

Un récepteur multifréquence simple et performant pour l'écoute et le décodage des balises de détresse 406 MHz (seconde partie)

Jean-Paul YONNET
F1LVT@yahoo.fr
www.F1LVT.com

Dans la première partie de ce projet, nous avons vu comment il est possible de modifier la carte électronique d'un récepteur 400 MHz achetée sur Ebay pour 15 € afin de construire un récepteur bien adapté à l'écoute des balises de détresse [1]. Le récepteur WAVIX fonctionne grâce à un oscillateur à quartz (bande 20 MHz) dont la fréquence est multipliée par 18, suivi par un circuit MC13135 opérant par double changement de fréquence et démodulation FM (Photo 1).

- Nous avons développé en particulier comment il est possible de :
- ajouter un S-mètre analogique pour visualiser la force des signaux reçus,
 - piloter les oscillateurs par synthétiseur DDS,
 - adapter la plage de fréquence reçue par changement de 1 ou 2 quartz,
 - ajuster la fréquence du premier oscillateur par diode Varicap.

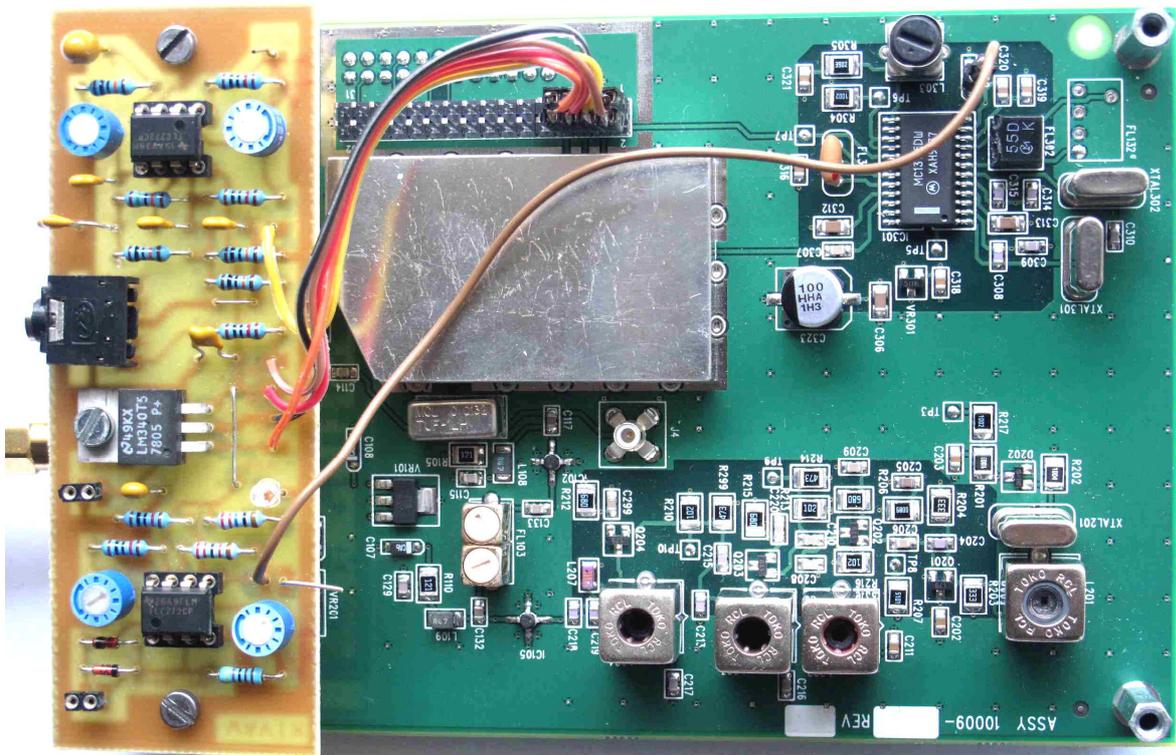


Photo1 : Récepteur Wavix, avec une carte additionnelle pour le S-mètre et la Correction Automatique de Fréquence.

1- Les besoins pour la réception des signaux des balises 406

Les balises 406 transmettent sur une série de fréquences. Les premières balises enregistrées entre 1982 et 2001 étaient sur la fréquence **406,025 MHz** (Canal B). Ensuite, les balises enregistrées entre 2000 et 2006 étaient sur **404,028 MHz** (Canal C). Les balises plus récentes, enregistrées entre 2004 et 2011, sont sur **406,037 MHz** (Canal F). Depuis 2010, les nouvelles balises émettent sur la fréquence **406,040 MHz** (Canal G). Le canal A (406,022 MHz) est réservé au système COSPAS-SARSAT. Les canaux D et E (406,031 et 406,034 MHz) ne sont pas utilisés pour permettre la localisation par effet Doppler. Il en sera de même pour les canaux H et I.

Cette série de fréquences complique la réception. Les fréquences à recevoir sont situées dans un intervalle de 15 kHz allant de 406,025 MHz à 406,040 MHz, soit $\pm 7,5$ kHz autour de la **fréquence centrale 406,0325 MHz**. Les signaux sont modulés en PSK, modulation qui peut être décodée en NBFM. Avec un récepteur NBFM synthétisé, il faut balayer rapidement les différences fréquences. Il est possible de le faire avec un récepteur large bande appelé « Scanner » programmé sur 4 fréquences et balayant rapidement ces canaux. Mais les fréquences utilisées par les balises sont au pas de 3 kHz, pas de 3 kHz qui n'est pas accessible avec les scanners bas de gamme qui sont souvent au pas de 5 kHz. On peut se caler sur la fréquence la plus proche au pas de 5 kHz, mais c'est au détriment de la sensibilité du décodage. Quant aux émetteurs-récepteurs FM qui couvrent la bande UHF, ils ont un pas minimum de 5kHz. Pour avoir le pas de 3Hz et se caler exactement sur les fréquences des balises, il faut utiliser des scanners haut de gamme, capables de recevoir la BLU.

Pour la carte Wavix que nous sommes en train de transformer en récepteur 406, il existe une autre technique qui fonctionne très bien : c'est la Correction Automatique de Fréquence, la « CAF » en abrégé. Avec notre récepteur Wavix, corriger la fréquence reçue de 7,5 kHz est assez facile à réaliser. C'était une technique largement répandue avant l'apparition des récepteurs synthétisés.

En plus de la bande à recevoir, il faut avoir un récepteur très sensible et bien filtré. La carte Wavix répond parfaitement à ces caractéristiques.

2- Comment adapter le récepteur pour la plage de fréquences des balises de détresse 406 MHz

Dans la première partie, nous avons montré comment il est possible de caler la fréquence nominale du récepteur sur la bande COSPAS SARSAT en changeant deux quartz. La première solution proposée consistait à changer le premier quartz 20,63 MHz par un quartz d'horloge 20,240 MHz, et le second quartz 18,43 MHz par un quartz CB 26,625 MHz [1].

En plus de la première solution (Q1 = 20,240 et Q2 = 26,625), il existe une seconde solution, toujours avec des quartz standard très bon marché. Pour le premier oscillateur local, le quartz 20,63 MHz est remplacé par un quartz Q1 = **20,736 MHz** et le quartz du second oscillateur par un quartz Q2 = **22,1184 MHz**. C'est cette seconde solution que nous avons utilisé pour les modifications finales de la carte Wavix.

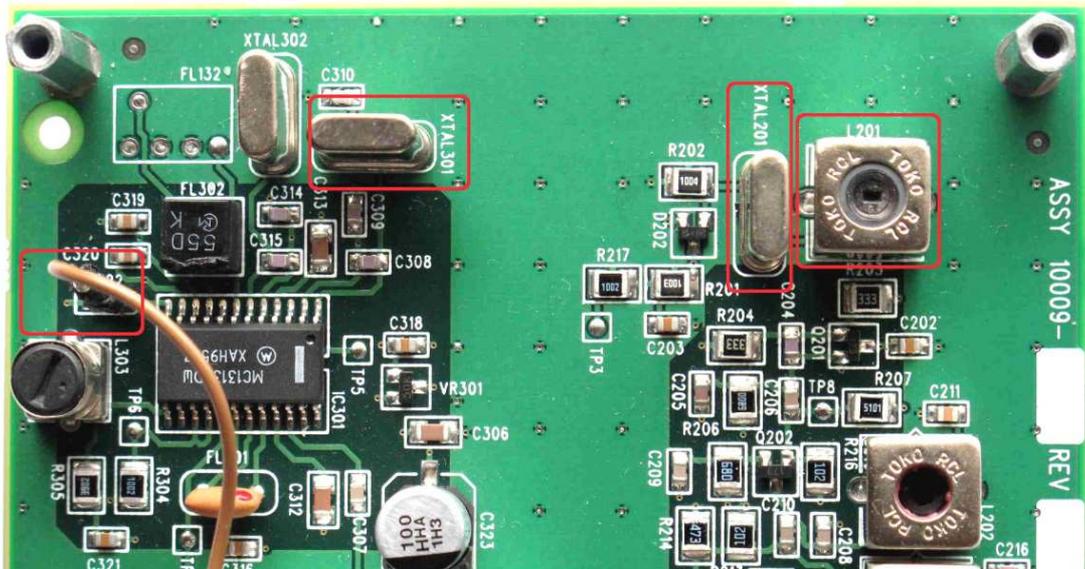


Photo 2 : Les éléments à modifier sur la carte du récepteur Wavix : sur la partie gauche, autour du circuit MC13135, il faut remplacer XTAL301 et ajouter la prise du signal du S-mètre sur C322 ; sur la partie droite (oscillateur OL1), il faut remplacer XTAL201 et ajuster la fréquence par L201.

La photo 2 montre les éléments à modifier sur la carte. XTAL201 est le quartz du premier oscillateur local, dont la fréquence est multipliée par 18. Le quartz d'origine (20,63 MHz) est à remplacer par un quartz 20,736 MHz (Photo 3). A côté de ce quartz, l'inductance L201 permet d'ajuster la fréquence de l'oscillateur. De l'autre côté du quartz, on voit la diode D202, une double Varicap de type BB200 [1].

Toujours sur la photo 2, près du circuit MC13135, XTAL301 est le quartz du deuxième oscillateur local. Le quartz d'origine à 18,43 MHz est à remplacer par un quartz 22,1184 MHz (Photo 4). Près du bord de la carte (Photo 2), on voit un fil marron soudé sur le condensateur C322, sur l'extrémité la plus proche du MC13135. Ce fil transmet à la carte additionnelle le niveau du signal de sortie (RSSI) ce qui permet de piloter le S-mètre.

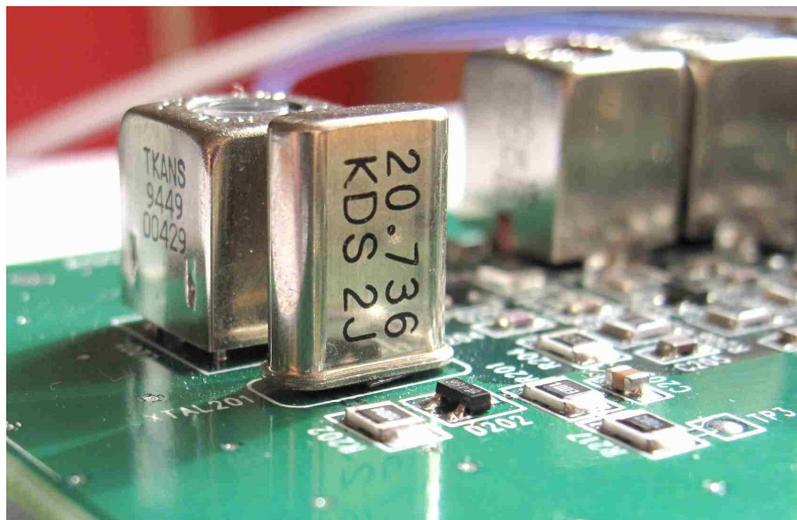


Photo 3 : Le nouveau quartz du premier oscillateur local

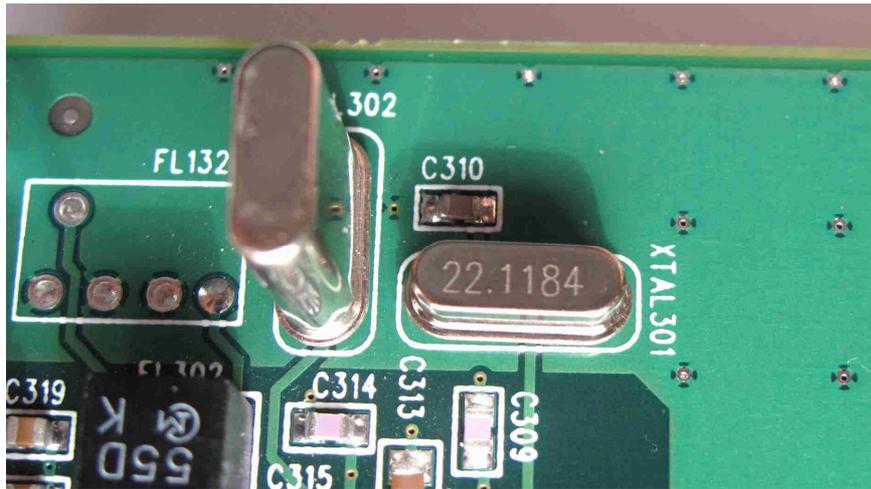


Photo 4 : Pour le deuxième oscillateur local, le quartz 22,1184 est en format HC-49S

Le quartz 20,736 MHz de l'OL1 est utilisé pour donner les fréquences de référence des systèmes téléphoniques DECT. On le trouve sur Ebay à moins de 3 euros (port en plus) par paquet de 10. Quant au quartz 22,1184 MHz, il est utilisé dans les systèmes de transmission type UART car cette fréquence permet de générer les différentes vitesses standard de transmission (4800 bd, 9600 bd, etc ...). On trouve ce quartz à moins d'1,50 € les 10 sur Ebay (port compris).

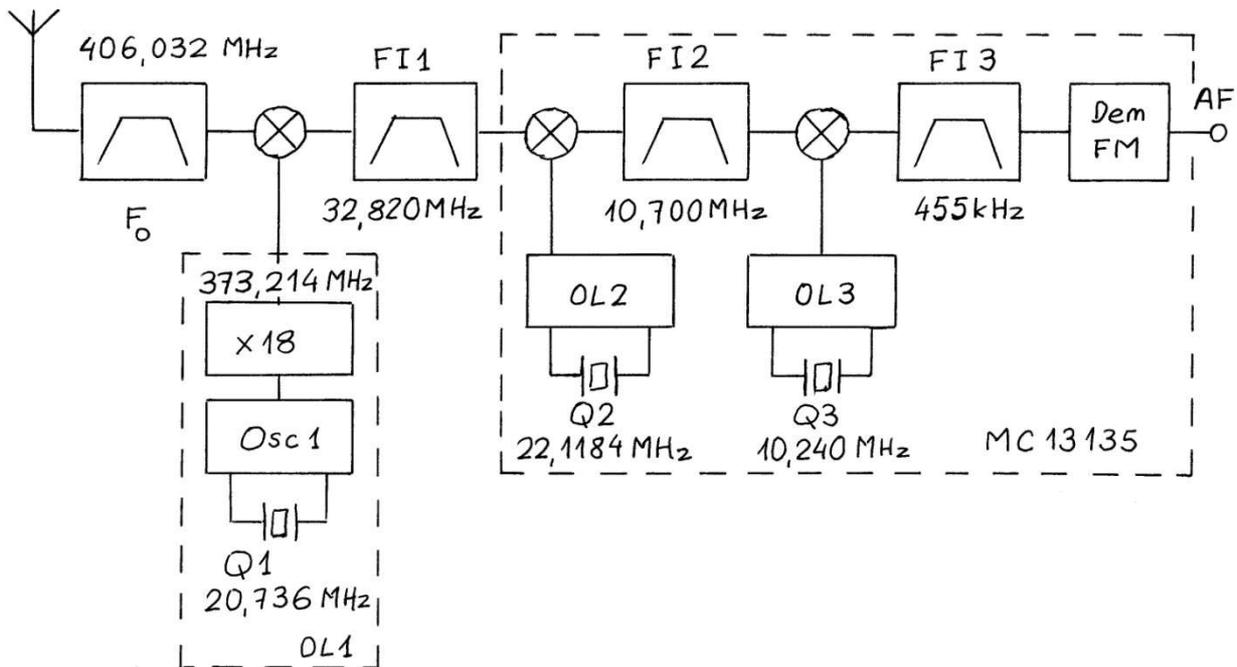


Figure 1 : Les différentes fréquences des oscillateurs locaux (OL1 OL2 et OL3) et les fréquences intermédiaires (FI1, FI2 et FI3)

Avec le quartz Q1 = 20,736 MHz, en sortie du multiplicateur par 18 on obtient une fréquence de l'oscillateur local OL1 de 373,214 MHz (fréquence mesurée, ce qui signifie que le quartz oscille en réalité sur 20,734 MHz)

La Figure 1 présente l'ensemble des fréquences des oscillateurs locaux (OL) et fréquences intermédiaires (FI) (Figure 1) :

$$\begin{array}{l} \text{FI2} = 10,700 \text{ MHz} \quad | \\ \text{OL2} = 22,118 \text{ MHz} \quad | \Rightarrow \text{FI1} = 32,818 \text{ MHz} \quad | \\ \text{OL1} = 373,214 \text{ MHz} \quad | \Rightarrow \mathbf{f_{RX} = 406,032 \text{ MHz}} \end{array}$$

Avec ces valeurs de fréquences locales et de filtres, la fréquence centrale de la bande reçue est de 406,032 MHz. C'est difficile de faire mieux.

Avec l'inductance série L201, il est possible d'accorder le récepteur sur une des différentes fréquences des balises et de construire un récepteur mono-fréquence. On arrive à ajuster cette fréquence sur une plage de l'ordre de 60 kHz (soit ± 30 kHz). Comme l'OL1 peut être calé sur toute fréquence entre 373,180 MHz et 373,240 MHz, notre récepteur peut être accordé sur n'importe quelle fréquence entre **406,000 MHz et 406,060 MHz** en jouant sur l'inductance série.

En supplément, on peut faire varier la fréquence reçue autour de la fréquence centrale avec la diode Varicap BB200 en série avec le quartz Q1. Comme la plage de variation de la fréquence est de ± 35 kHz, la plage de fréquence reçue par le récepteur mono-fréquence est de 406,032 MHz ± 35 kHz, ce qui donne une bande reçue de **406,000 MHz à 406,070 MHz**. Cela couvre largement nos besoins.

Les deux modes de réglage sont cumulables, par l'inductance série L201 d'une part et par la diode Varicap D202 d'autre part. Ce qui fait que la plage de variation totale est de 130 kHz, de 405,965 MHz à 406,095 MHz.

3- Analyse de la sortie démodulée

Quand la fréquence reçue est bien centrée, le signal démodulé présente une tension continue d'offset de 2,3 V. C'est une tension continue qui est superposée à la modulation.

Si la fréquence reçue est décalée en fréquence, ce décalage est vu comme une variation de fréquence, ce qui va provoquer une variation de l'offset. Par exemple pour un décalage de + 10 kHz, l'offset de 2,3 V monte à 3,0 V. Inversement pour un décalage de -10 kHz, cet offset descend à 1,6V. La variation de la tension d'offset est donc de :

$$\Delta S / \Delta f = + 70 \text{ mV} / \text{kHz}$$

L'excursion du signal démodulé est limitée. Elle est au maximum de 3,1 V et au minimum de 1,5 V. Ces extrema sont atteints pour ± 15 kHz. Quand on se rapproche de la limite supérieure ou inférieure, la modulation est écrasée.

Cette variation de la tension continue d'offset peut être utilisée comme détecteur de l'écart à la fréquence nominale. En pilotant la diode Varicap BB200 avec cette tension continue d'offset, on va pouvoir faire varier la fréquence de l'oscillateur OL1, pour accorder le récepteur sur la fréquence reçue. C'est un système de Correction Automatique de Fréquence.

4- La Correction Automatique de Fréquence

En faisant varier la tension de commande de la Varicap BB200, la réponse n'est pas vraiment linéaire. La valeur médiane de la tension de la Varicap est de l'ordre de 1,25 V. Autour de cette valeur, la fréquence varie dans le même sens que la tension de pilotage. Cette variation est de :

$$\Delta f / \Delta V_c = + 50 \text{ kHz} / \text{V}$$

L'excursion maximale mesurée est de 100 kHz pour une variation de 0,50 V à 2,75 V. C'est pour une tension de commande comprise entre 0,5 V et 2,0 V, ce qui correspond à $1,25 \text{ V} \pm 0,75$, que la réponse est la plus linéaire, donnant une variation de 70 kHz.

Pour réaliser le système de Correction Automatique de Fréquence (CAF), il faut d'abord filtrer la sortie du MC13135 pour en extraire la composante continue d'offset. Ensuite il faut amplifier le signal de commande et piloter la tension de la Varicap BB200. Par exemple si la fréquence reçue est plus élevée que la fréquence nominale, la tension d'offset va augmenter. En utilisant cette tension d'offset pour augmenter la fréquence de l'OL1, la fréquence de réception va augmenter, et le récepteur va se caler sur la fréquence reçue en annulant l'offset. Dès qu'il reçoit une porteuse, le récepteur est ainsi capable de s'accorder automatiquement sur la fréquence reçue.

Le montage réalisé pour le système de CAF est présenté sur la Figure 2. Le signal d'entrée est connecté directement sur la sortie AF du récepteur (sortie discriminateur non filtrée). En sortie du montage, la tension V_D est la tension de pilotage des diodes Varicap. Le filtrage de la sortie AF est effectué par un filtre passif du premier ordre, suivi d'un filtre actif toujours du premier ordre. L'étage final donne un peu de gain ; le gain global de la boucle de CAF n'est que de 3 environ.

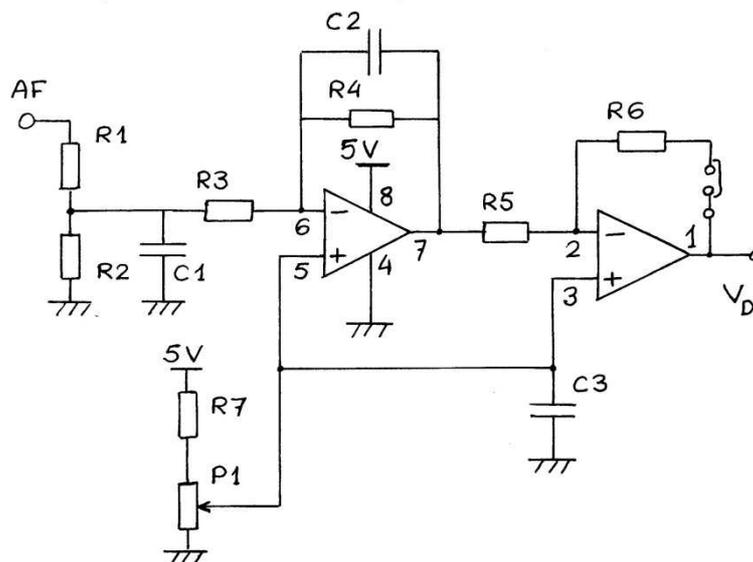


Figure 2 : Schéma électronique du système de CAF

Valeurs de composants utilisés :

$$R1 = R2 = R3 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R4 = 150 \text{ k}\Omega$$

$$R5 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R6 = 56 \text{ k}\Omega$$

$$P1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$C1 = C2 = C3 = 100 \text{ nF}$$

Double Ampl Op = TLC2272CP ou équivalent

Procédure d'alignement du récepteur

Le seul réglage, c'est la fréquence centrale de réception. Il faut au minimum un voltmètre pour mesurer V_D (la tension de pilotage de la diode Varicap) et un fréquencemètre pour mesurer la fréquence de l'OL1. En complément, un générateur UHF facilite le réglage.

En ayant enlevé l'ampli op. de son support, il faut régler P1 pour avoir 1,25 V sur les broches 3 et 5 du support. En déconnectant R6, et en faisant une liaison par fil entre les broches 3 et 1, on envoie la tension constante $V_D = 1,25$ V sur la diode Varicap. C'est le fonctionnement en récepteur mono-fréquence, sans CAF.

On peut vérifier la fréquence de l'oscillateur OL1 par le connecteur au centre de la carte avec un fréquencemètre. Il faut régler L201 pour avoir 373,214 MHz pour l'OL1.

Quand le récepteur est correctement réglé sur sa fréquence centrale, on peut mettre la boucle de CAF en fonctionnement : ampli op. sur son support et R6 connecté. Sans antenne, la tension V_D doit rester autour de 1,3V en fluctuant légèrement.

Test de fonctionnement de la CAF

Le test de fonctionnement montre que pour un décalage de ± 45 kHz autour de la fréquence nominale, le récepteur corrige automatiquement la fréquence et se cale automatiquement sur la fréquence reçue. Le S-mètre indique toujours la même valeur. Quand on atteint 50 kHz, le CAF décroche et n'arrive plus à compenser l'écart de fréquence. Pour ce décalage en fréquence de ± 45 kHz, l'oscillateur local se décale de ± 40 kHz, et la tension de commande de la Varicap présente une excursion de 0,5 V à 3,0 V.

Pour nos besoins avec une fréquence centrale de 406,0325 MHz et une excursion de $\pm 7,5$ kHz autour de cette fréquence centrale, la plage de fonctionnement de la CAF est très largement suffisante.

5- Rapidité de la Correction Automatique de Fréquence

En statique la CAF (Correction Automatique de Fréquence) fonctionne très bien, mais il est important que son temps de réponse soit assez court. En effet, une balise 406 commence par 160 ms de porteuse, suivi par les créneaux de synchronisation. Il faut donc que le récepteur adapte sa fréquence dès qu'il entend la porteuse, et si possible en moins de 100 ms.

Pour tester cette rapidité, nous avons piloté les Varicap par un petit signal en créneaux de $\pm 0,35$ V, avec un offset de 1,25 V. La fréquence de réception passe alternativement de 406,015 MHz à 406,050 MHz. La réponse de la CAF correspond à des créneaux amortis par un filtre du premier ordre type RC, avec une constante de temps de l'ordre de 20ms. Cette constante de temps est introduite en grande partie par le filtrage de la sortie AF pour en extraire la tension continue d'offset.

Cette constante de temps de 20 ms est tout fait compatible avec l'écoute des balises. En 60 ms (3 RC), la fréquence de réception est calée. Cette durée est nettement inférieure à celle de la porteuse qui précède l'envoi de la trame.

6- La carte additionnelle

La photo 5 montre la carte additionnelle qui a été construite. Elle assure l'interface et le pilotage des fonctions complémentaires. A gauche, on voit le circuit de commande du S-mètre analogique à partir de la tension de RSSI. Dans la partie centrale se trouve le régulateur 7805. Le circuit de pilotage de la Correction Automatique de Fréquence est à droite. La connexion avec la carte Wavix est effectuée sur le connecteur JP1 (Figure 3).

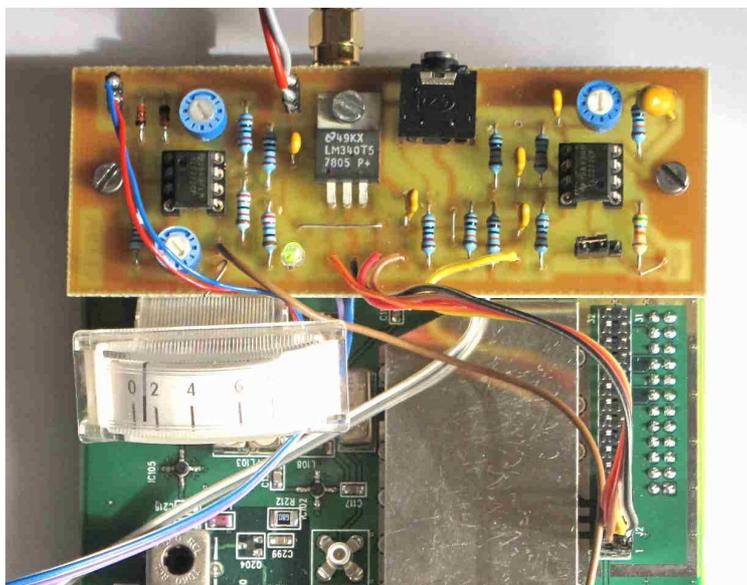


Photo 5 : Carte additionnelle avec le S-mètre, l'alimentation et le circuit de CAF

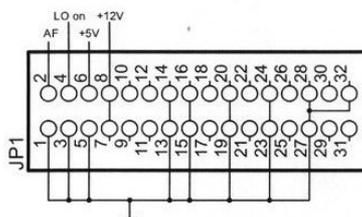


Figure 3 : Le connecteur de la carte (scc PD0AQK) : 1, 3, 5 sont reliés à la masse, la sortie démodulée est en 2 (AF), le pilotage de la diode Varicap est marqué « LO on » sur le dessin, et les alimentations 5V et 12V sont en 6 et 8.

7- Station complète de réception des trames 406

En couplant un décodeur de trames à notre récepteur 406, nous avons une station complète dédiée à l'écoute et au décodage des signaux des balises. La Photo 6 montre le récepteur en fonctionnement avec un décodeur de trames DECTRA. Les 2 LED vertes du décodeur sont allumées, indiquant que le décodeur reçoit le bruit de fond du récepteur. Le système peut être utilisé en écoute permanente des signaux sur l'ensemble de la bande 406. Dès qu'une balise est entendue, le récepteur se cale sur la fréquence de celle-ci, et le décodeur affiche immédiatement les informations transmises par la balise.

La sortie de la carte Wavix (notée AF) n'est pas filtrée. Elle est reliée directement au démodulateur du circuit MC13135. C'est la sortie « discriminateur » dont on a besoin pour le décodage des signaux numériques. Il faut connecter cette sortie directement à l'entrée du décodeur de trames.

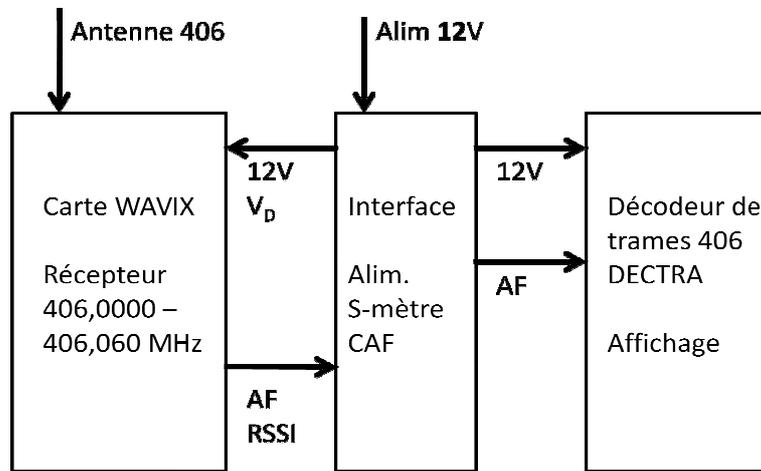


Figure 4 : La carte additionnelle assure aussi l'interface avec le décodeur de trames 406 DECTRA

Le montage complet, associant le récepteur Wavix et le décodeur de trames DECTRA est complètement autonome. Il suffit juste de relier l'entrée de la carte à une antenne 406 MHz, et la carte additionnelle à une alimentation 12 V (Figure 4).

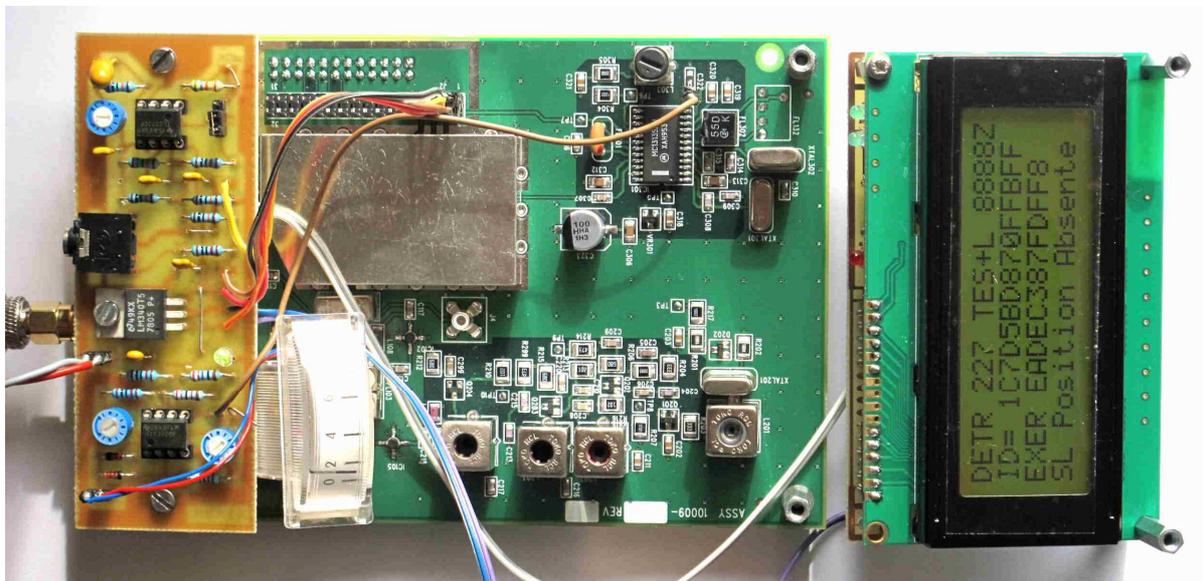


Photo 6 : Le système complet de réception et de décodage des balises de détresse : le récepteur Wavix avec sa carte additionnelle qui pilote le S-mètre et qui effectue la Correction Automatique de Fréquence, associé au décodeur de trames DECTRA.

Quand une balise est en émission, elle émet une trame de 0,5 seconde toutes les 50 secondes. En écoute permanente, le S-mètre n'a pas beaucoup d'intérêt. C'est surtout utile lors de la mise au point et pour faire les réglages. Même remarque pour la mesure de la tension V_D qui permet de surveiller la fréquence réelle reçue. Idem pour l'amplificateur BF pour entendre auditivement les signaux. Le plus utile est d'équiper la carte additionnelle d'une alarme sonore qui prévient de la réception d'une trame.

8- Quelques compléments

Faut-il réaligner les filtres du récepteur ?

Le fait de changer les quartz et la fréquence reçue impose en principe de réaligner les filtres du récepteur.

Pour l'oscillateur OL1 avec sa multiplication par 18, la fréquence passe de 371,340 MHz à 373,215 MHz ce qui est une très faible variation (0,5 %). Il n'est pas nécessaire de modifier les réglages de la carte. Quant à l'oscillateur OL2, il n'a pas de circuit accordé.

Pour le filtre FI1, le filtre blindé au centre de la carte, les signaux passent de 29,130 à 32,818 MHz. C'est un filtre passe-bas qui sert à éliminer les produits de mélange 400 MHz + 370 MHz. Ce changement de fréquence semble peu important.

Pour l'oscillateur OL2, et les autres composants qui entourent le circuit MC13135, il n'y a pas de circuit accordé. Le MC13135 accepte des quartz oscillant jusqu'à 60 MHz.

Quant au filtre d'entrée F0, il est centré initialement sur 400,500 MHz, et il fonctionne maintenant sur 406 MHz. C'est l'écart le plus important. Ce filtre est à régler en priorité. En fait il y a 2 filtres TOKO encadrant le préampli de réception (FL101 et FL102). Ces filtres sont du type « hélicoïdal », centré sur 405 MHz. Cette fréquence nominale est très proche de 406 MHz, donc l'alignement de ces filtres pour notre application ne pose aucun problème.

Pour régler les filtres, il faut pouvoir disposer des procédures de réglage d'une part, et des moyens techniques (générateur et analyseur de spectre) d'autre part. Avec des moyens assez simples, il est très facile de régler la sensibilité au maximum, mais le risque c'est de transformer son récepteur en « passoire large bande ». Si on n'a pas l'équipement nécessaire, il vaut mieux s'abstenir de toucher aux réglages ...

Sans modification des réglages initiaux, on peut comparer la sensibilité de la carte Wavix avec celle de récepteur de référence comme les AOR ou les YUPITERU sur la bande 406 avec des moyens assez simples. Bilan : sans modifier les filtres, on arrive à des sensibilités à peu près équivalentes.

En conclusion, si vous êtes équipés d'un générateur UHF, vous pouvez essayer de réaligner les filtres, en particulier les filtres d'entrée. Mais il vaut mieux utiliser la carte telle quelle si vous ne disposez pas de moyens de réglage adaptés car sans aucun réalignement la sensibilité est déjà excellente.

Nouvelles fréquences des balises

Actuellement les nouvelles balises émettent sur 406,040 MHz. Dans quelques années, la fréquence suivante 406,049 MHz (canal J) va commencer à être utilisée [3]. Ce sera ensuite 406,052 MHz (canal K).

Comme notre récepteur couvre sans problème une bande de 60 kHz de largeur, il pourra s'adapter sans problème à cette évolution. Il faudra éventuellement modifier la fréquence centrale qui deviendra 406,037 MHz ou 406,0385 MHz au lieu de 406,0325 MHz.

Disponibilité de la carte Wavix

Quand la première partie de l'article a été publiée, les cartes Wavix étaient encore disponibles chez Mainline, par Ebay. Aujourd'hui, la vente est terminée. Probablement plusieurs dizaines (voire plus d'une centaine) ont été vendues par Mainline, en particulier en France. Pour ceux qui les ont acquises, cet article fournit la recette pour les transformer facilement en récepteur 406. Pour les autres, il est possible que certaines de ces cartes soient revendues ...

De façon plus générale, cet article montre comment on peut recevoir toute la bande 406 avec un système de Correction Automatique de Fréquence agissant sur un oscillateur à quartz. Le principe peut être réutilisé pour concevoir un nouveau récepteur adapté aux besoins spécifiques de la bande 406. En plus, toutes les possibilités du MC13135 n'ont pas été utilisées, il possède une diode Varicap entre les broches 23 et 24 pour faire un oscillateur piloté en fréquence ...

9- Synthèse

Globalement, nous avons eu beaucoup de chance. Les fréquences standard des quartz ne sont pas très nombreuses, et pourtant nous sommes arrivés à une solution très simple en substituant 2 quartz par 2 quartz standard très bon marché. La probabilité d'y arriver sans avoir à faire tailler un quartz spécifique était a priori assez réduite. Cette solution en changeant 2 quartz permet d'adapter très facilement notre carte Wavix pour la bande de fréquence des balises de détresse 406,0250 – 406,040 MHz, en la couvrant très largement.

En supplément nous avons transformé notre récepteur mono-fréquence à quartz en un récepteur capable de se caler automatiquement sur n'importe quelle fréquence dans la bande 406,000 – 406,060 MHz grâce à un système de Correction Automatique de Fréquence. Le récepteur couvre automatiquement toutes les différentes fréquences d'émission des balises 406 MHz sans aucun réglage.

Une carte additionnelle d'interface a été ajoutée pour les fonctions « S-mètre » et « Correction Automatique de Fréquence ». En couplant ce récepteur avec un décodeur de trames de balises 406 de type DECTRA, on obtient une station de réception des balises qui peut fonctionner en écoute permanente, et qui affichera automatiquement le contenu des trames dès réception.

Références

[1] <http://www.f1lvt.com/files/545-RX406-Part1.205.pdf>

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Crystal_oscillator_frequencies

[3] <http://www.f1lvt.com/files/231-Frequences-406-V3.68.pdf>