

Construction modulaire d'une balise de détresse de type 406 MHz fonctionnant en bande RA UHF (Première partie)

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

La construction d'une balise de détresse de type 406 MHz va être présentée. Cette balise est réalisée en associant des modules préexistants et un modulateur PSK (Photo 1).

Nous avons déjà montré comment il est possible de construire une balise 121,375 MHz en associant plusieurs modules et en construisant le modulateur. Le montage a été décrit dans l'article « Construction modulaire d'une balise de détresse fonctionnant sur 121,375 MHz » [1]. C'est ce même mode de construction que nous allons utiliser pour construire une balise de détresse de type 406 MHz. Cette balise est capable de transmettre des trames à la norme COSPAS SARSAT, c'est-à-dire en PSK avec une variation de phase de +/- 1,1 radians. Sa puissance est de l'ordre du demi-watt, ce qui est largement suffisant pour une balise d'exercice.

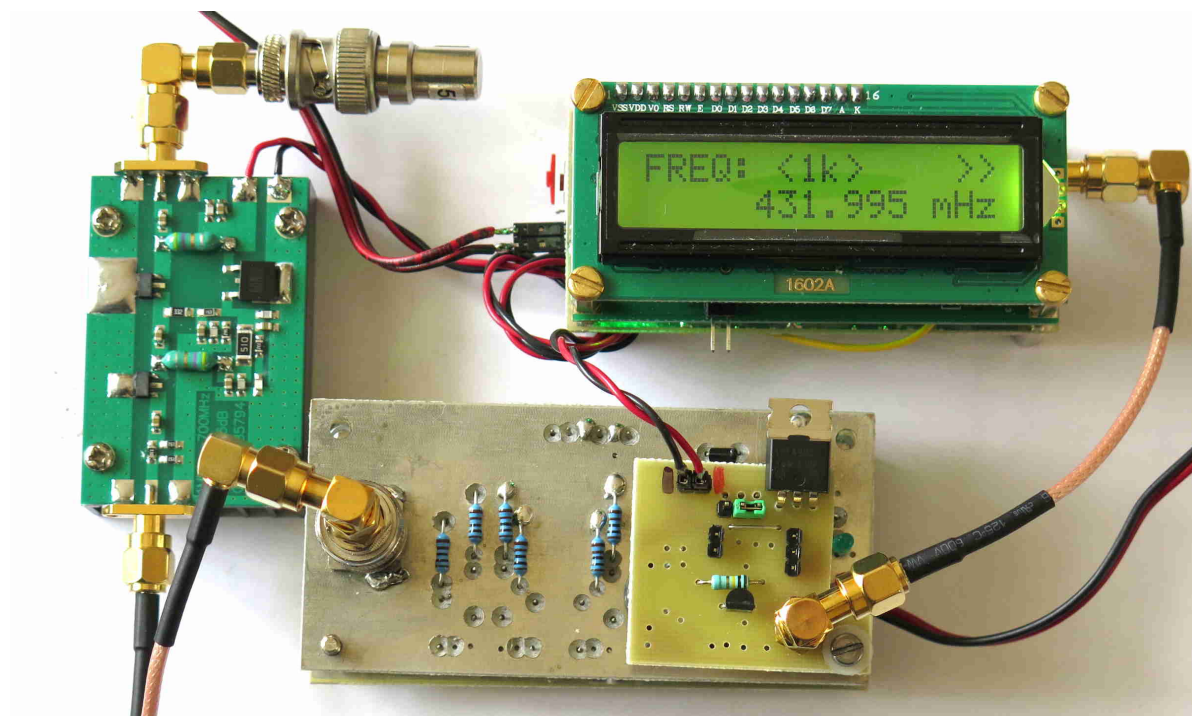


Photo 1 : La balise type 406 en 3 modules : le synthétiseur, le modulateur et l'amplificateur

L'objectif est de construire une balise de type 406 d'une part pour le test des décodeurs et d'autre part pour l'entraînement des RASEC. Cette balise peut être connectée à un GPS pour transmettre sa position. Le GPS est déconnectable, ce qui permet de démarrer un exercice sans GPS puis de connecter le GPS en fin d'exercice.

Mais cette balise ne fait pas tout. D'une part c'est une balise de type 406 mono-fréquence, qui n'a pas d'émission 121,500 MHz. Il suffirait de lui associer une partie 121,5 MHz pour en faire une balise bi-fréquence. D'autre part les trames transmises par les PIC 16F88 que nous utilisons n'intègrent pas les codes de correction d'erreur BCH ; ces codes ne sont pas nécessaires pour tester nos décodeurs. Il est possible d'intégrer ces codes BCH avec un peu plus de puissance de calcul ; nous l'avons fait avec des PIC un peu plus gros, des 16F886.

Et surtout, cette balise est capable de fonctionner sur n'importe quelle fréquence programmée dans le synthétiseur, au pas de 1 kHz.

Attention : il est interdit de fonctionner sur les fréquences réelles COSPAS SARSAT.

La balise serait alors reçue par les satellites et elle déclencherait automatiquement une alerte, même si elle est codée « Exercice ». Les générateurs de trames que nous utilisons sont codés avec un identifiant de type AD9603. Cet identifiant permet de retrouver la source des perturbations en cas de problèmes.

Alors sur quelle fréquence fonctionner ? Il ne faut surtout pas perturber la bande 406,000 MHz à 406,100 MHz qui est réservée à COSPAS SARSAT. Il n'existe pas de fréquence d'exercice et toute balise sera reçue par les satellites, qu'elle soit codée « Réel » ou « Exercice ». Toutes les bandes radiofréquences autour de la bande 406 sont utilisées. Nous, radioamateurs, avons le droit de transmettre dans la bande 430 - 440 MHz. C'est dans cette bande qu'il est préférable de caler nos balises pour les essais ou les exercices. Pour faire nos essais, nous nous calons sur 431,990 MHz ou 431,995 MHz.

Principe de la balise type 406 MHz

Le schéma de principe de la balise est présenté sur la Figure 1. Le signal à la fréquence de la balise est synthétisé par le générateur ADF4351 [2, 3]. La modulation du signal en PSK est effectuée par des lignes à retard. A la sortie, le signal est amplifié pour atteindre le watt.

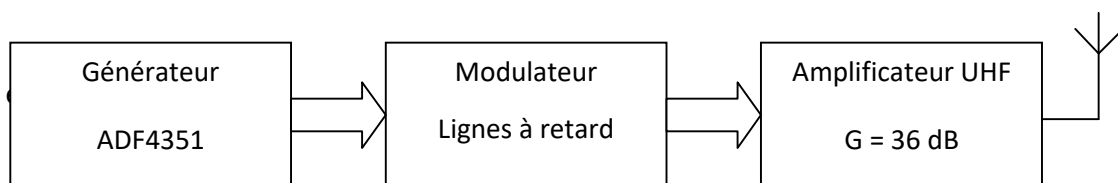


Figure 1 : Schéma de principe de la balise type 406

C'est le même schéma de principe que pour la balise 121,375 MHz, mais avec un modulateur différent : la porteuse est hachée par diode PIN pour la balise 121 et c'est un système à lignes à retard pour le PSK de la 406. L'amplificateur final n'est pas le même : celui de la balise 121 amène la puissance à quelques dizaines de milliwatts alors que celui de la 406 est plus puissant.

Pour construire la balise 121,375 MHz, toutes les informations sont disponibles en ligne. Le programme du PIC 16F88, qui gère automatiquement le synthétiseur, est téléchargeable [4]. La modulation est créée par un PIC 12F683 « Génépious » dont le programme est lui-aussi téléchargeable [5]. Le circuit du modulateur est relativement simple avec une diode PIN qui hache le signal radiofréquence pour générer la modulation.

Le générateur de fréquence

Le premier module, c'est le synthétiseur fonctionnant avec le circuit ADF4351 [2]. La Photo 2 montre à gauche ce générateur tel qu'on le trouve sur internet avec son clavier attaché, et à droite le même générateur séparé de son clavier et avec sa carte de pilotage en dessous [3]. Cette carte additionnelle permet au générateur de garder en mémoire la fréquence utilisée et de démarrer automatiquement à la mise sous tension.

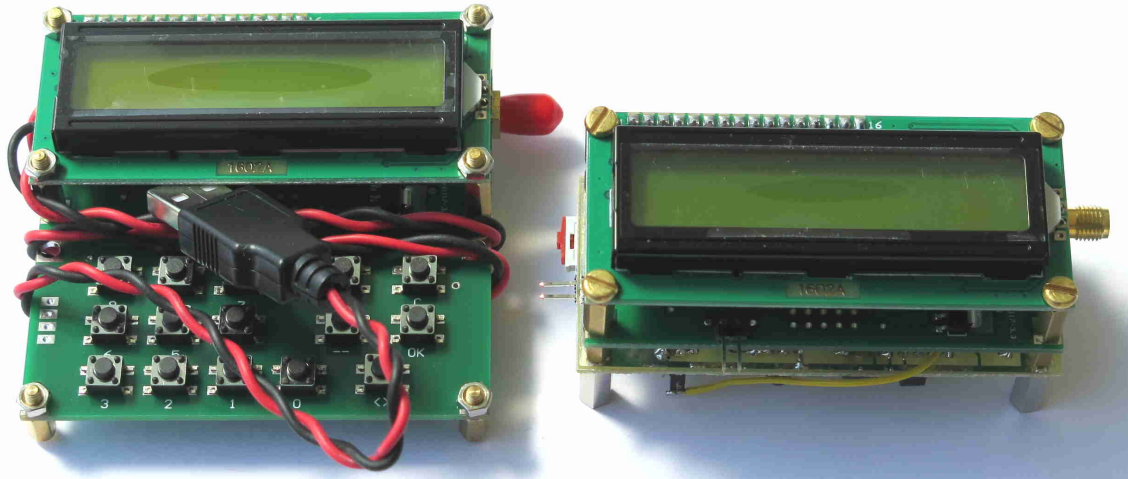


Photo 2 : Générateur VHF – UHF. A gauche la version eBay, et à droite la version sans clavier mais avec sa carte de pilotage automatique

Ce synthétiseur fonctionne de 35 MHz à 4 400 MHz au pas de 1 kHz. Pour notre balise, nous le programmerons sur une fréquence dans la bande radioamateur 430 – 440 MHz pour éviter toute perturbation du système COSPAS SARSAT. Nous utiliserons des fréquences comme 431,990 MHz ou 431,995 MHz.

Ce synthétiseur génère une puissance de -1 dBm, c'est-à-dire 0,8 mW. La stabilité en fréquence est liée à celle de l'oscillateur pilote à 25 MHz sur la carte du synthétiseur. Nous avons mesuré un petit écart entre la fréquence théorique et la fréquence réelle. Sur un exemplaire de ce synthétiseur, la fréquence réelle était de 3 à 4 kHz ou dessous de la fréquence affichée à 430 MHz.

La carte additionnelle à la place du clavier comporte un microcontrôleur qui effectue automatiquement le cycle à effectuer pour caler le synthétiseur sur la fréquence programmée. La fréquence est enregistrée dans la mémoire du microcontrôleur [3].

Le modulateur

Pour la modulation du signal, il faut d'une part un système qui génèrent les trames 406, et d'autre part un système capable de faire une variation de phase de +/- 1,1 radians. Il faut aussi pouvoir piloter le passage en émission 160 ms avant l'envoi de la trame.

A – Modulation du signal RF

Pour pouvoir moduler la phase, nous avons développé un système de déphasage par passage du signal dans une ligne à retard. C'est ce système qui a déjà été utilisé dans les balises « La Plume » [6] et « Quart de Watt » [7].

Pour réaliser la modulation, il faut de trois sources UHF déphasés à + 1,1 radian, 0 radian, et -1,1 radian, et il faut basculer de l'une à l'autre. Après différents essais, le déphasage par ligne à retard est une solution simple et efficace.

A 406 MHz, la longueur d'onde fait 74 cm. En tenant compte des coefficients de vélocité dans le câble (0,66), le signal est déphasé de 1,1 radian après avoir parcouru de 85 mm dans un câble RG174. En réalisant un oscillateur qui alimente les deux lignes en série de 85 millimètres chacune, en prenant comme référence 'zéro' la phase au bout de la première ligne, la phase est à -1,1 radian à l'entrée du signal, et elle est de +1,1 radian au bout de la seconde ligne.

Il faut pouvoir faire passer le signal UHF soit en direct, soit par une ligne à retard. Cette fonction est réalisée par des diodes PIN qui fonctionnent en interrupteur RF, piloté par un petit courant continu. Le schéma du modulateur (Figure 2) montre le positionnement des diodes PIN qui font l'aiguillage du signal UHF. Grâce à cet aiguillage, le signal UHF traverse ou non le premier déphaseur et/ou le second déphaseur. Il faut une diode PIN de part et d'autre de cette ligne coaxiale pour éviter l'effet de la capacité du câble. Par symétrie, le passage direct traverse 2 diodes PIN.

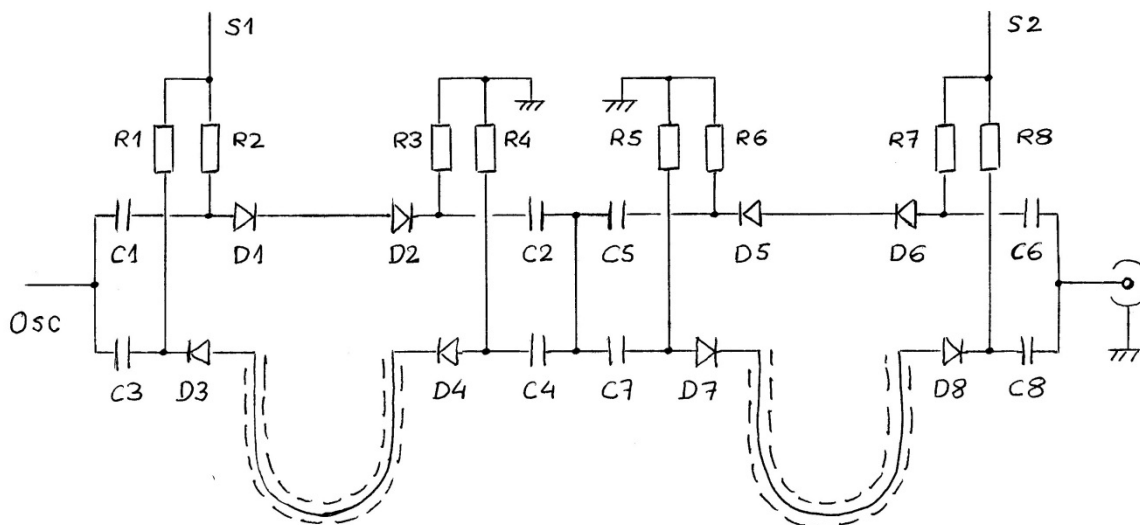


Figure 2 : Le schéma du modulateur piloté par les signaux S1 et S2. C'est ce système qui a déjà été utilisé dans les balises « La Plume » [6] et « Quart de Watt » [7].

Avec ce système de modulation de phase, il n'y a que 2 signaux de commande S1 et S2 (Figure 2), qui doivent être positifs ou négatifs pour rendre les diodes PIN passantes ou bloquées.

Chaque signal de pilotage (S1 et S2) commande deux lignes « résistances - diodes PIN - résistances ». Par exemple pour la première ligne à retard :

- Si la tension S1 est positive, le courant de polarisation traverse les diodes PIN D1 et D2 par les résistances R2 et R3 permettant le passage de la HF entre C1 et C2 (Figure 2). Ce même signal S1 bloque les diodes D3 et D4 et interdit le passage par la ligne de déphasage.
- Si la tension S1 est négative, les diodes D1 et D2 sont bloquées par la tension négative, mais D3 et D4 sont passantes, et le signal HF passe par la ligne de déphasage et se retrouve au point commun C2-C4-C5-C7 déphasé de $-1,1$ radians.

La seconde partie du modulateur est symétrique de la première. Globalement il est possible de faire passer le signal UHF par 0, 1, ou 2 lignes coaxiales de déphasage.

En prenant comme référence de phase le cas où le signal traverse une seule ligne de déphasage, soit la première soit la seconde, on obtient le tableau suivant :

S1	S2	Déphasage en sortie
- V	- V	-1,1 rd
- V	+ V	Référence
+ V	- V	Référence
+ V	+ V	+ 1,1 rd

Pendant les 160 ms de porteuse, il faut S1 = + V, et S2 = - V (ou l'inverse). Durant la modulation, les 2 signaux de commande vont varier en même temps entre (+ V, + V) et (- V, - V).

B - Signaux de commande du modulateur

La commande du modulateur comporte 2 parties : la logique combinatoire et l'amplification des signaux de pilotage (Figure 3).

Pour avoir des signaux suffisamment importants et alternativement positifs et négatifs pour commander les diodes PIN, nous avons utilisé un circuit MAX232 habituellement utilisé comme convertisseur « TTL - RS232 ». C'est un détournement de l'utilisation classique du MAX232, mais ce circuit est parfaitement adapté à notre utilisation. Alimenté par 5V, il est capable de fournir + 10 V et - 10 V. En pratique, on obtient entre ± 9 V et $\pm 9,5$ V à vide. Ce circuit a 2 inverseurs « Entrée TTL – Sortie RS232 », dont les entrées sont sur les pins 10 et 11 et les sorties sur les pins 4 et 14. Avec + 5 V sur ces entrées la tension de sortie vaut - 9 V, et avec 0 V on a + 9 V. On obtient ainsi une tension d'alimentation positive nettement plus élevée que des signaux TTL et une tension inverse largement suffisante pour un blocage correct des diodes PIN. Le MAX232 fonctionne avec 5 condensateurs 1 μ F comme composants périphériques, notés C4 à C8 (Figure 3).

En pratique, la charge de la sortie du MAX 232 par les résistances du modulateur réduit un peu la tension de sortie. En fonctionnement on peut mesurer $\pm 7,5$ V pour les signaux S1 et S2. Le courant continu qui traverse les diodes est de 3,5 mA dans le sens passant, ce qui est très largement suffisant pour laisser passer le signal UHF. En fonctionnement bloqué, la tension inverse de 7,5 V est largement suffisante pour bloquer correctement les diodes PIN.

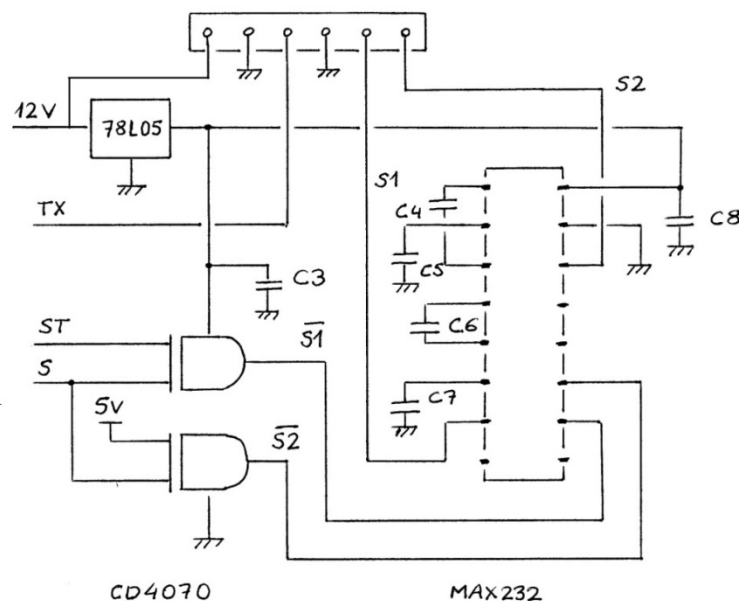


Figure 3 : Pilotage du modulateur

Pour générer les signaux de pilotage $\overline{S1}$ et $\overline{S2}$, il faut combiner correctement les signaux S et ST fournis par le PIC. Cette fonction est réalisée par 2 portes « OU-Exclusif ». Seulement la moitié du circuit CD4070 est utilisée.

Pour tester cette partie, on peut mesurer les tensions S1 et S2 entre deux trames. On doit trouver $S1 = +7,5\text{ V}$ et $S2 = -7,5\text{ V}$.

C - Générateur de trames 406

Cette partie de montage s'articule autour du PIC 16F88 programmé qui génère les trames (sortie S) et pilote le passage en émission (sortie TX) (Figure 4) [8]. Les 2 interrupteurs S1 et S2 permettent de choisir entre 2 types de trames, « Exercice » ou « Test », et la temporisation entre 2 trames (6s ou 50s). Pour réaliser une balise destinée à tester une chaîne de réception, il est préférable d'envoyer une trame toutes les 6 secondes. Cette fonction est obtenue avec l'interrupteur S1 ouvert (pin 7 isolée). Quant à la trame « Exercice », elle est obtenue avec S2 fermé. Attention, quand on change ces paramètres, il faut faire repartir le PIC pour leur prise en compte.

Pour une utilisation en **balise d'exercice**, la temporisation entre deux trames est de 50 secondes. Les broches 6 et 7 du PIC doivent être mises à la masse (S1 et S2 fermés) [8].

Le GPS peut être connecté de différentes façons, par l'entrée isolée par opto-coupleur (CNY17-3) ou par l'entrée haute impédance (Figure 4). C'est la balise qui fournit l'alimentation 3,3 V au GPS. Sur la balise, la connexion du GPS est effectuée par un Jack 3,5 stéréo. La pointe est à la tension de 3,3 V pour alimenter le GPS. Cette tension est obtenue à partir du 5V par la chute de tension d'une LED rouge. En sens inverse, les trames envoyées par le GPS arrivent sur l'anneau central du connecteur. Toutes les connexions ont été regroupées sur une barrette pour permettre de faire les différentes configurations possibles. Avec le GPS de construction OM, nous avons relié les pins 1 (anneau central) et 4 (R2), ainsi que les pins 5 et 6 (masse) [Entrée isolée mise à la masse !] (Photo 3).

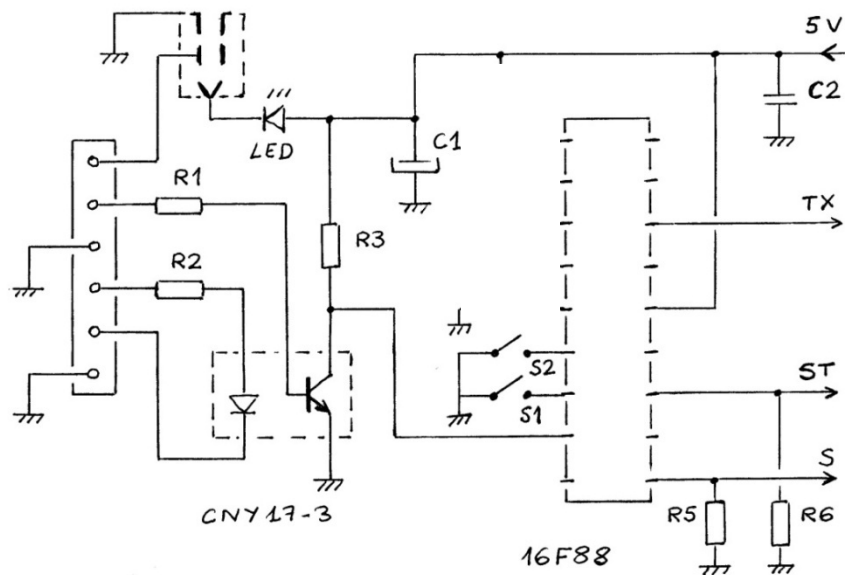


Figure 4 : Schéma de la partie générateur de trames et entrée GPS

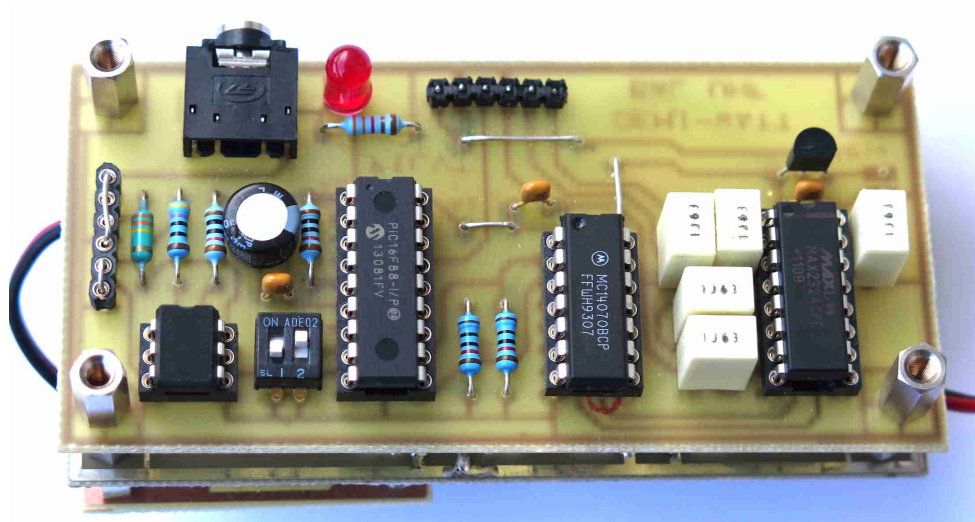


Photo 3 : La carte de pilotage du modulateur

Dès que la position GPS est acquise (avec des trames de type \$GPGLA), elle est automatiquement retransmise dans la trame sans avoir à faire quoi que ce soit. Si on débranche le GPS, la position disparaît. Il n'y a pas besoin de faire repartir le PIC comme avec les interrupteurs S1 et S2.

Par exemple, il est possible de démarrer un exercice sans position GPS, puis après plusieurs heures on peut transmettre la position pour tester les décodeurs de trames et pour faciliter le ralliement des équipes.

Ce PIC 16F88 programmé en générateur de trames est le même que celui utilisé dans les simulateurs de trames [9] ou les balises construites avec un LPD [10]. Le logiciel interne a évolué, tout en conservant les mêmes entrées-sorties. Avec les versions récentes du logiciel du PIC (depuis 2019), il faut supprimer la résistance R4 entre le +5V et la broche 4 du PIC.

C'est surtout au niveau de la réception des signaux GPS qu'il y a eu des changements importants. Alors que les PIC jusqu'en 2019 ne fonctionnait qu'avec les GPS en 4800 bauds, il est maintenant possible de recevoir les trames GPS à 9600 bauds, voire plus [9].

Lors de la programmation, un identifiant est ajouté à chaque PIC « générateur de trames », du type AD9601. Tout comme les balises COSPAS SARSAT qui ont un identifiant unique, ces PIC « générateurs de trames » sont uniques car ils pourraient être utilisés par des balises entendues par les satellites.

D – Les alimentations de la carte UHF

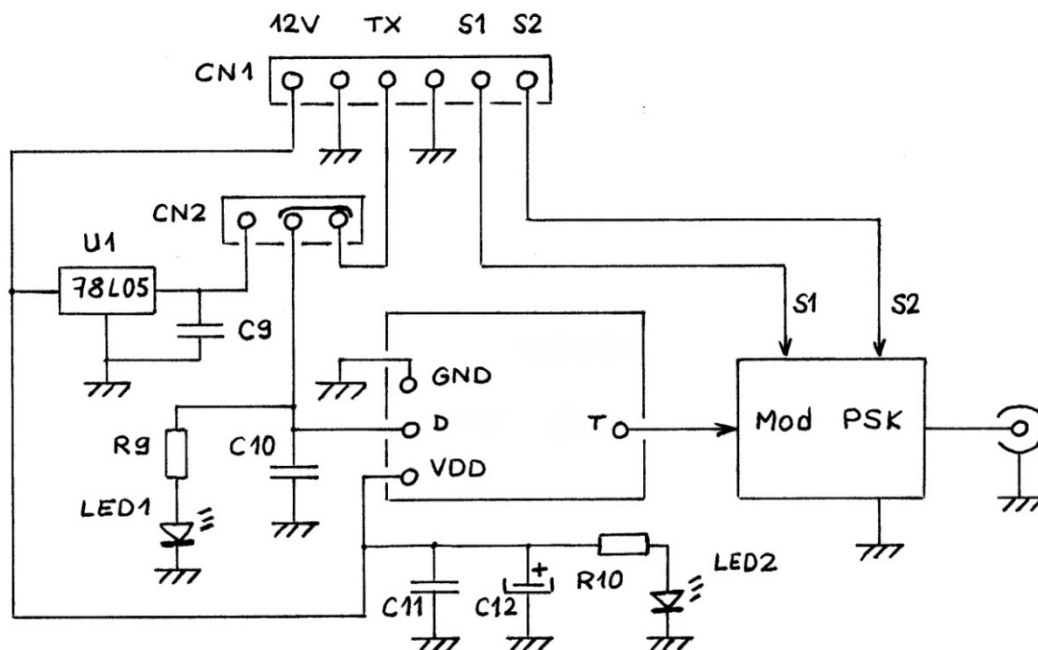


Figure 5 : Le schéma des alimentations de la carte UHF

Le circuit que nous venons de décrire est exactement celui des balises « La Plume » et « Quart de Watt » [6, 7]. Dans la balise « La Plume », le module émetteur est en 5 V, alors qu'il est en 12V dans la balise « Quart de Watt ». Pour alimenter l'amplificateur final de notre montage, nous avons besoin de 12V. C'est pour cela que nous avons réutilisé et adapté le modulateur de la balise « Quart de Watt ».

Pour la construction de ce modulateur, il faut se référer directement aux articles qui décrivent la construction de cette balise « Quart de Watt » [7]. Le signal radiofréquence est envoyé au modulateur par l'entrée noté « T » sur la Figure 5. L'entrée D est utilisée pour commander le passage en émission quand elle est à 5V.

Les LED 1 et LED 2 permettent de surveiller le fonctionnement. La LED 2 (verte) est allumée en permanence, montrant que le modulateur est alimenté en 12 V. La LED 1 (rouge) s'éclaire quand la balise passe en émission.

Le cavalier CN2 sur le schéma (Figure 5) permet de passer en émission continue en alimentant en permanence la broche « D » en 5V, ou en émission seulement pendant l'émission de la trame. L'émission continue n'est utilisée que pour la mesure de fréquence ou de puissance. Mais quel que soit le mode, en porteuse continue ou programmée, l'émission est toujours modulée en PSK +/- 1,1 rd car le modulateur est toujours relié au générateur. La trame est toujours transmise.

Construction d'une balise de type 406 MHz

Cette première partie décrit la génération des signaux et leur modulation. Elle est suivie par une seconde partie qui porte sur l'amplification et le fonctionnement général de la balise.

Références :

Articles sur le site internet < www.F1LVT.com >

- [1] « Construction modulaire d'une balise 121,375 MHz »
<http://www.f1lvt.com/files/248-BaliseModulaire121.375.221.pdf>
- [2] « Générateur de signaux VHF – UHF, -- Utilisation pour la construction de balises »
<http://www.f1lvt.com/files/246-GenerateurVHF-UHF.219.pdf>
- [3] « Pilotage du générateur ADF4351 pour un fonctionnement automatique »
<http://www.f1lvt.com/files/247-PilotageGenerateurVHF-UHF.220.pdf>
- [4] Programme du PIC 16F88 du circuit de pilotage du synthétiseur
<http://www.f1lvt.com/files/247a-PilotGene.222.hex>
- [5] – Programme du montage « Génépious »
<http://www.f1lvt.com/files/522-Genepious.124.hex>
- [6] – Balise « La Plume »
<http://www.f1lvt.com/files/237-Article--La-Plume--V2.22.pdf>
- [7] – Balise « Quart de Watt »
<http://www.f1lvt.com/files/242b-Balise-QuartDeWatt-Part1-V6.30.pdf>
<http://www.f1lvt.com/files/243b-Balise-QuartDeWatt-Part2-V4.33.pdf>
- [8] - Générateur de trames 406
<http://www.f1lvt.com/files/311-ArtGeneTrames406.40.pdf>
- [9] – Simulateur de trames – GPS 9600 bd
<http://www.f1lvt.com/files/319-SimulateurBalise406.48.pdf>
- [10] – Balise UHF de test construite avec un LPD
<http://www.f1lvt.com/files/233a-MinibaliseS41-Q7-v5.14.pdf>