'occupent assidument des lampes, tandis que d'autres membres s'affairent aux devants de l'innovation avec les modes numériques, Raspberry Pi et SDR. Personnellement, l'un et l'autre m'intéresse. Je trouve la technique plus intéressante que la pure communication.

Burkhard Kainka, auteur du livre « Radio-bouwboek, van detector tot DRM-ontvanger » (Le livre de la construction radio, du détecteur au récepteur DRM) (ISBN 90-5381-209-1) s'avère être un vrai bricoleur et il est à l'aise avec la vieille technologie des lampes ainsi qu'avec les modes de transmission modernes. En tous cas son livre décrit un joli montage utilisant quatre EF95 pour

réaliser un récepteur DRM<sup>1</sup> à double superhétérodyne avec, bien entendu, le PC comme détecteur final. Cet article a l'unique prétention de vous démontrer qu'il est toujours possible de réaliser des montages avec des tubes électroniques. Cela me semble bien valoir d'en faire un petit projet. C'est une jolie combinaison des deux teneurs présentes dans le club et une bonne occasion d'y impliquer les membres.

Le schéma du montage en question est à voir sur [www.b-kainka.de/bastel101.htm](http://www.b-kainka.de/bastel101.htm) et dans son livre évidemment.

## DRM

Toute l'information (sommaire, selon moi ...) concernant le DRM est disponible sur [www.drm.org](http://www.drm.org).

La grille des programmes des stations d'émissions montre qu'il y a beaucoup d'émetteurs très locaux, à savoir en Allemagne et particulièrement en Inde. Mais la majorité de ces émetteurs utilisent de très petites puissances d'émission (la plupart du temps de l'ordre d'un dixième à quelques watts) et ne peuvent par conséquent être captés en Belgique. De plus, la majorité de ces émetteurs émettent selon un horaire plutôt contraignant et quasi jamais 24 heures par jour. RTL, l'émetteur sur lequel Kainka a réglé son prototype, a entretemps arrêté complètement ses émissions en DRM. Les seuls émetteurs qui émettent encore en DRM 24 heures par jour avec une puissance dont on peut espérer les recevoir chez nous sont Radio France International, Bit Express (une station à Erlangen, Allemagne) et la BBC. La grille des programmes la plus récente sur [www.hfcc.org/drm/](http://www.hfcc.org/drm/) montre que ce dernier n'est plus dans l'éther de manière continue (d'ailleurs sa grille n'a plus été mis à jour depuis déjà quelques mois). Pas beaucoup de stations DRM disponible donc.

Ne serait-il pas possible d'utiliser un autre programme que DReaM (la proposition de Kainka) pour ainsi recevoir d'autres types de modulation que seulement du DRM ?

## I et Q

Il y a aujourd'hui beaucoup de bons programmes SDR de disponible. Ils permettent de décoder à peu près tous les modes possibles donc pas seulement le DRM. Mais presque tous ces programmes requièrent un signal I (In-Phase) et un signal Q (Quadrature). Donc deux fois le même signal, mais l'un décalé de 90° par rapport à l'autre. Il doit être possible compléter le schéma originel avec un circuit réalisant ce déphasage.

Il existe des dizaines de circuits pour générer les signaux I et Q, mais presque tous utilisent un circuit intégré, ou en tous cas un nombre relativement important de composants actifs. Certes je pourrais utiliser un circuit intégré, mais cela dénaturerait fondamentalement l'idée de base du projet. En effet, le but est de construire un SDR à lampes. D'autre part, il n'est pas réaliste de transformer un circuit comportant un grand nombre de transistors FET vers un circuit avec des tubes. L'investissement en deviendrait trop important et la simplicité du montage originel serait complètement perdue.

---

<sup>1</sup> Digital Radio Mondiale, un mode numérique de radio diffusion, donc pas le DMR utilisé de nos jours par les radioamateurs.

Après de nombreuses heures de « Google & Friends », un article scientifique sur un « I-Q Quadrature Generator » apporte la solution. Du moins presque... Mais j'y reviendrai.

L'article en question est disponible sur

<https://pdfs.semanticscholar.org/f14c/f447d9d6645e2e0569e94a18c8ff394b905b.pdf>. Tout un tas de mathématique de haut vol dans une œuvre bien charpentée de 2001 d'un étudiant d'université dont la plupart est bien au-delà de mes compétences, mais pourvu dans son premier chapitre d'un schéma d'un (très) simple « Quadrature network using RC-CR circuit » avec uniquement des composants passifs.

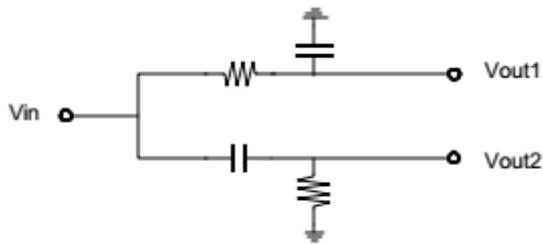


Figure 1 - Réseau RC-CR

Le reste de l'article traite de l'influence d'un « limiteur » sur le résultat de ce réseau et présente encore deux autres techniques pour générer I et Q avec des finesses dans des circuits plus complexes.

Afin d'être certain d'avoir un niveau de signal de sortie suffisamment élevé, j'ai choisi d'appliquer le déphasage directement à la sortie du deuxième oscillateur local et de rajouter un étage mélangeur supplémentaire. Je pense que de cette manière l'isolation entre les deux sorties sera meilleure et je m'attends à pouvoir maintenir plus facilement l'équilibre entre les deux signaux. En effet, l'amplitude du signal de sortie des deux branches du réseau CR-RC dépend de la fréquence. En mettant les filtres à l'entrée des étages mélangeurs, la fréquence (celle du signal du deuxième oscillateur local) reste constante et l'amplitude ne varie donc pas en fonction de la fréquence du signal reçu. En outre cela crée la possibilité d'éventuellement régler le gain de chaque étage mélangeur séparément si l'amplitude des signaux de sortie devrait différer trop l'une de l'autre. Ce qui donne les modifications suivantes dans le schéma :

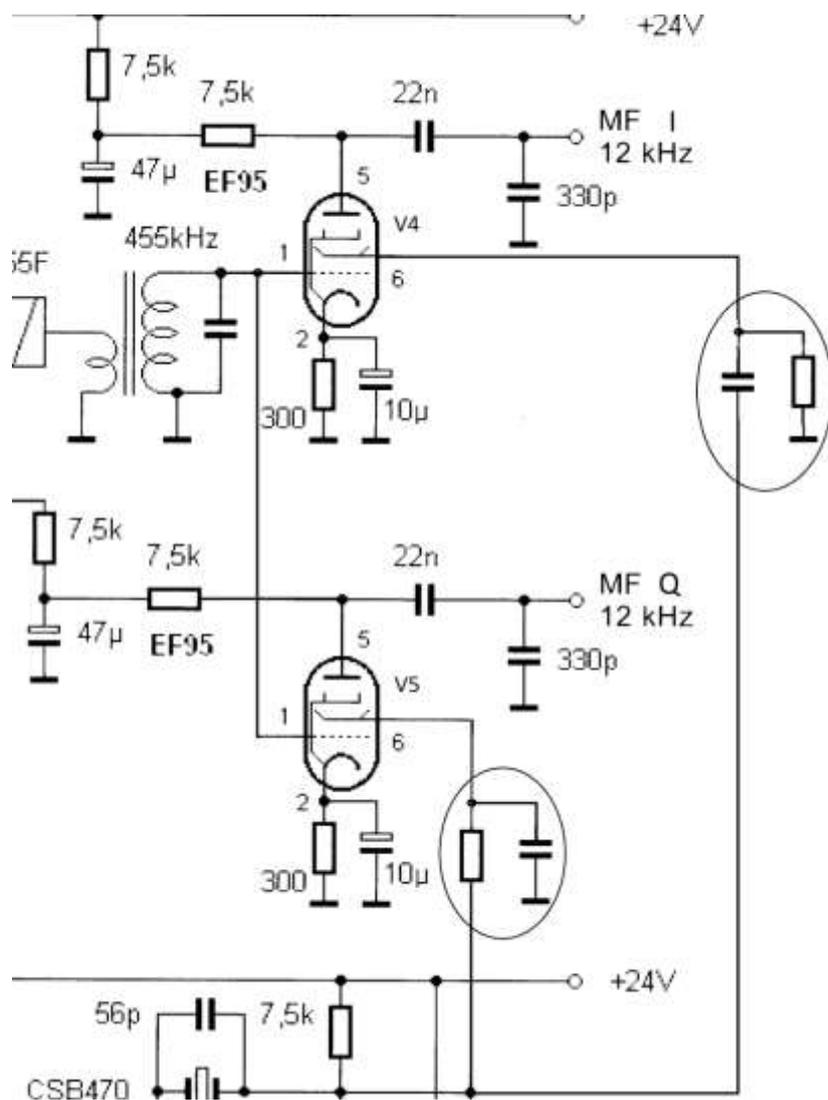


Figure 2 - Le réseau RC-CR ajouté dans le schéma

Ne reste plus qu'à déterminer la valeur exacte des résistances et condensateurs rajoutés. Pour cela je demanderai bien l'avis des amateurs de lampes plus expérimentés lors de la réunion de section du jeudi soir...

Alex ON1KNM suggère d'essayer avec une capacité de 330 pF et de calculer la valeur des résistances. Un peu d'intuition et puis expérimenter ; « l'approche de l'ingénieur, quoi... ». Arrive alors une douche froide. Jean-Pol ON4DJP remarque que cela ne peut jamais fonctionner parce que la grille g2 (utilisée comme deuxième grille de contrôle) est connectée à la masse. Comment, la grille à la masse ?? Ha, heu, OK, oui... la grille g2 ne tire pas de courant, – et si elle le ferait, il y aurait un autre problème plus grave encore... – il ne passe donc pas de courant (continu) dans la résistance, par conséquent il n'y a pas de chute tension et la grille g2 du tube V4 a donc bel et bien le potentiel (de tension continue) de la masse. Ce tube ne fonctionnera donc pas. . Retour à la planche à dessin...

Suivent de longues élucubrations et différentes options sont considérées. Ne peut-on pas remplacer les condensateurs par des selfs ? Hmm, mais alors la grille g2 de V5 sera à la masse pour la tension continue. Peut-être une branche avec une self et l'autre avec un condensateur, mais alors un courant continu apparaîtra et quelle doit être la valeur de cette self ? Finalement, après 6 semaines de

réflexion jusqu'au mal de crâne : Eureka! La simplicité en personne : retourner tout simplement l'ensemble !

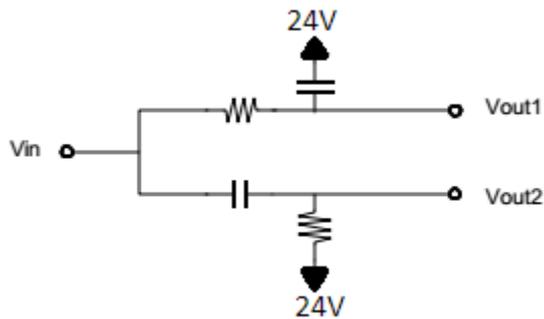


Figure 3 - Le réseau RC-CR avec une autre tension de référence

La masse dans le schéma originel n'est in fine qu'un point de référence pour les tensions, pas plus que ça. Si l'on prend la haute tension (ce n'est que 24 V, mais c'est bel et bien la haute tension) comme référence, cela ne change rien au comportement de la combinaison de la résistance et du condensateur : il se produit toujours un déphasage de  $45^\circ$  dans chacune des branches du circuit.

L'auteur de l'article susmentionné sur le « I-Q Quadrature Generator » fait bien remarquer que le déphasage dans le réseau RC-CR est toujours deux fois  $45^\circ$ , donc  $90^\circ$  en total, indépendamment de la fréquence, mais que l'amplitude des deux signaux de sortie dépend bien de la fréquence. I et Q n'ont la même amplitude que pour une fréquence bien spécifique. Et pour obtenir un bon décodage avec n'importe quel programme SDR, il importe de bien maintenir les deux signaux à la même amplitude. Il s'agit donc de dimensionner les composants tels que les deux signaux de sortie aient une même amplitude à 467 kHz, la fréquence à laquelle tourne le deuxième oscillateur local.

Afin de ne pas devoir essayer tous les condensateurs et toutes les résistances de récupération (et à chaque fois de devoir les souder et dessouder) une simulation s'impose. L'on peut alors tester très facilement et rapidement une multitude de combinaisons sans que la bobine de soudure s'use. De nos jours il existe bon nombre de bons programmes avec lesquels des circuits électroniques peuvent être dessinés et en même temps calculés. Impédances, temps de parcours des signaux, comportement du circuit avec signal pulsé... tout peut être calculé. Pour notre projet, un simple programme qui peut calculer la tension et la phase suffit. GIYF<sup>2</sup> nous présente la suggestion suivante : PartSim <https://www.partsim.com/simulator>, une application online avec laquelle on peut dessiner son schéma et le faire calculer à l'aide du calculateur SPICE Simulator inclus dans PartSim. Il fonctionne entièrement dans le « Cloud » et, à condition de créer un compte<sup>3</sup>, on peut y sauvegarder ses projets et les retravailler ultérieurement.

Un peu d'expérimentation avec des valeurs différentes et il s'avère que 10 k $\Omega$  et 33 pF font une combinaison utilisable. L'ordre de grandeur me paraît certainement acceptable.

<sup>2</sup> Google Is Your Friend

<sup>3</sup> Ce que je n'ai pas fait ; j'ai déjà beaucoup trop de comptes sur beaucoup trop de sites web.

## Le boîtier

Ceci est un projet de construction maison. Un boîtier fait maison est donc indispensable. Kainka ne donne aucune explication à ce sujet. Son prototype, montré sur <http://www.b-kainka.de/bastel101.htm>, a été construit un peu « en l'aérien ». Ce qui n'implique pas du tout que ce serait un château en Espagne, mais souder directement les fils sur les broches des lampes n'est pas vraiment le genre de finition qui épate (ne fut-ce que pour la galerie). Non, il faut mieux que cela soit un beau boîtier solide entièrement fait maison. Et pour bien montrer que le tout fonctionne avec des lampes, il faut que l'incandescence des filaments soit visible. Et je veux que ce soit présentable, bien fini et complet donc avec une alimentation intégrée.

Guy ON4MS, qui se situe plutôt du côté numérique du club, m'a donné quelques grandes plaques cuivrées. Il y a trente ans, elles étaient photo-sensitives et le sont probablement toujours, bien que je ne sache pas dans quelle mesure. La résine se laisse facilement enlever avec un peu d'acétone sur une boule de ouate et avec une bonne (plus que nécessaire !) aération de l'atelier. A l'école, j'ai appris à manier la scie à métaux et en serrant la plaque sur le bord de la table, il est facile de scier les différentes parois du boîtier sur mesure. La réflexion sur comment l'une pièce emboîte l'autre et donc à quelle mesure il faut ajouter ou soustraire une ou deux épaisseurs afin que finalement le tout soit bien aligné, doit évidemment se faire au préalable. Un dessin s'impose.

Encore deux petites plaques qui vont supporter la plaque du fond et le tour est joué. Forer les trous pour les soquets de lampes, les connecteurs pour les entrées et sorties, ainsi que pour le petit interrupteur. Découper un évidement pour le connecteur d'alimentation (récupéré d'un écran d'ordinateur en panne qu'il ne faut jamais jeter parce que tôt ou tard cela peut toujours servir...).

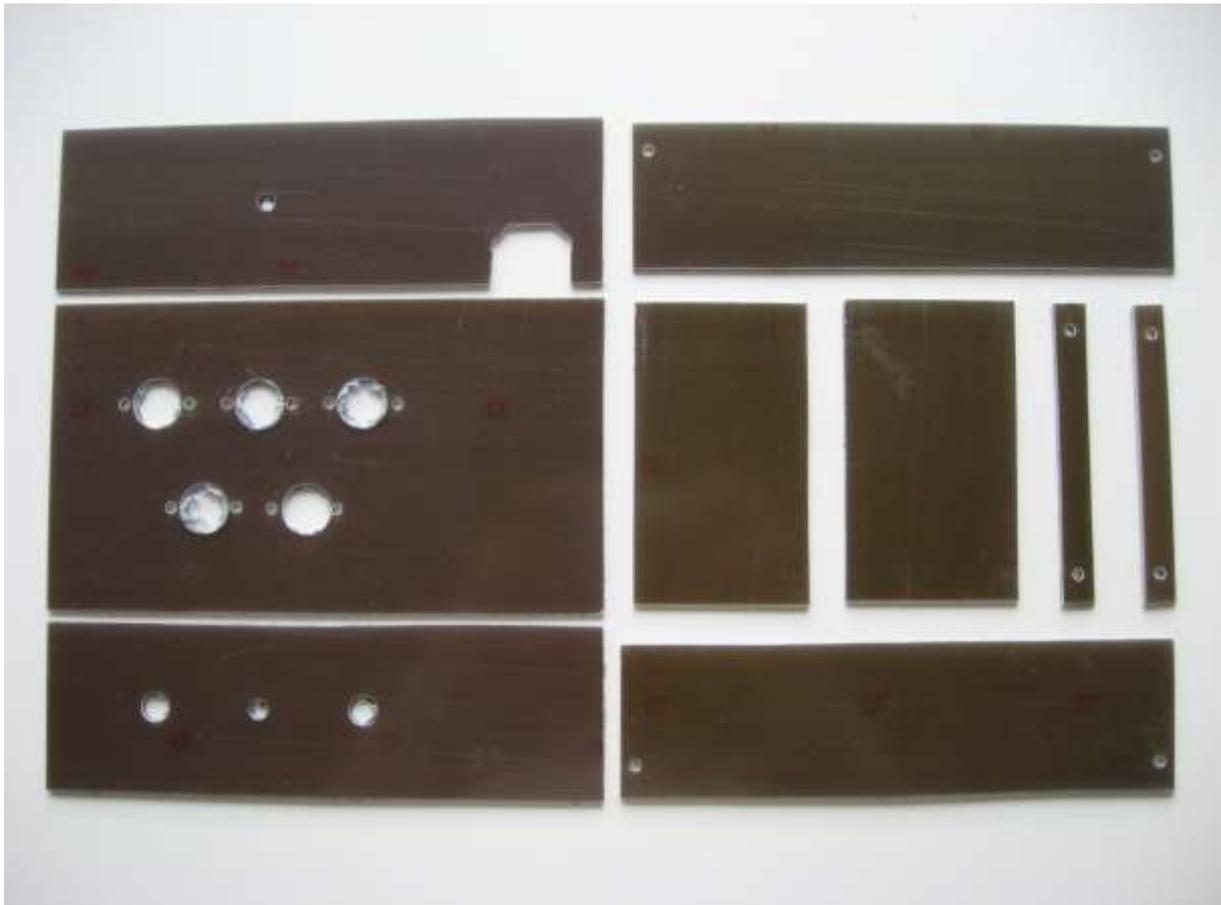


Photo 1 – Les parois en époxy cuivré

D'abord souder un petit écrou M3 sur les trous des petites plaques de support du fond, plus tard ils vont recevoir les petits boulons de fixation du fond du boîtier. Graisser légèrement le pas-de-vis pour empêcher que la soudure ne rende l'écrou inutilisable et un peu de flux décapant pour souder sur le côté des écrous afin de mieux faire adhérer la soudure sur le métal. Tenir les écrous en place en mettant les petits boulons (ne pas serrer trop, la soudure doit pouvoir pénétrer entre l'écrou et la plaque) et la soudure se fait d'elle-même. Ensuite monter les parois latérales. C'est facile en soudant la face cuivrée dans les coins. Faire bien attention à ce tout soit bien perpendiculaire l'un par rapport à l'autre. On peut fixer au préalable les différents morceaux avec du ruban adhésif pour peinture afin de maintenir les bords bien alignés. La plaque du dessus, où seront mis les soquets des lampes, se fixera en dernier.

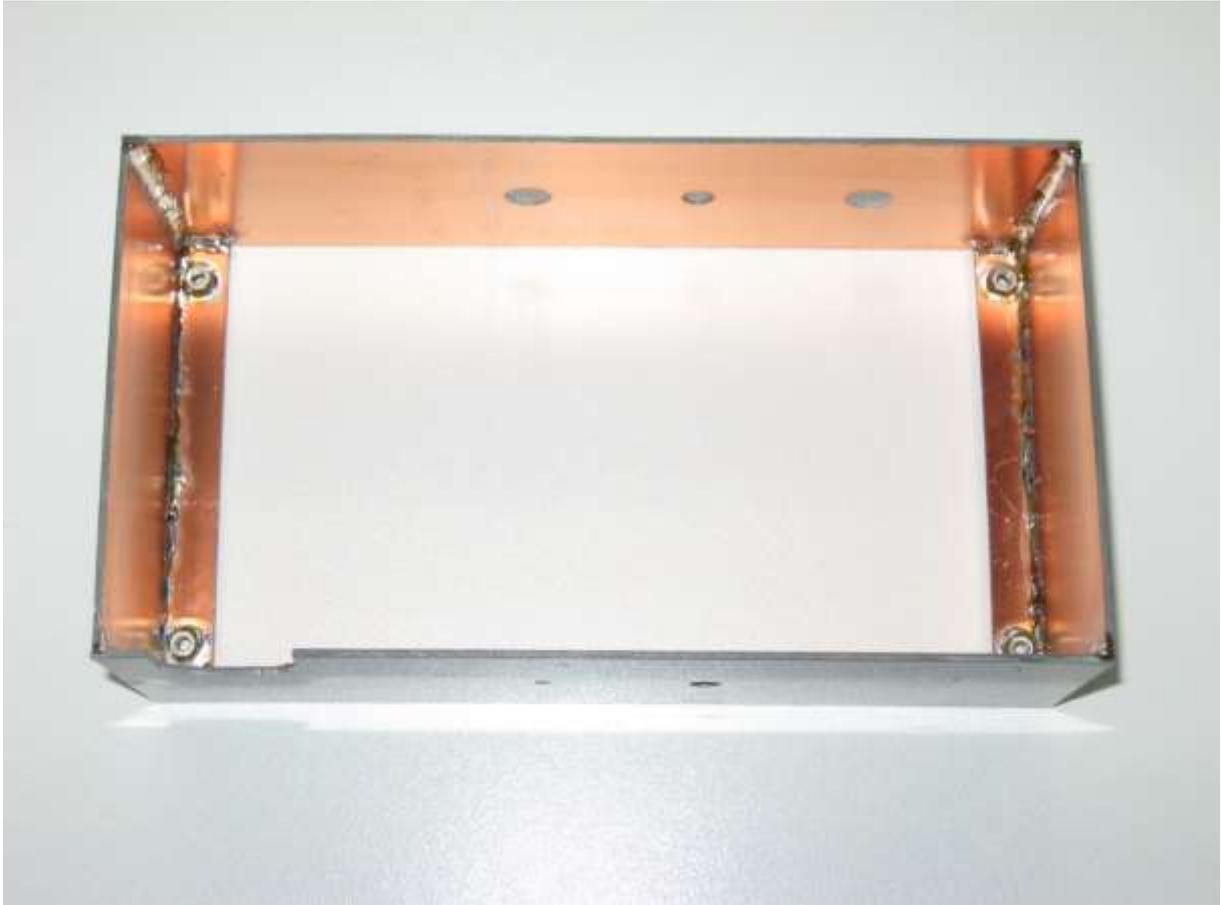


Photo 2 - Commencer par les parois latérales

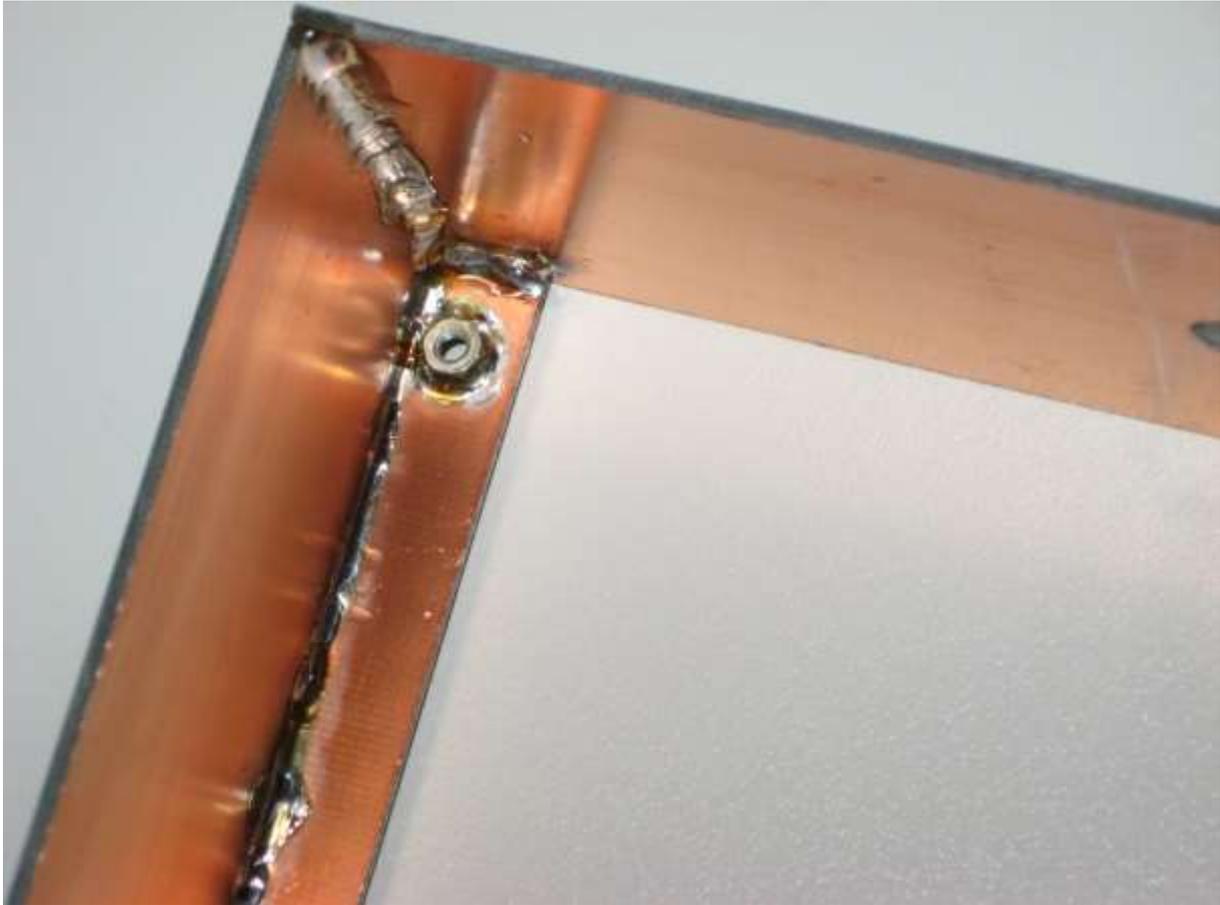


Photo 3 - La plaque de fond pourra y être fixée

Bien évidemment, on a mis le côté cuivré de toutes les parois à l'intérieur du boîtier afin de pouvoir les souder les uns aux autres. Un avantage supplémentaire de cette façon de construire est qu'ainsi on obtient une masse disponible à peu près partout. Ce qui est bien utile pour mettre les composants. La bobine de fil à souder s'amincit à une vitesse v-v'... C'est un véritable attentat sur la bobine de fil à souder. Incroyable, la quantité de soudure qui se loge dans les joints des différentes parois. Pourtant, je n'ai pas exagéré. Les joints ne sont certainement pas trop épais.

## Les composants

Guy ON4MS fournit également les soquets de lampes. Grand merci !



Photo 4 - Les soquets

On s'attendrait à ce que le stock de lampes électroniques soit épuisé – on n'en fabrique plus chez nous – et qu'il devient tout doucement impossible de s'en procurer encore. Eh bien, ce n'est pas si difficile que ça. On trouve sur eBay des dizaines de fournisseurs de tubes « NOS (New Old Stock) ». Comme d'habitude, les frais de port sont quasi plus élevés que le prix des lampes.



Photo 5 - Des tubes « nouveau ancien stock »

Ce ne sont pas de vrais EF95, mais quatre JAN 5654W, l'équivalent « Joint Army Navy » et un 6096/CT, cela fera bien l'affaire.

Le tiroir de composants de récupération se montre encore bien utile. De vieilles résistances, encore quelques vrais condensateurs MBLÉ et un peu de bric-à-brac réduisent la liste des composants à acheter. Mais il manque encore deux trois trucs à l'appel. Il faudra donc quand même se rendre au magasin.



Photo 6 - Venant du stock

## L'alimentation

Kainka, dans son prototype, a branché les filaments des quatre lampes en série afin de pouvoir les alimenter avec 24V. Il utilise alors ces 24 V en même temps comme haute tension. Comme j'ai modifié le schéma et par conséquent j'ai un besoin de 5 lampes, j'ai choisi de brancher les filaments en parallèle et de les alimenter par un transfo séparé de 6,3 V. Cela facilitera les tests, car je ne serai pas obligé de toujours insérer toutes les lampes dans leur socket. Cela me permet également de choisir le transfo 24 V bien plus petit ; il ne doit en effet plus fournir que la haute tension et le courant nécessaire pour cela est plutôt faible.

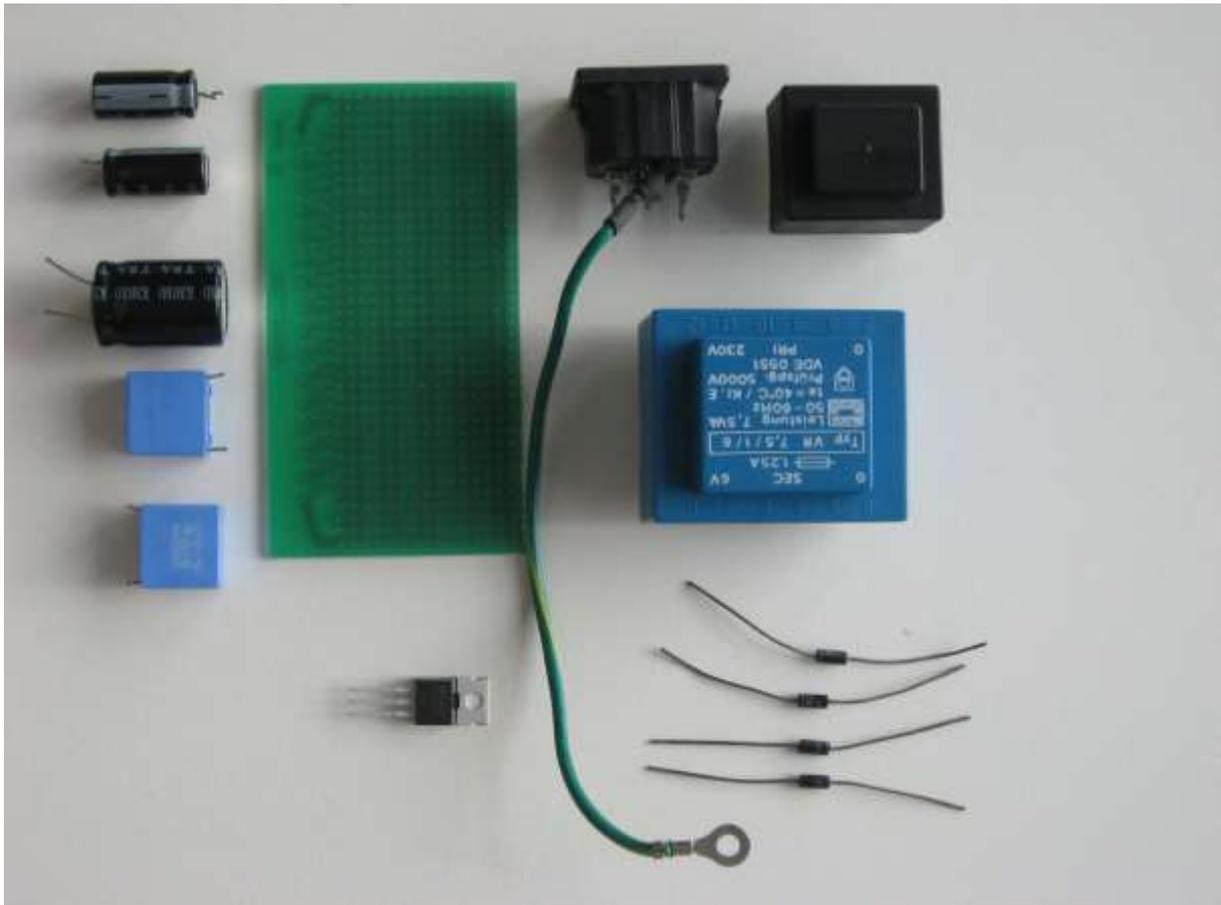


Photo 7 - Les composants pour l'alimentation

Si maintenant vous vous posez la question : « Pourquoi deux transformateurs séparés ? » Alors, essayez seulement de trouver le transfo qui possède juste la bonne combinaison d'enroulements secondaires... Ce n'est pas chose facile. Et si l'on en trouve un avec les différents enroulements secondaires qui conviennent, il est si onéreux qu'il est toujours plus avantageux de se procurer deux transfos séparés.

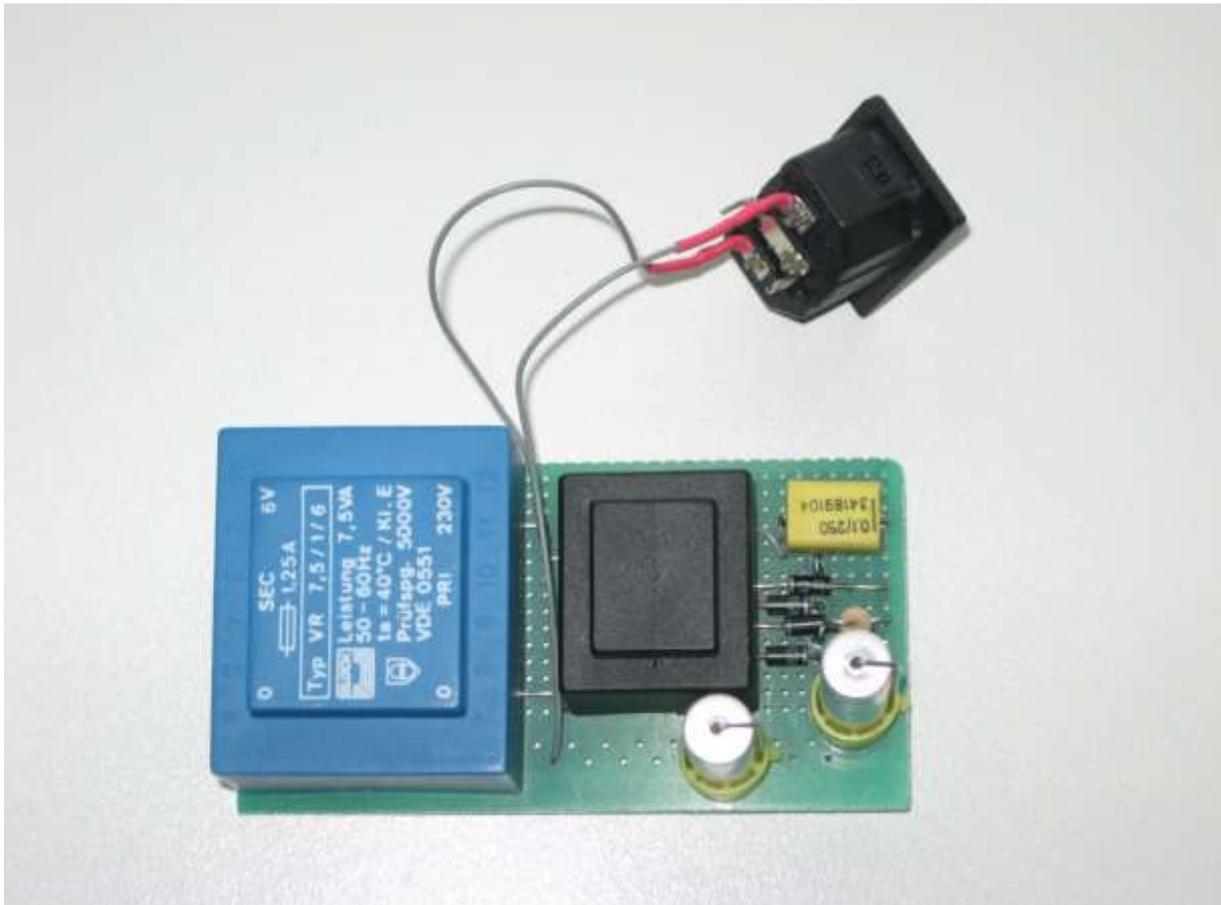


Photo 8 - L'alimentation est prête

Je dois avouer qu'une petite entorse à la proposition de base est venue se glisser dans le projet. J'ai en effet utilisé un 7824 pour stabiliser la haute tension de 24 V. Mea culpa.



Photo 9 - L'alimentation est en place



Photo 10 - Cela devient présentable

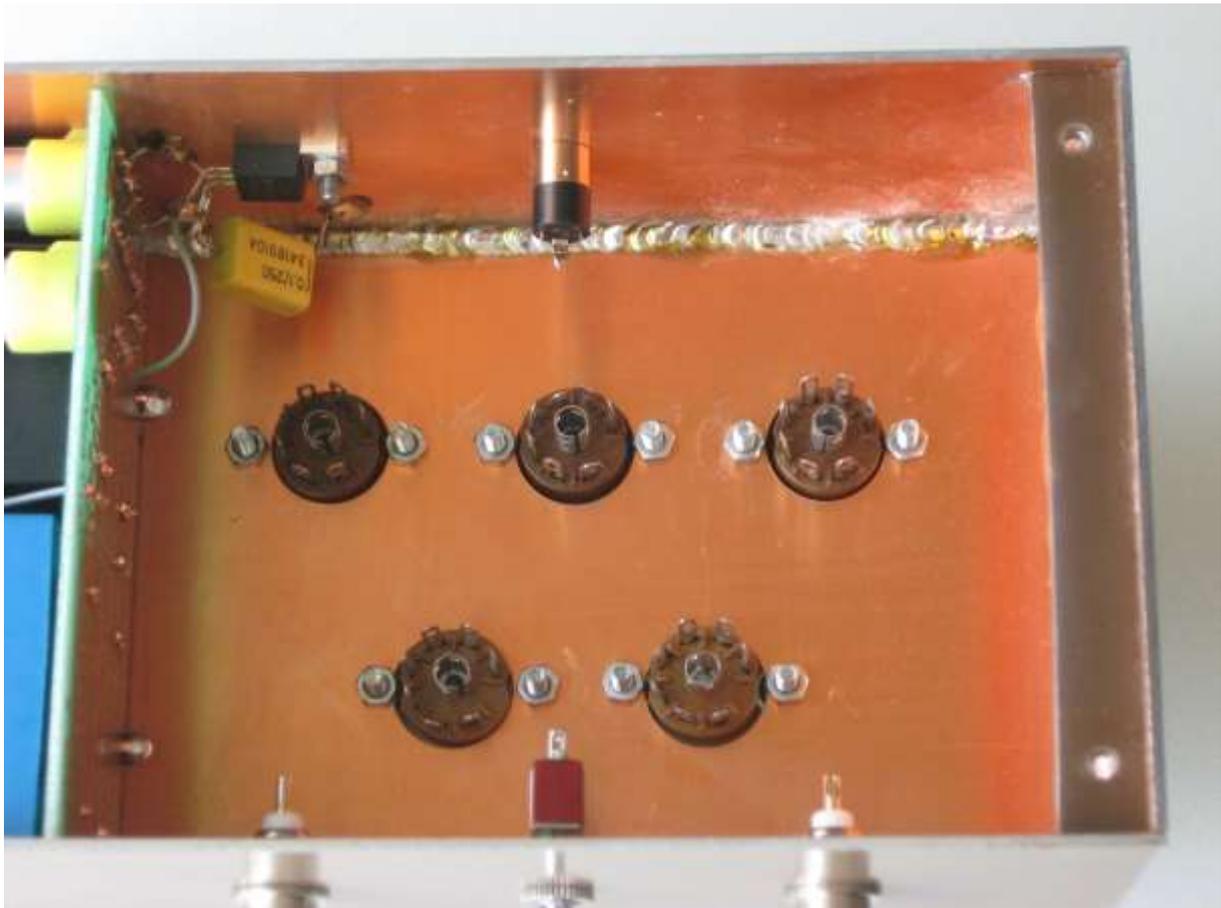


Photo 11 - A l'intérieur, cela manque encore un peu de décoration

## Le deuxième oscillateur local

Bien que ce soit le deuxième, j'ai quand même commencé par la construction du second oscillateur local. Ceci afin de pouvoir tester en premier la plus importante modification du schéma original : le déphasage de  $90^\circ$  nécessaire pour la création des signaux I et Q. Ce test ne peut se faire que si le signal du second oscillateur est présent.

Le type du résonateur céramique que j'avais commandé est : CSB470. Cependant, il m'a été livré un ZTB470E. Il s'avère que c'est le type que Kainka a pris en photo de sa collection de composants. Il mentionne qu'il a utilisé de « grandes capacités » pour tirer la fréquence vers le bas de 3 kHz. Pourtant, il s'avère que les valeurs spécifiées sont un peu trop importantes, du moins dans mon montage. Les 56 pF, en parallèle avec le résonateur, s'avèrent superflus et les deux 330 pF peuvent diminuer de valeur, l'un d'à peu près la moitié et l'autre d'un tiers plus petit. Cela tourne à 466,9 kHz ce qui est suffisamment précis pour moi...

La tension du signal à la sortie du deuxième oscillateur local est de 6,2 V P-P (Peak to Peak = Pointe à Pointe).

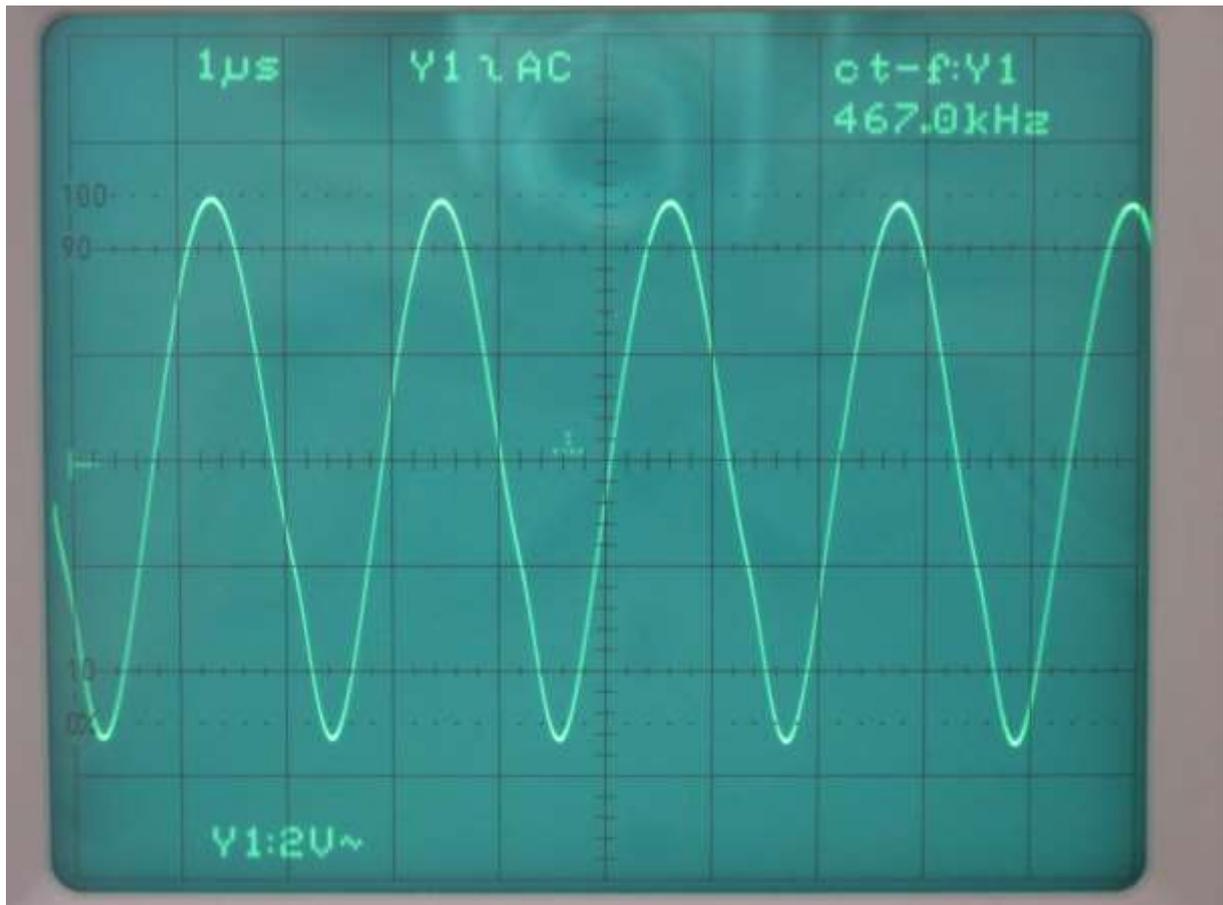


Photo 12 - La sortie du deuxième oscillateur local

Il en reste 1,91 V P-P après le filtre de déphasage. Attendons de voir si cela sera suffisant. Dans le schéma de Kainka la sortie du deuxième oscillateur local est effectivement branchée directement sur la grille écran g2 de l'étage mélangeur. Dans ma modification, le filtre de déphasage y est intercalé, ce qui fait qu'un niveau de signal plus bas reste disponible à l'entrée oscillateur des étages mélangeurs.

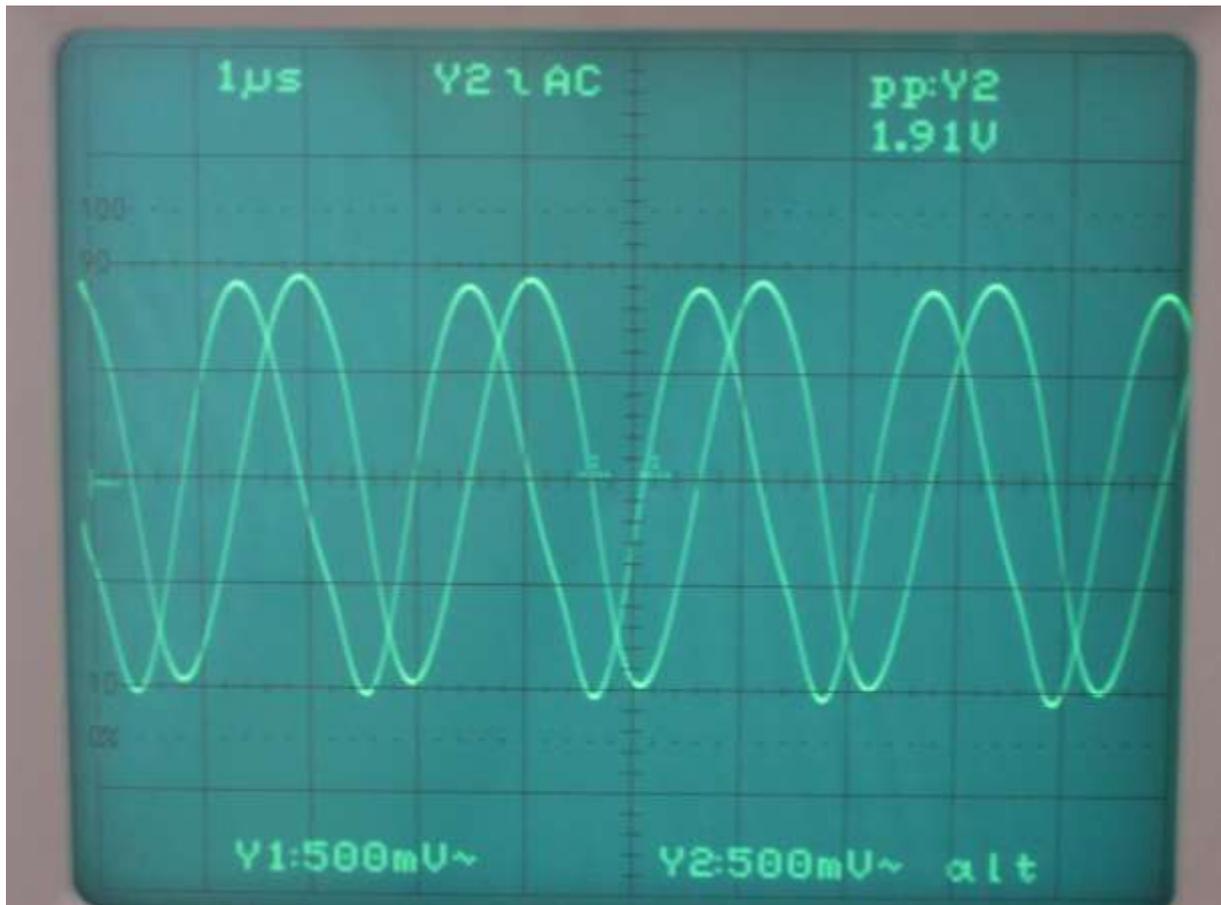


Photo 13 - A l'entrée des deux mélangeurs

La tension est effectivement plus petite ; ce qui ne me surprend pas : c'est un filtre passif et cela donne évidemment toujours une atténuation. Mais le déphasage est manifestement bien là. Cela devient bien apparent quand on branche les deux signaux respectivement sur les entrées X et Y de l'oscilloscope. La figure de Lissajous à laquelle on s'attend avec un déphasage de  $90^\circ$  est un cercle. Le scope montre que cela tourne (pas tout-à-fait) bien rond. La bosse est due au fait que le signal de sortie du deuxième oscillateur local est un peu déformé, la moitié du dessous du sinus ressemble un peu à une dent de scie.

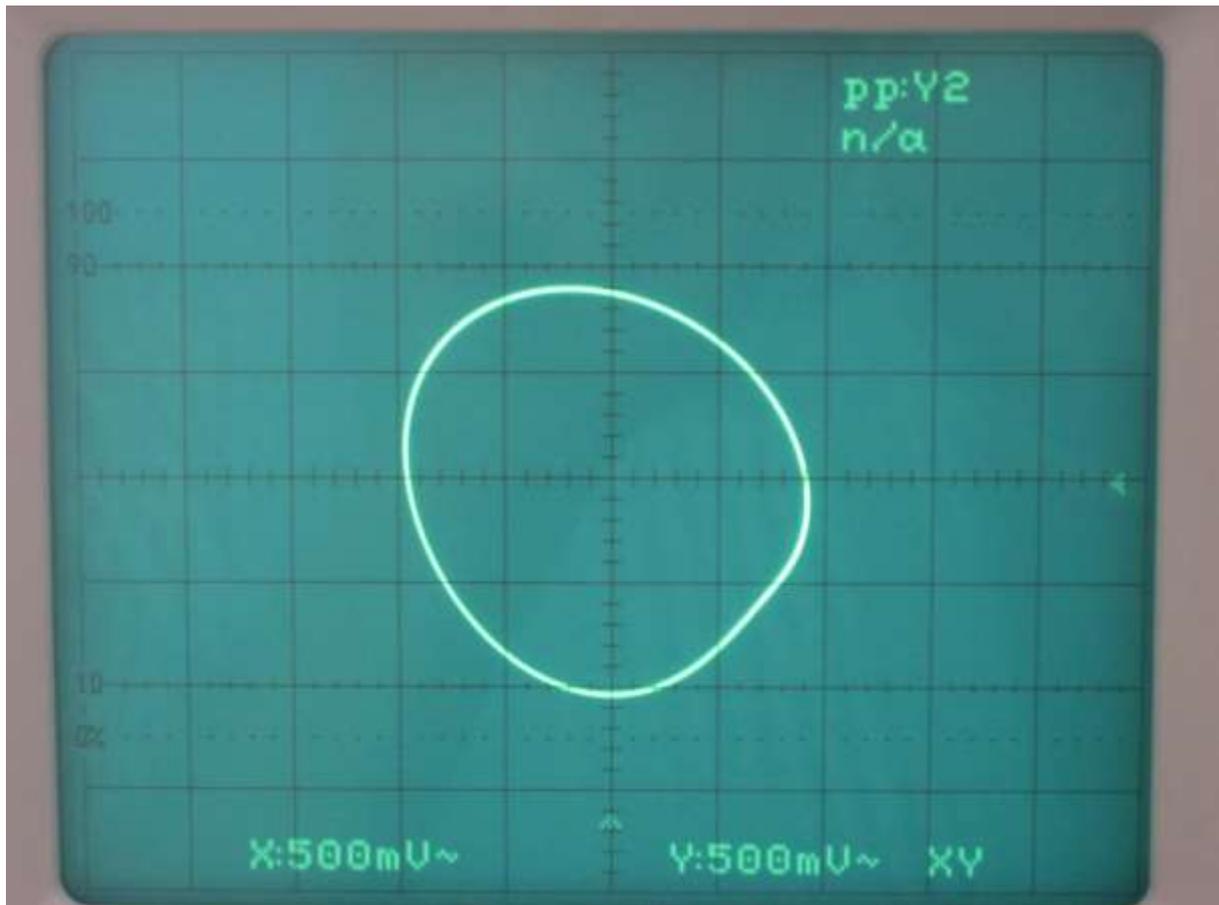


Photo 14 - Cela (ne) tourne (pas tout à fait) rond

Probablement cela causera un peu de distorsion dans le signal de sortie, mais il est trop tôt pour en tirer des conclusions. Il faudra encore constater à quel point les différents programmes SDR sont sensibles à ce type de distorsion.

## Les étages mélangeurs

L'étape suivante est alors de vérifier si, avec une tension plus petite à l'entrée, le signal de sortie est encore suffisamment grand. C'est donc au tour des étages mélangeurs.

Un premier test laisse directement craindre le pire : 0 V AC à la sortie et pas de tension de biais DC sur la cathode. Qu'est-ce qui ne va pas ? Les tubes ne sont quand même pas cassés ? Bon, pas de panique, réfléchissons plutôt. Le circuit n'est pas encore complet et il n'y a pas encore de signal sur la grille g1. Plus fort : il n'y a aucune connexion avec la grille. Donc, la grille g1 a toutes les chances d'accumuler les électrons émises par la cathode. Cela crée une tension négative sur la grille g1 et le tube est bloqué. Il ne peut donc pas passer de courant vers l'anode ; la cathode ne tire pas de courant non plus et par conséquent il n'y a pas de chute de tension dans la résistance de cathode. Exactement les symptômes que l'on vient de mesurer.

Avec un petit bout de fil avec deux petites pinces crocodile, la grille g1 est temporairement branchée à la masse et immédiatement, un beau sinus apparaît à la sortie. 245 mV P-P n'est pas spécialement beaucoup, mais je suppose qu'à priori cela devrait suffire pour une entrée microphone d'une carte son. On pourra le vérifier ultérieurement. Plus important pour le moment est de constater que les

deux étages mélangeurs délivrent effectivement une tension de sortie presque aussi grande l'une que l'autre. Il ne sera donc probablement pas nécessaire de réduire les 24V DC sur la grille écran g2 de l'un aux 19,3 V DC qui se trouvent sur écran g2 écran de l'autre tube.

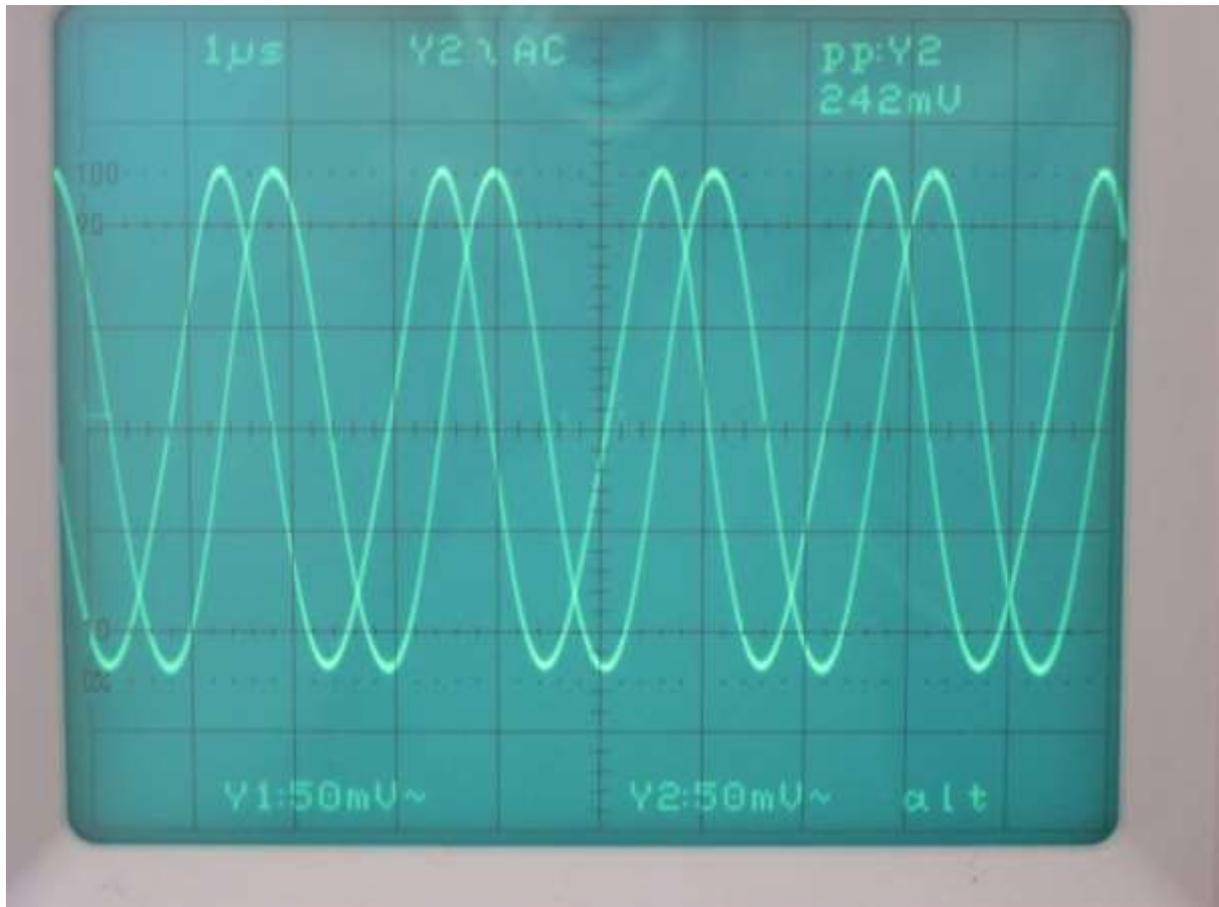


Photo 15 - I et Q

## Le premier oscillateur local

Le seul problème avec le premier oscillateur local est l'obligation d'utiliser un cristal. Il faut que cela oscille à la bonne fréquence, si l'on veut recevoir l'émetteur. Cette fréquence est donc la fréquence de l'émetteur moins les 455 kHz du filtre de fréquence intermédiaire. La boîte de cristaux de récupération ne contient aucun cristal de cette fréquence et la liste que Guy ON4MS vient de m'envoyer n'en mentionne non plus dans la bonne plage de fréquence. Il va sans doute falloir en faire tailler un sur mesure. Probablement cela deviendra alors le composant le plus cher de tout le montage.

Utiliser provisoirement un cristal dont la fréquence s'approche de la bonne valeur, au moins comme cela le circuit peut être testé. La recherche de cristal peut se faire ultérieurement.

L'oscillateur fonctionne sans problème, bien que là aussi le signal ne soit pas parfaitement sinusoïdal.

Pour obtenir un peu plus de flexibilité dans le choix de la fréquence de réception sans pour autant dénaturer le projet, j'ai prévu une entrée pour un signal d'oscillateur externe. Par le biais d'un petit interrupteur bipolaire (merci Roger ONL 6570) le premier oscillateur local incorporé peut être

débranché et via l'entrée DDS supplémentaire, le montage peut recevoir un signal externe. Le signal de l'oscillateur externe est injecté sur la cathode de l'étage d'entrée. La grille écran g2 de cet étage est alors branchée à la haute tension de manière à ce qu'il devienne à nouveau une véritable grille écran, là où avec l'oscillateur local interne, elle est en fait utilisée comme deuxième grille de contrôle. L'idée de ce montage vient directement de la description d'une variante que Kainka présente dans son livre où il utilise un DDS comme premier oscillateur local.

## L'étage HF

La description de l'étage HF dans le livre est relativement sommaire. Et le contenu du tiroir à composants de récup ne correspond ni à ce qui est décrit, ni à ce qui est visible sur la photo du prototype. De l'expérimentation sera nécessaire...

Je n'ai pas de self à ferrite réglable de 8 mm (c'est ce que je crois voir sur la photo de Kainka). Mais j'ai bien un tore en ferrite rouge T37-2 et une longueur de fil à bobiner de faible diamètre, un restant d'un projet antérieur. Cela doit pouvoir servir. Finalement, l'étage d'entrée n'est qu'un simple étage en résonance parallèle avec une self et un condensateur. Si je ne peux régler la self, je peux toujours utiliser un condensateur variable.

<http://toroids.info/T37-2.php> propose une calculatrice bien pratique pour calculer le nombre de spires, la longueur du fil et permet en même temps de spécifier une fréquence à laquelle le circuit doit résonner. La calculatrice calcule alors la capacité nécessaire. Inversement, il est également possible de spécifier la fréquence ainsi que la capacité et de calculer alors l'inductance. Pratique. Essayer : 6,175 MHz et 300 pF (la fréquence de Radio France International et la capacité dans le schéma de Kainka) cela donne une inductance de 2,21  $\mu$ H avec 23,5 spires. Kainka mentionne 20 spires pour son bobinage, avec un branchement pour l'antenne à 7 spires. L'ordre de grandeur correspond bien.

Démarrer encore une fois le programme de simulation et essayer quelques valeurs pour L et C. Avec 2  $\mu$ H et 270 pF il y a un pic d'impédance dans le haut de la bande des 49 m tandis qu'avec 330 pF il y a un pic dans le bas de cette bande. Je ne pense pas trouver facilement un condensateur variable qui présente juste ces valeurs, mais l'ordre de grandeur est connu et réalisable avec une capacité fixe en parallèle sur une capacité variable, si nécessaire avec un petit condensateur en série avec la partie variable du circuit.

D'abord un petit quart d'heure de figlage avec ce petit tore et un demi-mètre de fil de bobinage. Ne pas oublier de faire le branchement après 7 spires... Ensuite sortir le LCR-mètre de l'étagère. Il indique 2,45  $\mu$ H. Enlever la dernière spire et l'appareil indique 2,19  $\mu$ H. Close enough ! Souder un petit condensateur de 270 pF en parallèle et utiliser ensuite le Mini-VNA. Le pic d'impédance se situe à 6,178 MHz. Again: close enough !

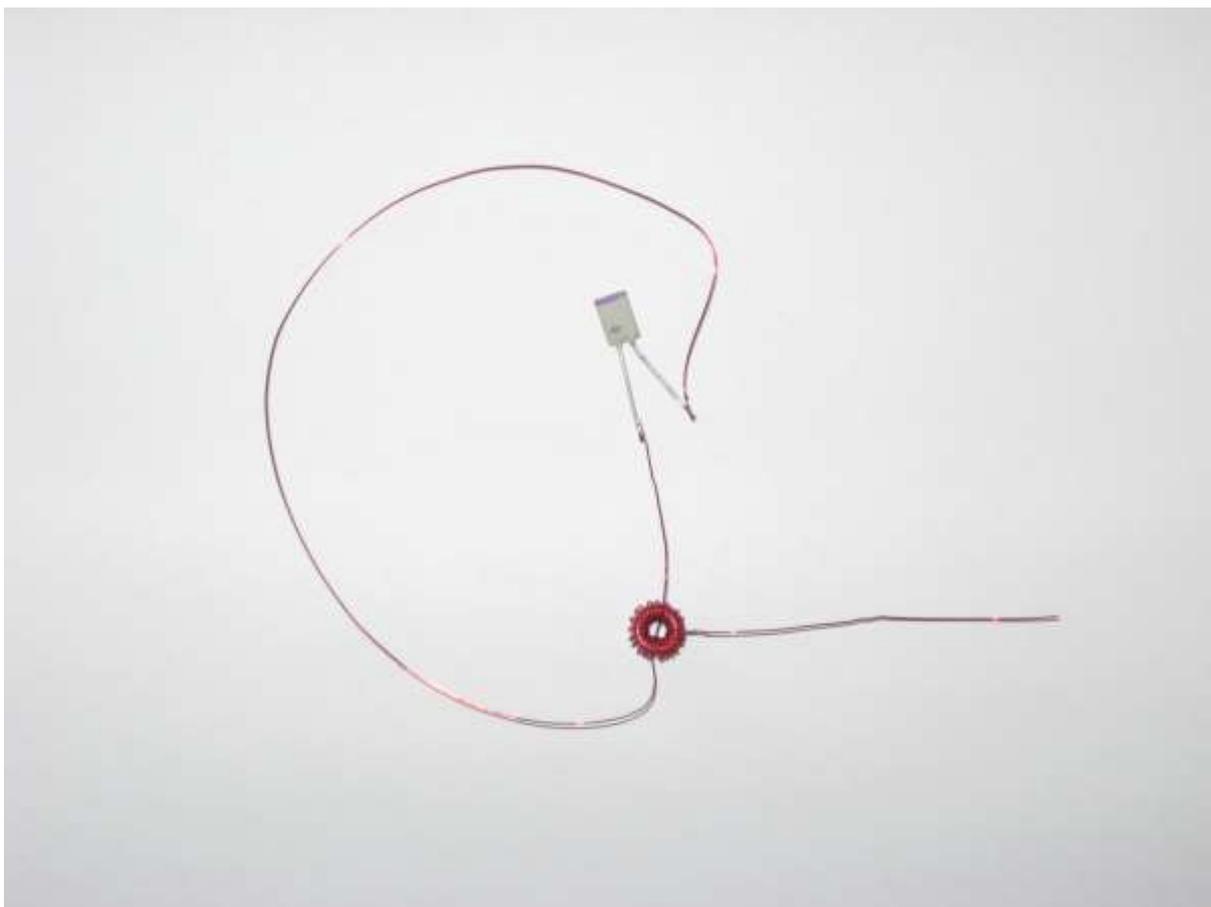


Photo 16 - Le prototype du circuit d'entrée

## Le filtre de fréquence intermédiaire

Pas de problème avec le filtre en tant que tel, j'en ai d'ailleurs encore une vingtaine en réserve (et là aussi j'ai payé plus en frais de port que le prix du matériel...). Mais les deux transformateurs n'ont pas été spécifiés dans le livre. Tout ce que Kainka en raconte c'est qu'ils viennent d'un assortiment de chez [www.pollin.de](http://www.pollin.de). Cela ne m'aide pas beaucoup.

La conclusion d'une vive discussion lors de la réunion mensuelle suivante est qu'avec du matériel récupéré sur une vieille petite radio portable cela devrait probablement bien fonctionner. Jean-Pol ON4DJP connaît les couleurs des différentes fonctions par cœur. Guy ON4MS vient de me passer un jeu de transfos comme cela. A la grâce de Dieu alors.

Il faut avouer que je n'ai pas d'idée comment faire pour régler ces choses-là. Encore de la matière à expérimentation, donc. Peut-être je peux sortir le Mini-VNA encore une fois ; il dispose d'une fonction qui permet de tester des filtres. Il doit être possible même de faire cela quand tout est déjà monté. A part l'anode de l'étage HF à l'entrée et les grilles des étages mélangeurs à la sortie il n'y a pas d'autres composants connectés au circuit de filtrage. Il n'y a donc rien qui puisse influencer la mesure, il me semble.

Pour monter les deux transfos et le filtre, je les ai soudés, couchés sur leur flanc, sur un petit bout de circuit imprimé et ensuite j'ai soudé ce petit bout de circuit imprimé dans le boîtier. Trois bouts de fil pour l'entrée, la sortie et les 24 V. La masse est partout.

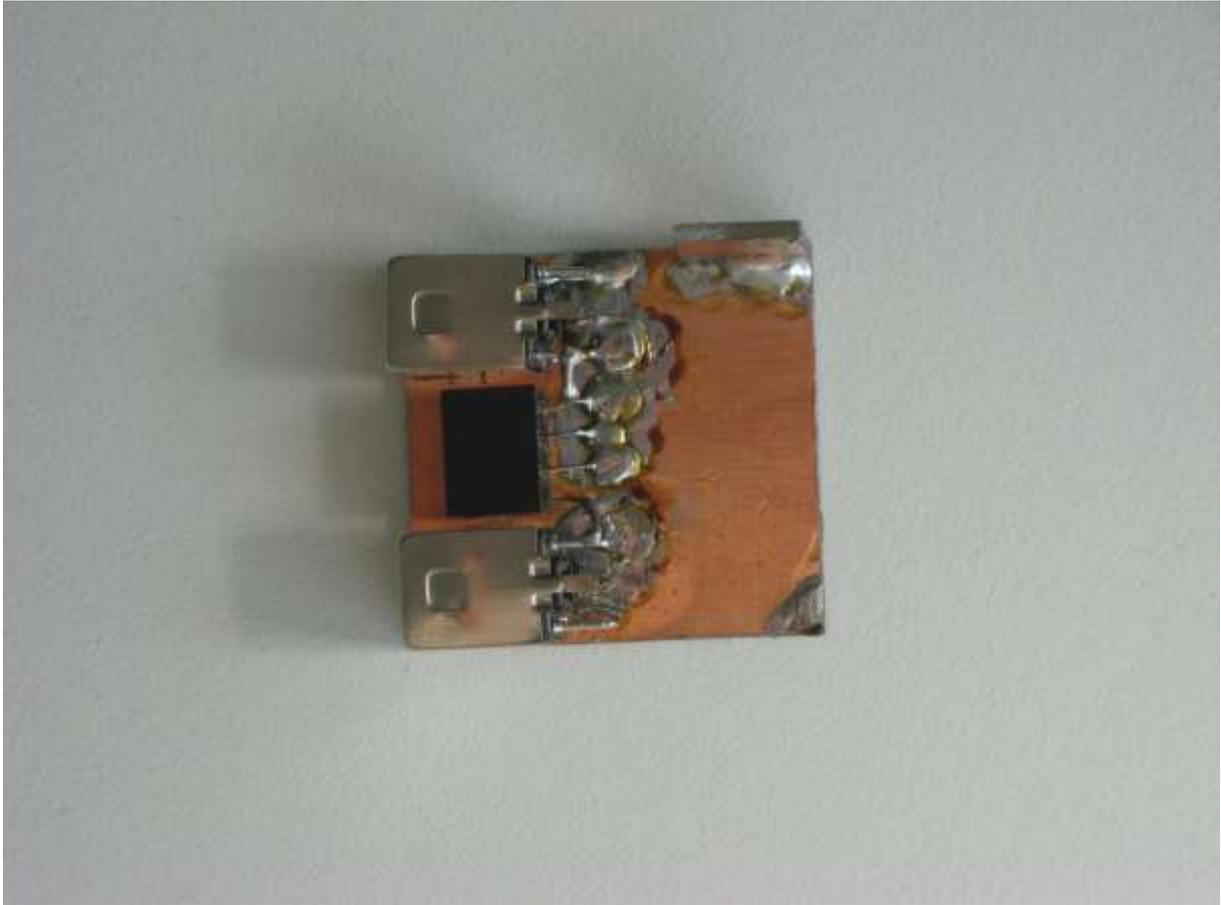


Photo 17 - Montage de filtrage de fréquence intermédiaire

### **The proof of the pudding...**

Enfin tous les composants sont montés.



Photo 18 - Tout y est

Les cinq tubes montés dans leur soquet, la sortie audio branchée sur l'ordinateur en envoyer le jus ! Démarrer SDR# et sélectionner la bonne entrée sur le PC et voilà que le bruit se pointe. Mais pas encore de signal... Enfin, bon, avec un cristal du stock noir qui résonne sur une fréquence (beaucoup) trop haute pour pouvoir encore travailler dans la bande des 49 m, il ne faut pas que cela nous étonne. Les transfos de fréquence intermédiaire dont les caractéristiques ne sont pas vraiment connues et ne sont par ailleurs pas encore réglés (et je me demande d'ailleurs toujours comment je peux faire cela d'une bonne manière).

Il y a en tout cas un effet microphonique prononcé : quand je tape (fort) sur le châssis du montage, j'entends une demie seconde plus tard un « ping » qui sort du souffle. Il est aussi bien visible dans la « chute d'eau » en SDR#. Ce qui prouve au moins qu'il y a suffisamment de signal sur les sorties I et Q pour que l'un et l'autre fonctionne.

Peut-être qu'un autre cristal dans le premier oscillateur local apportera un peu d'amélioration. Voyons ce qu'on a encore en stock. Renverser la boîte sur la table et regarder un à un (avec la loupe, bien entendu) les chiffres qui y sont inscrits. Finalement, j'en ai trouvé un qui résonne sur 5,824 MHz. Plus 455 kHz cela donne 6,279 MHz, une fréquence juste au-dessus de la bande, mais probablement suffisamment proche pour encore recevoir l'un ou l'autre signal. Un peu d'écoute avec l'Icom montre un signal sur 6,2749 MHz ; cela doit être encore tout juste audible dans la bande passante de 12 kHz. Mais c'est un signal avec un type de modulation que je ne connais pas ; aucun des modes que fait l'Icom ne rend une audio compréhensible. Serait-ce par hasard une station DRM ?

Je crois que je devrais considérer de me procurer un générateur de signal HF. Ce serait quand même bien pratique de pouvoir tester l'étage HF en se basant sur un signal stable et connu. Cela rendrait la mesure bien plus simple. Avec rien qu'un signal faible d'un émetteur qui n'émet même pas sur la bonne fréquence, ce n'est vraiment pas possible.

Il s'avère bien que les tensions que j'avais mesurées pendant les tests des différents étages séparés diffèrent de celles mesurées maintenant avec tous les tubes installés. Problème c'est que la DC sur la grille g2 des deux étages mélangeurs diffère maintenant assez fort : 14,9 V pour l'étage Q pour 20,4 V pour l'étage I. avec comme résultat que la tension de sortie présente aussi une nette différence entre I et Q : un rapport de presque 1 sur 2. Ce qui représente certainement un écart trop important pour être bon. Je pense que je devrai brancher la résistance de 10 kΩ pour l'étage I via un potentiomètre afin de pouvoir régler la tension de référence.

Rapport sur le progrès du projet est fait lors de la réunion mensuelle de la section de BSE. Plusieurs suggestions sont faites pour le réglage de l'étage de fréquence intermédiaire.

Tout d'abord, les deux transfos de fréquence intermédiaire doivent être identiques. Ce qui n'est pas le cas maintenant, j'avais mal compris les indications que Jean-Pol m'avait données lors de la réunion précédente. En outre, il s'avère que ce que je croyais être brun est en fait du rouge décoloré. Ce qui fait que le transfo choisi est en fait inutilisable pour mon projet. Il faut que ce soient deux jaunes ou deux blancs. Encore une fois scruter le stock et faire chauffer le fer à souder...

Il y a plusieurs façons pour mesurer la performance de l'étage de fréquence intermédiaire : un analyseur de réseau (« network analyser »), un générateur de bruit et un oscilloscope sensible ou un microvoltmètre, un générateur de signal haute fréquence et un scope, etc. Le but est tout d'abord de pouvoir constater que l'atténuation de l'étage complète transfo, filtre, transfo à une fréquence de 455 kHz n'est pas beaucoup plus grande que l'atténuation du filtre céramique seul. Il faut ensuite regarder la forme de la courbe de la bande passante : elle doit être similaire à celle caractéristique du filtre céramique quand les transformateurs sont bien réglés.

Lors de la réunion l'assemblée convient qu'il suffit de retirer les tubes de leur soquet pendant les mesures. Il n'est pas nécessaire de dessouder l'étage complètement de son entrée et de sa sortie, bien que ce soit probablement bien nécessaire afin de pouvoir remplacer le transformateur en défaut.

## Mesurer, c'est savoir

Roger ONL 6570 me donne son Leader model LSG-II. Ainsi, au moins un problème est réglé : je dispose maintenant bien d'un générateur de signal... Et cela m'apprend bien vite que le seul transformateur de fréquence intermédiaire dans le « stock » qui pourrait éventuellement servir est cassé. Il y a bien un signal au primaire, mais rien au secondaire. Pas étonnant qu'il n'y avait que du souffle.

J'ai donc ouvert encore une fois le tiroir, mais cette fois-ci sans succès. Il n'y a pas d'alternative que d'en commander ; chez Mouser ils ont exactement ce dont j'ai besoin. Et à nouveau cela coûte (beaucoup) plus de les faire envoyer que de les acheter. Probablement parce que Mouser envoie le matériel à partir de Memphis, TN, bien que la commande soit faite sur le site web Belge et malgré

qu'ils aient un bureau à Eindhoven. Et cela ne réduit pas le délai de livraison, mais la patience est une belle vertu.

Deux transfos flambant neufs de la bonne couleur... Ne reste plus qu'à les régler correctement. D'abord brancher chaque transfo séparément sur l'analyseur d'impédance et régler à résonance sur 455 kHz et après montage, sortir l'oscilloscope et le générateur de signal. Délicatement tourner d'un tour le noyau du transfo à l'entrée ne donne pratiquement pas de différence. L'influence du transfo de sortie est bien plus importante. Bien régler pour un signal de sortie maximum donne 56 mV P-P pour 250 mV P-P de signal d'entrée. C'est un peu moins que ce qu'on pouvait espérer, mais c'est assez pour faire une nouvelle tentative. Pour filtrer, cela filtre :

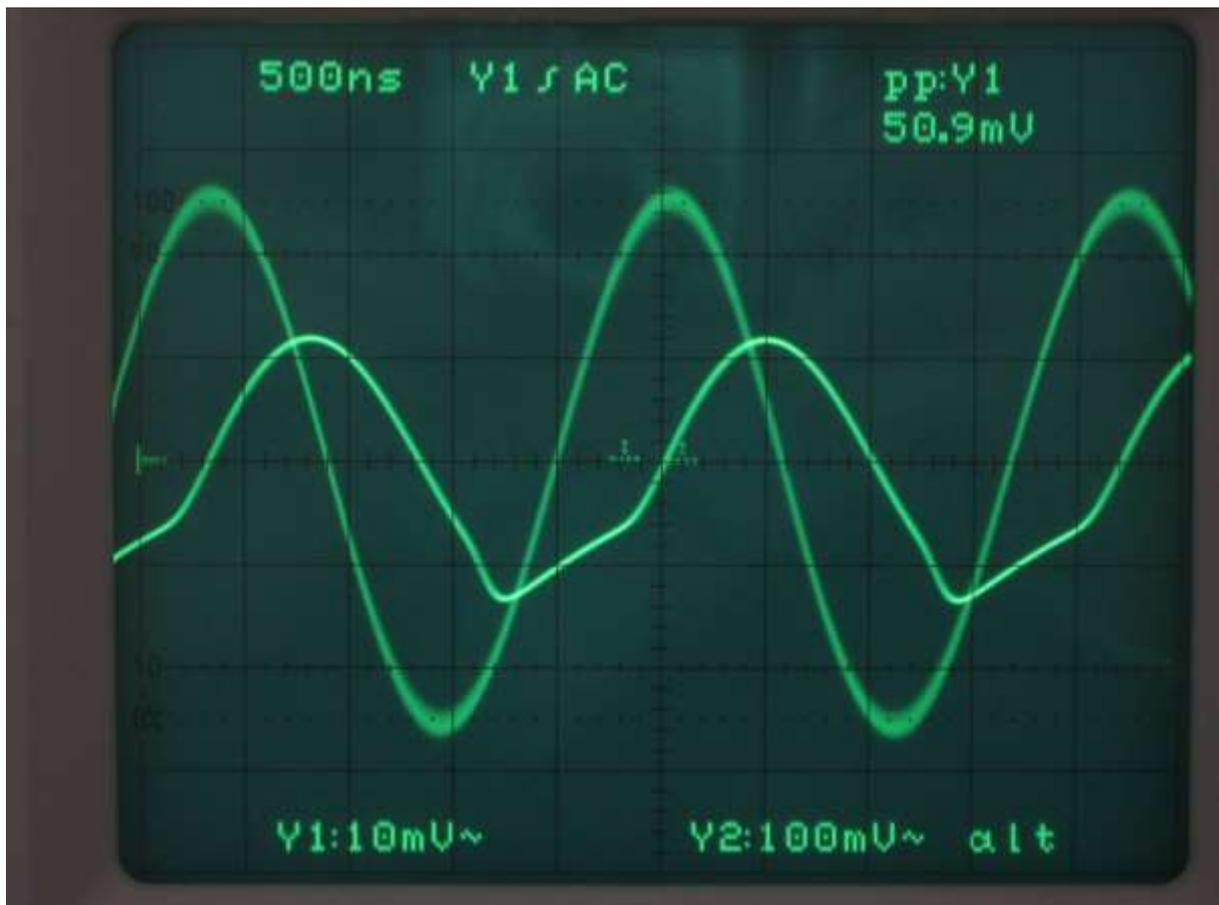


Photo 19 - Pour filtrer, ça filtre...

En somme, le générateur de signal a besoin d'une révision ; le signal d'entrée sur Y2 n'est pas vraiment une sinusoïde nette, mais le signal de sortie sur Y1 l'est bien. Le maximum se situe exactement à 455 kHz.

Comme l'influence du réglage du transfo d'entrée n'est pratiquement pas mesurable, j'ai décidé de régler le circuit d'entrée sur résonance (impédance maximum). J'ai utilisé le MiniVNA pour cela. A cause de l'impédance (trop) haute – l'instrument a finalement été conçu pour mesurer autour des 50  $\Omega$  – la valeur absolue n'est peut-être pas tout-à-fait correcte, mais la forme de la courbe est de la bonne forme :

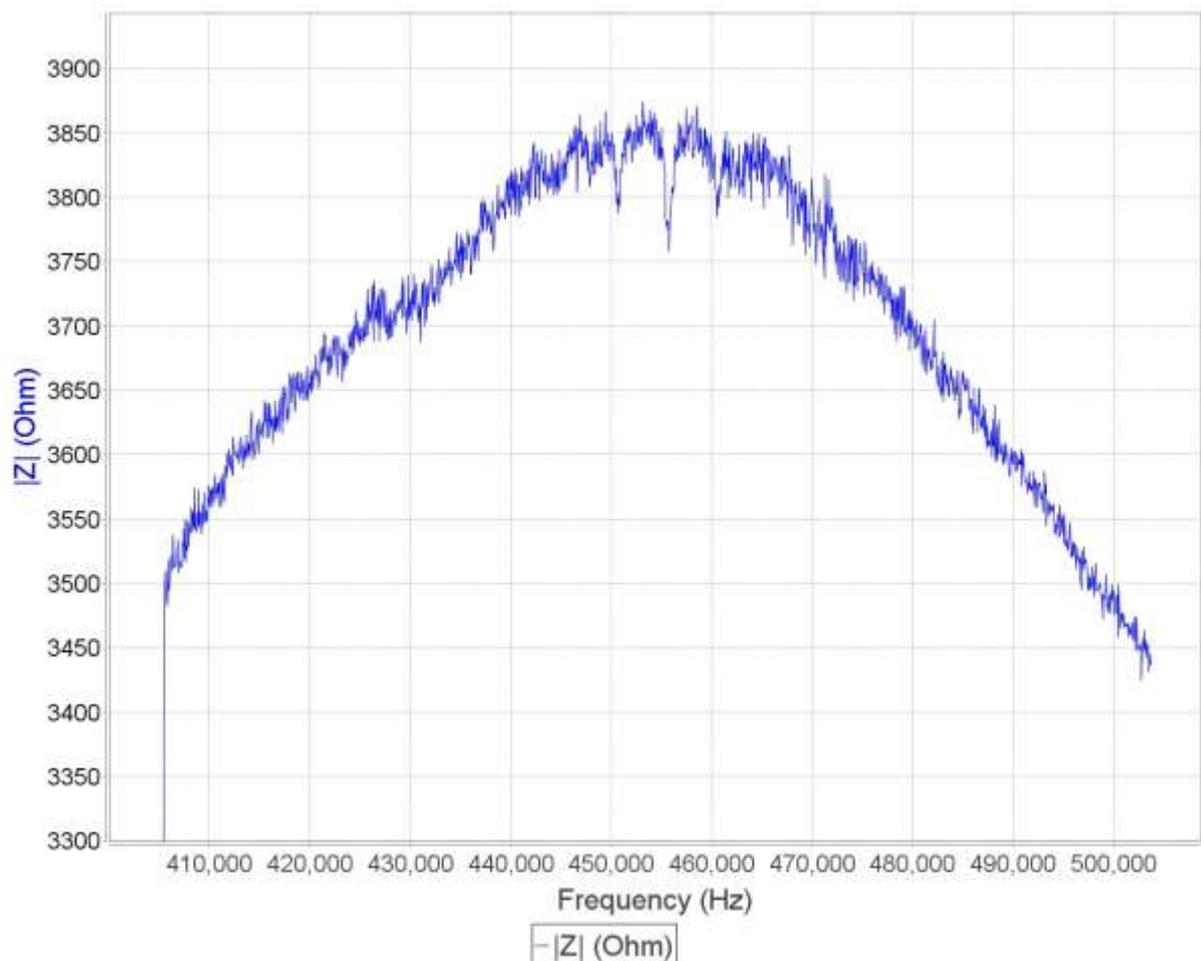


Photo 20 - Impédance maximum

Joliment centré sur 455 kHz ; finalement, il s'agit de moins d'un quart de tour du noyau. La différence d'impédance entre 449 et 461 kHz (la bande passante du filtre céramique suivant) tombe dans le souffle. Je ne suis pas mécontent.

Et comme on est quand même occupé à mesurer, pour le sport, mesurons l'impédance de l'entrée d'antenne. Hmmmm... pas tout-à-fait ce qu'on attendait. Le pic – donc la fréquence de résonance – se situe à 6,5 MHz, ce qui est un peu plus haut que ce que la mesure du prototype laissait penser. Mais cette fréquence peut être abaissée en mettant une capacité supplémentaire en parallèle sur celle déjà présente. Si on prend une capacité variable, c'est certainement possible de corriger la résonance au Hz près. J'ai encore des petits condensateurs ajustables de 30 pF... Cela sera bien du figinage pour le mettre au bon endroit et avec la bonne orientation (il faut encore pouvoir tourner la petite vis...). Le pic s'avère aussi fort étroit. Trop étroit en fait pour couvrir l'ensemble de la bande de 49 m. Ce qui est bon pour la sélectivité et la sensibilité, mais il rend un réglage du circuit d'entrée bien nécessaire. Avis aux constructeurs : mieux vaut sans doute ne pas bobiner sur un tore, mais bien sur un barreau ferrite. Une valeur de Q un peu moins élevée rendra la bande passante un peu plus large.

A la réunion mensuelle suivante, Alex ON1KNM apporte son lampemètre AVO 163.



Photo 21 - AVO 163

Une belle pièce de collection et un très bon instrument de mesure. On l'utilise pour mesurer mes cinq petits tubes :

Buis	Ia (mA)	Ig2 (mA)
1	9,0	5,5
2	7,5	5,2
3	8,2	4,6
4	8,0	4,8
5	11,0	4,7

Table 1 – Caractéristiques des lampes

Tout cela avec une tension d'anode de 150 V, une tension de grille écran g2 de 150 V et une tension de grille de commande g1 de -2,3 V, comme prescrit le bouquin. Ce ne sont pas les tensions qui seront d'application dans mon montage, mais cela fournit bien un contrôle de la qualité des lampes, qui diffèrent donc suffisamment pour expliquer les différences des tensions que j'ai mesurées pendant les expérimentations antérieures. Je n'ai, en effet, pas fait attention à toujours mettre les tubes à la même place dans le montage lors des différents essais. Un point d'attention qui aura manifestement son importance dans le montage final. En particulier, il importe de choisir pour les deux étages mélangeurs deux tubes dont les caractéristiques sont le plus possible similaires. Les numéros 3 et 4 semblent être les bons candidats pour cela. Le numéro cinq est probablement le bon candidat pour l'étage d'entrée.

A cette même réunion, le schéma définitif (jusqu'à contordre...) comportant les dernières modifications est également présenté.

Encore quelques jours de congé, il est temps de faire chauffer le fer à souder et d'appliquer les dernières modifications dans le circuit. Ce qui me fait constater qu'il y a quand même encore une (toute dernière ?) modification du schéma à appliquer. En effet, comme c'est proposé lors de la dernière réunion, seul le point de référence de tension continue d'un des deux filtres R-C des étages mélangeurs est réglé par le potentiomètre. Cela risque de causer une déviation sur la phase des  $45^\circ$ . Il faudra donc que le point de référence de tension continue de l'autre filtre C-R soit réglé par ce même potentiomètre. Il importe que le point de référence soit le même pour les deux filtres pour que le déphasage de  $90^\circ$  soit maintenu. Le condensateur dans l'autre branche bloque de toute façon la tension continue ; la tension continue sur la grille g2 de V5 est donc déterminée exclusivement par le rapport entre les résistances fixes entre cette grille et la haute tension (et par le courant qui y passe, bien évidemment). La patte de ce condensateur doit donc également être dessoudée et branchée sur le curseur du potentiomètre.

Après que les tubes ont été mis dans leur emplacement correct, compte tenu des résultats des mesures et après avoir réglé le potentiomètre, les deux étages mélangeurs finaux reçoivent la même tension continue de 14,4 V sur leurs grilles g2 respectives. On peut espérer que le niveau du signal de sortie de ces deux étages soit un peu plus proche l'un de l'autre. Le circuit d'entrée est réglé de façon à ce que la fréquence de résonance s'approche des 6,279 MHz et alors on peut démarrer le programme SDR# encore une fois et tester. Bien sûr, maintenant, il n'y a pas de signal sur cette fréquence. Alors on fait une courte émission (pirate) simplement en AM sur charge fictive. Et effectivement : je m'entends. Succès !

Rappelez-vous du signal sur 6,2749 MHz. Toujours aussi indécodable. DReaM ne le reconnaît pas non plus ; ce n'est donc pas du DRM.

Le résultat final est montré lors de la dernière réunion de 2017 de la section de BSE. Parce que l'Icom est beaucoup trop lourd pour le déplacer, j'utilise la possibilité du générateur de signal HF pour moduler en amplitude le signal HF par une tonalité de 1 kHz. Et effectivement : cela siffle à merveille.

Des mesures supplémentaires montrent la présence d'assez bien de 467 kHz parasite sur les sorties I et Q. Peut-être bien la raison pourquoi la sensibilité n'est pas si grande. L'entrée microphone de la carte son du PC ne détecte bien évidemment pas ce signal, car cette entrée ne peut traiter que des signaux audio – donc en dessous d'à peu près 20kHz –, mais il est bien possible qu'il y ait une influence sur le circuit d'entrée. Stefan ON6TI avait déjà suggéré que ce pourrait être problématique et proposait de remplacer la division de tension avec les condensateurs de 22 nF et de 330 pF par un filtre passe-bas. Peut-être que je dois suivre cette suggestion.

Un « RC Low-pass Filter Design Tool » est disponible sur <http://sim.okawa-denshi.jp/en/CRLowkeisan.htm>. Voyons ce qui est nécessaire pour réaliser un filtre passe-bas avec une fréquence de coupure de 40 kHz. L'outil propose une résistance de 12 k $\Omega$  si je veux conserver le condensateur de 330 pF. J'ai encore des résistances de 10 k $\Omega$  ; si j'entre la combinaison de 10 k $\Omega$  avec 330 pF, le calcul donne une fréquence de coupure de 48,2 kHz. A 20 kHz cela donne une atténuation de 0.7 dB, à 467 kHz de 20 dB. Je vais faire chauffer le fer à souder une dernière fois...

Il faut bien que je fasse attention : si je remplace le condensateur de 22 nF par une résistance, de la tension continue (la haute tension sur l'anode de V4 et V5) va se mettre sur la sortie et cela risque fort d'être mortel pour la carte son. Mieux vaut garder le condensateur de 22 nF, mais le brancher après le filtre passe-bas.

Avec cette dernière(?) modification appliquée il reste encore 39 mV P-P à 467,7 kHz sur la sortie I et 19 mV P-P sur la sortie Q. Effectivement bien moins qu'au préalable. La sensibilité ne s'est pas vraiment améliorée, mais les pics de modulation se distinguent quand même mieux dans la chute d'eau du SDR#.

## Le composant le plus cher

Comme il ne reste apparemment plus d'émetteurs DRM dans la bande des 49 m, j'ai décidé de choisir une autre fréquence. Deutsche Welle émettait jadis sur 6070 kHz, mais a entre-temps cessé toute émission en AM. Rainer DB8QC avec son groupe de radioamateurs allemand ont pu récupérer l'émetteur et ont aussi obtenu la permission d'émettre sur cette même fréquence en AM. Pour que cela reste quand même un projet radioamateur, j'ai donc commandé un cristal sur 6,525 MHz (6070 kHz + 455 kHz de fréquence intermédiaire). Ce qui devient du coup le composant le plus cher de tout le montage :



Photo 22- Le composant le plus cher

Je n'ai pas posé la question, mais je soupçonne que si j'en avais commandé mille les mêmes, je n'aurais probablement pas payé beaucoup plus. La main d'œuvre pour régler de la machine...

Très bien emballé, il faut le dire.

Le circuit d'entrée est réglé sur 6070 kHz et lors de la dernière réunion de la section, une démonstration de l'ensemble est donnée. Il semble que l'étage d'entrée soit relativement sourd. OK, mon antenne n'est pas accordée sur 49 m, mais quand même. Le consensus de la réunion est que c'est probablement le tore à l'entrée qui fait que le circuit d'entrée soit trop sélectif. Il s'avère effectivement que le pic d'impédance à la fréquence de résonance – qui peut être mesuré parfaitement bien avec le Mini VNA – est très pointu et très étroit. Un signal AM requière 9 kHz de bande passante et le circuit d'entrée dans sa forme actuelle n'a pas ça.

Mais cela fonctionne donc bien : quand j'émetts sur une charge fictive à cette fréquence en AM, je m'entends bel et bien dans le haut-parleur de l'ordinateur où tourne le programme SDR#.

La self du circuit d'entrée devra être remplacée par un exemplaire à plus faible Q afin d'augmenter la bande passante du circuit. La sélectivité est maintenant tellement pointue qu'un signal AM n'y passe plus.

## Le schéma

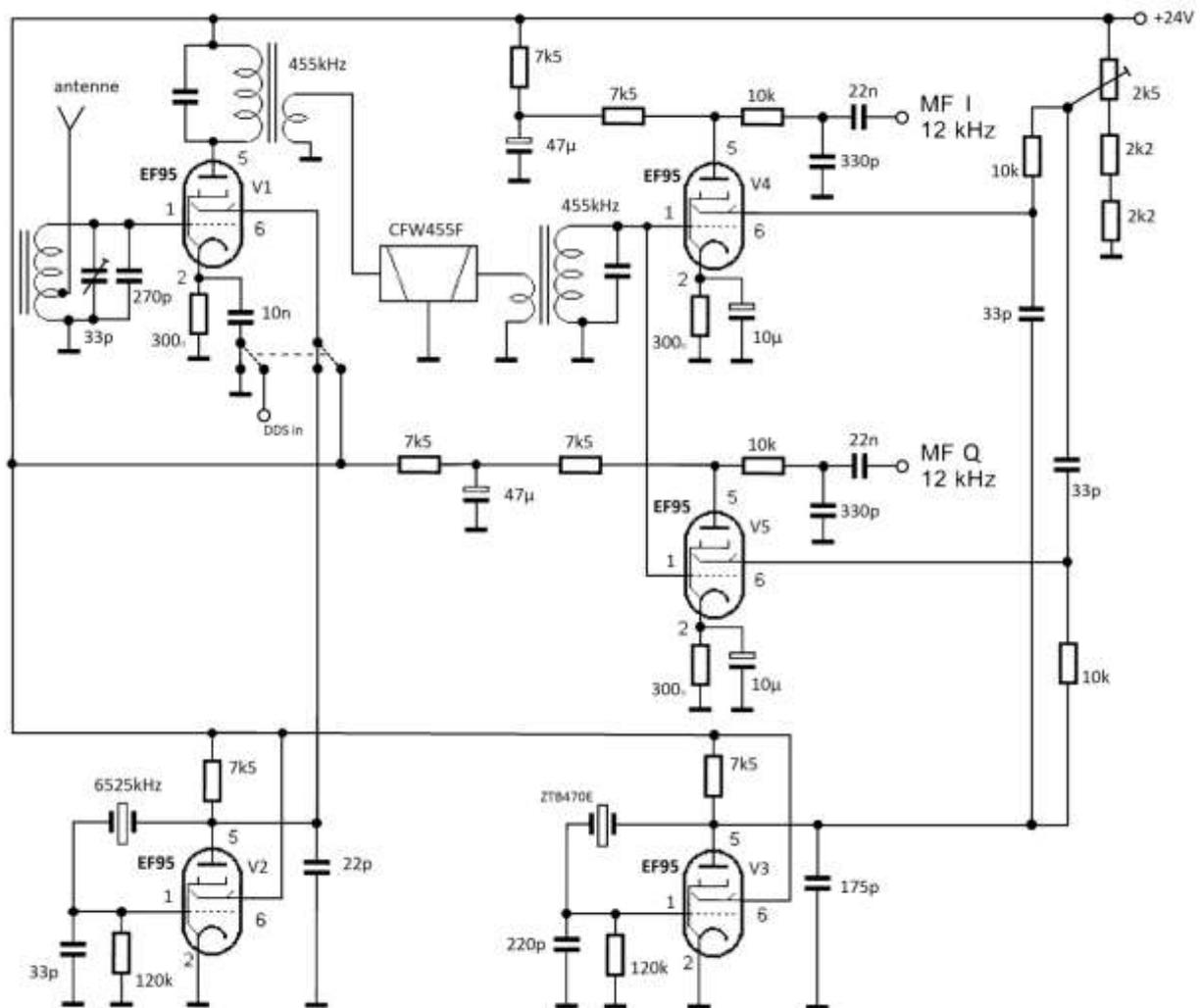


Figure 4 – Le schéma

Toutes les tensions d'entrées et de sorties prennent référence par rapport à la masse.

V1 est l'étage d'entrée HF et en même temps le premier étage mélangeur.

V2 est le premier oscillateur local.

V3 est le deuxième oscillateur local. Avec les valeurs données des capacités, il tourne à 467 kHz, malgré la spécification de 470 kHz du résonateur céramique.

V4 et V5 sont les étages mélangeurs de sortie respectivement pour I et Q. Notez la disposition des condensateurs de 33 pF et des résistances de 10 kΩ à droite dans le schéma : ils assurent le déphasage de deux fois 45° de manière à créer le signal de l'oscillateur local avec une différence de phase de 90° sur les grilles respectives. Les deux résistances de 2k2 rendent le réglage du potentiomètre un peu plus souple, la variation de tension s'étend de 15 à 24 V. Ainsi, la plage de réglage est un peu plus grande que si j'avais utilisé un potentiomètre de 10 kΩ sans résistance supplémentaire. Notez que la tension continue au curseur du potentiomètre n'a pas d'influence sur la composante de tension continue du signal sur la grille g2 de V5 parce que la tension continue est bloquée par le condensateur de 33 pF.

## Conclusion

Le projet a absorbé pas mal de temps et d'effort pour un résultat plutôt médiocre. Il est certes vrai que l'on peut construire un récepteur AM de bonne qualité avec moins de moyens et moins d'effort. Certains considéreront même que le projet a donc échoué. En revanche, il a donné lieu à plusieurs heures de discussions animées sur la technique de la radio et à une collaboration au sein de la section. Personnellement, je considère ce dernier point comme étant un résultat important et le succès du projet.

De plus amples expérimentations avec l'entrée DDS sont encore au programme. Afin d'obtenir une bande passante plus large, il sera probablement nécessaire de modifier le circuit d'entrée.

Merci à Burkhard Kainka pour l'idée et pour l'autorisation de publier le schéma modifié. Merci également à Guy ON4MS, Alex ON1KNM, Jean-Pol ON4DJP, Roger ONL 6570, Paul ON4QH et Stefan ON6TI pour leur contribution en matériel et pour la critique constructive pendant toute la durée du projet.

## Epilogue

Manifestement, le DRM est une mode passée. A part les émissions très locales en Allemagne et surtout en Inde, il ne reste que très peu de stations broadcast qui utilise ce mode. Le site web <http://www.drm.org> n'est plus mis à jour que sporadiquement ; le calendrier d'émission de la BBC ne s'étend, au moment de la rédaction de cet article (fin décembre 2017) qu'à octobre 2017... D'autres sites web sites mentionnant le mode DRM ou qui donnent des calendriers d'émission n'existent quasiment plus. C'était donc une bonne idée de prévoir les sorties I et Q afin de permettre l'utilisation d'autres programmes SDR et d'autres modes.

## Glossaire et abréviations

DDS	Direct Digital Synthesis	Génération d'un signal analogique par synthèse numérique directe.
DRM	Digital Radio Mondiale	Un standard de radiodiffusion numérique pour les ondes courtes, moyennes et longues.
GIYF	Google Is Your Friend	
IC	Integrated Circuit	
NOS	New Old Stock	Pièces neuves d'époque n'ayant été vendues pendant une longue période.
P-P	Peak-to-Peak	
SDR	Software Defined Radio	

Table 2 - Abréviations

A	Anode
g1	Grille de commande – de contrôle
g2	Grille écran
g3	Grille supprimeuse – d'arrêt
K	Cathode

Table 3 – La pentode