

« La Plume », une petite balise 406 de test (3/3)

F1LVT
Jean-Paul YONNET
ADRASEC 38
F1LVT@yahoo.fr

Suite aux articles intitulés « Une petite balise 406 de test (1/3) » et « Une petite balise de test : premier prototype (2/3) », qui présentaient la conception du montage et son fonctionnement, nous allons décrire la construction de la balise finale, nettement plus puissante et plus compacte que la précédente (Photo 1). Le premier montage a surtout permis d'évaluer et de tester le fonctionnement. De cette première étude est née une nouvelle balise, nettement mieux optimisée.

Vu la petite taille de cette balise, elle a été surnommée « La Plume ». Elle est capable de sortir une puissance de plus de 6 mW sur la fréquence 432 MHz, et d'intégrer la position GPS dans les trames avec exactement la modulation des balises Cospas Sarsat.

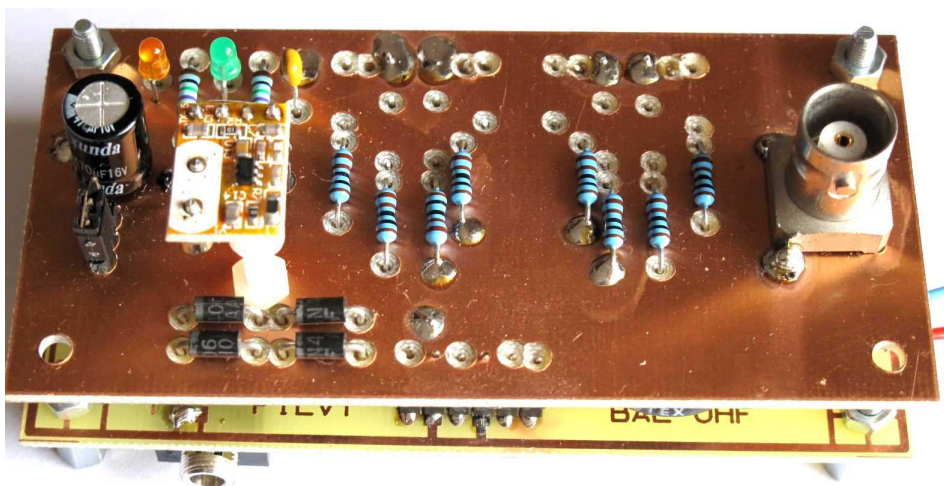


Photo 1 : « La Plume », une balise UHF de 6 mW, qui reproduit exactement la modulation des balises Cospas Sarsat et qui émet sur 431,990 MHz

1- Voies d'amélioration de la mini-balise

Différentes améliorations du premier prototype ont été essayées. Finalement c'est un nouveau type de modulation de phase et un nouveau système d'alimentation des diodes qui sont intégrés dans « La Plume ».

Dans le montage de la petite balise de test présenté dans les articles précédents [1,2], le signal UHF traverse les lignes en câble coaxial, et seulement une faible partie de l'énergie est dérivée par les diodes PIN. Cette prise de signal en parallèle est à l'origine de la faible puissance de la balise. En partant d'une dizaine de milliwatts sur l'oscillateur, on ne retrouve que 1 à 1,5 milliwatts dérivés en sortie. Pour améliorer le système, un fonctionnement de type série est préférable à celui en dérivation. Dans le montage de « La Plume » présenté dans cet article, un système de modulation avec déphasage par lignes coaxiales fonctionne en série avec la source. La puissance de sortie est nettement plus élevée : elle dépasse 6 mW.

Une autre voie d'amélioration, c'est le pilotage des diodes PIN. L'alimentation par des créneaux TTL 5V n'est pas suffisante. Pour bloquer correctement la diode, il faut lui fournir une tension négative. Et quand la diode est passante, le courant continu doit être suffisant pour permettre au courant HF de passer. Comme le montage est alimenté en mono-tension 5V, nous avons utilisé un circuit de type convertisseur RS232 comme amplificateur de tension. Alimenté par +5V, un MAX232 est capable de sortir ± 10 V (à vide). Avec ce système, les PIN sont polarisées par un courant presque 2 fois plus élevé en direct, et par une tension inverse négative largement suffisante pour bloquer complètement les diodes.

Le montage a aussi été simplifié au niveau des alimentations en n'utilisant qu'un seul régulateur 5V. La tension de 3,6 V du module oscillateur est obtenue par des diodes série (chute de 1,4 V). Quant à la tension d'alimentation du GPS (3,3 V), une LED rouge est placée en série donnant une chute de 1,7V à partir du 5 V régulé.

2- Schéma final retenu

Le modulateur de « La Plume »

Après avoir étudié différentes solutions, le principe retenu est un système en série avec la source. Les diodes PIN réalisent un aiguillage du signal UHF, qui traverse ou non le déphaseur par ligne coaxiale ((Figure 1). Il faut une diode PIN de part et d'autre de cette ligne pour éviter l'effet de la capacité du câble. Par symétrie, le passage direct traverse 2 diodes.

Avec ce nouveau système de modulation de phase, il n'y a plus que 2 signaux de commande S1 et S2 (Figure 1). Cela va beaucoup simplifier le pilotage.

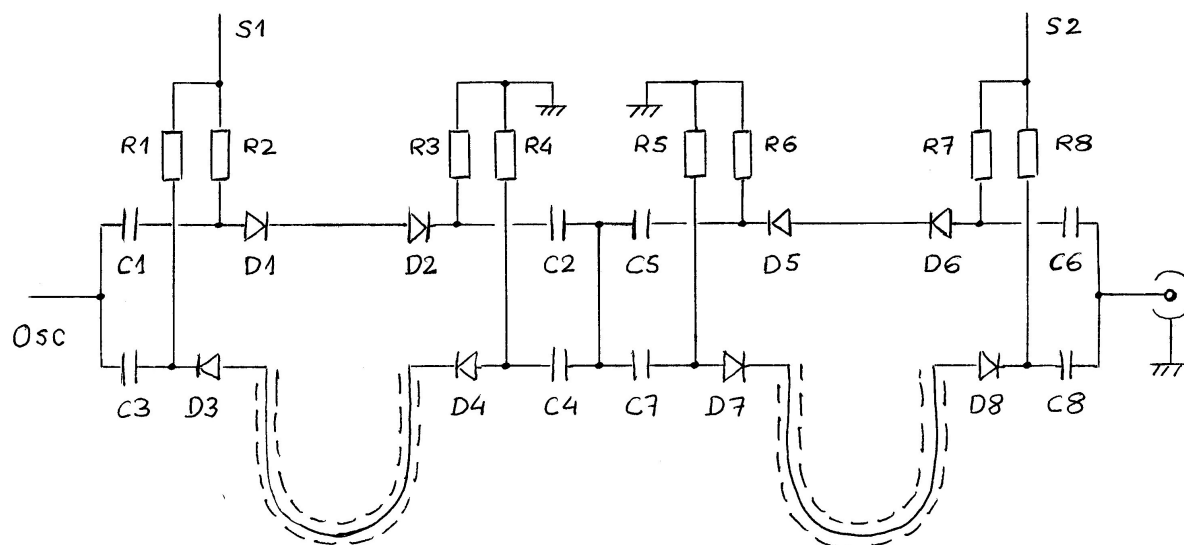


Figure 1 : Le schéma du modulateur

Chaque signal de pilotage commande deux lignes « résistances - diodes PIN ».

- 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 1). 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 une 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. On peut faire passer le signal UHF par 0, 1 ou 2 lignes coaxiales de déphasage.

Le MAX232 fonctionne avec 5 condensateurs 1 μF comme composants périphériques, notés C4 à C8 (Figure 2).

En pratique, la charge des résistances du modulateur réduit un peu la tension de sortie. En fonctionnement on peut mesurer $\pm 7,5 \text{ V}$ pour les signaux S1 et S2. Le courant continu qui traverse les diodes est de 3,5 mA, ce qui est suffisant pour un bon fonctionnement en interruption de 10 dBm UHF. En fonctionnement bloqué, la tension inverse de 7,5 V est largement suffisante pour bloquer correctement les diodes PIN.

Pour générer les signaux de pilotage -S1 et -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. On peut difficilement faire plus simple.

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

Générateur de trames

Cette partie de montage s'articule autour du PIC programmé 16F88 qui génère les trames (sortie S) et pilote le passage en émission (sortie TX) (Figure 3). Les 2 interrupteurs S1 et S2 permettent de choisir entre 2 types de trames, « Exercice » ou « Test », et la temporisation entre 2 trames. Pour réaliser un émetteur destiné 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.

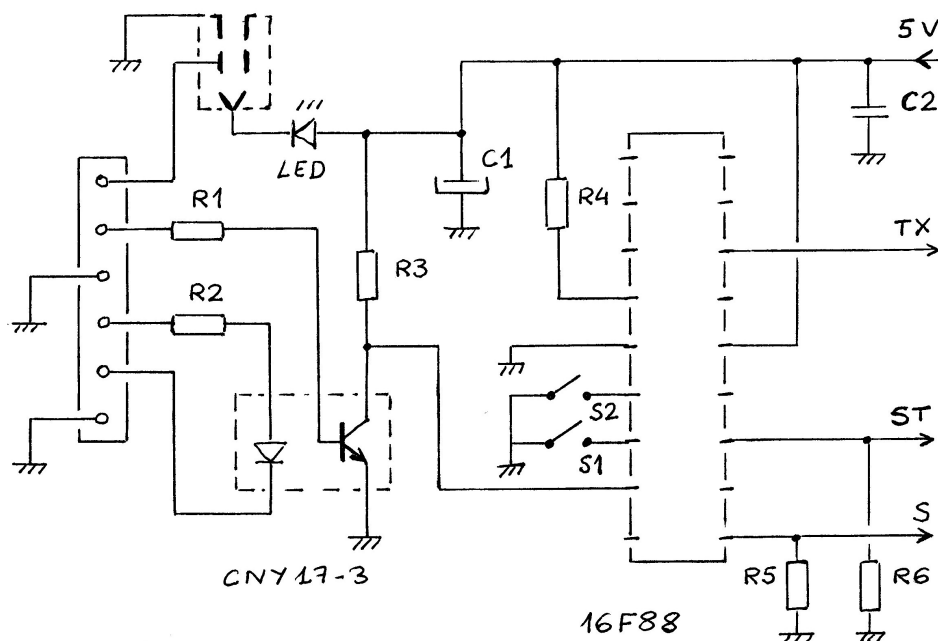


Figure 3 : Schéma de la partie générateur de trames

Comme dans les montages précédents, le GPS peut être connecté de différentes façons, par entrée isolée par un opto-coupleur (CNY17-3) ou par une entrée haute impédance.

Sur le montage réalisé, 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. 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 radiosonde, nous avons relié les pins 1 (anneau central) et 4 (R2), ainsi que les pins 5 et 6 (masse).

Dès que la position GPS est acquise (avec des trames de type \$GPGGA), 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 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.

L'émetteur

Le module TX-5 doit être alimenté par 3,6 V. Cette tension de 3,6 V n'est pas conventionnelle. Elle s'explique par le fait que le circuit MICRF113 qui équipe le module a été conçu pour fonctionner avec une pile lithium, dans une télécommande de serrure par exemple.

A partir du 5V, cette tension de 3,6 V est obtenue par les 2 diodes série D11 et D12 (Figure 4). De même pour le signal TX qui commande le passage en émission, avec les diodes D9 et D10. Les LED 1 et 2 permettent de surveiller le fonctionnement. La LED 2 (verte) est allumée en permanence. La LED 1 (orange) s'éclaire quand la balise passe en émission.

Le système avec un cavalier entre les diodes sur le schéma de la Figure 4 permet de passer en émission continue. On peut ainsi avoir 2 types de fonctionnement : soit une porteuse continue modulée lors de l'envoi de la trame, soit un passage en émission au moment de la trame. Le premier mode permet de retrouver l'émission et de mesurer sa fréquence. En balise, il faut utiliser le second mode, et laisser fonctionner librement l'entrée TX.

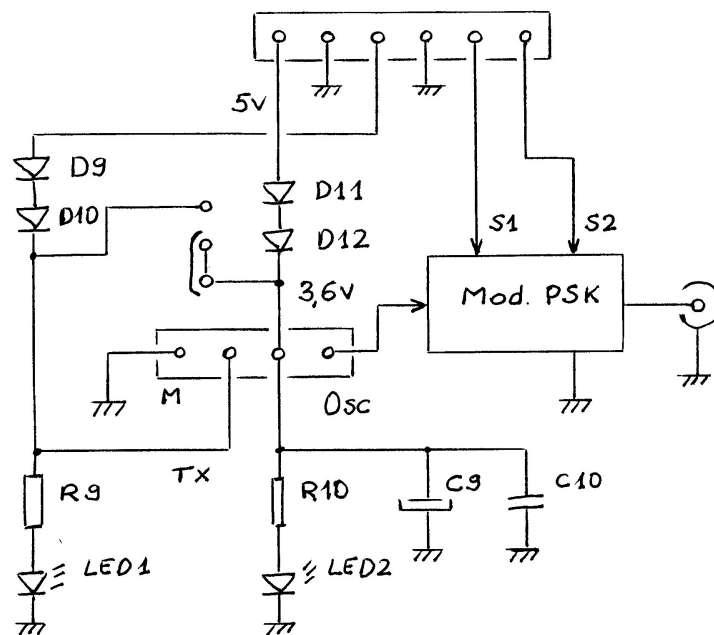


Figure 4 : La carte UHF

3- Les circuits imprimés et la construction

Carte UHF

Le circuit imprimé de la carte UHF est double-face avec une seule face gravée (Figure 5). L'autre face est un plan de masse.

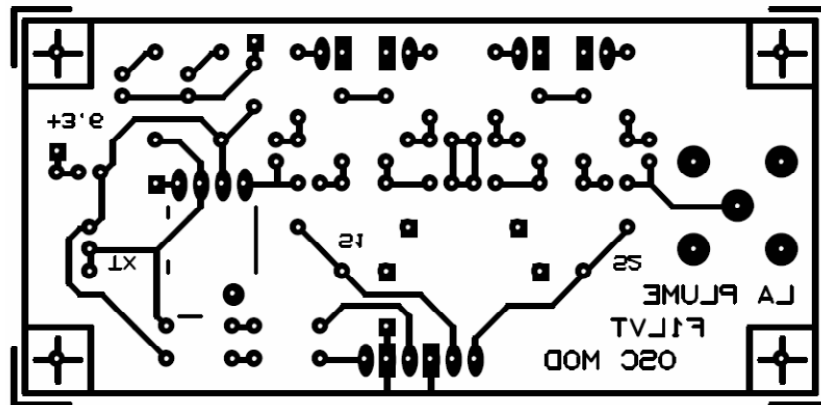


Figure 5 : Circuit imprimé de la carte UHF de « La Plume »

Coté pistes, nous avons gardé des pastilles pour les 8 condensateurs série de 1 nF. En fait nous n'avons pas percé le circuit au milieu de ces 16 pastilles, et nous avons soudé les CMS à la main sur ces pastilles. On peut ainsi remplacer ces CMS par des condensateurs traversants si on veut changer de technologie. Cependant les CMS offrent l'avantage de réaliser des connexions très courtes, bien adaptées en UHF.

A part ces pastilles pour les 8 condensateurs de 1 nF, il faut percer toutes les autres pastilles.

Ensuite, coté plan de masse, il faut dégager toutes les traversées isolées avec une mèche de 3 mm (Photo 2). Attention à ne pas passer au travers du circuit imprimé ! Les trous non-agrandis sont ceux de la masse qu'il faut souder des 2 cotés. Par faciliter ce travail, les pastilles carrées sont des pastilles de masse (donc à ne pas isoler).

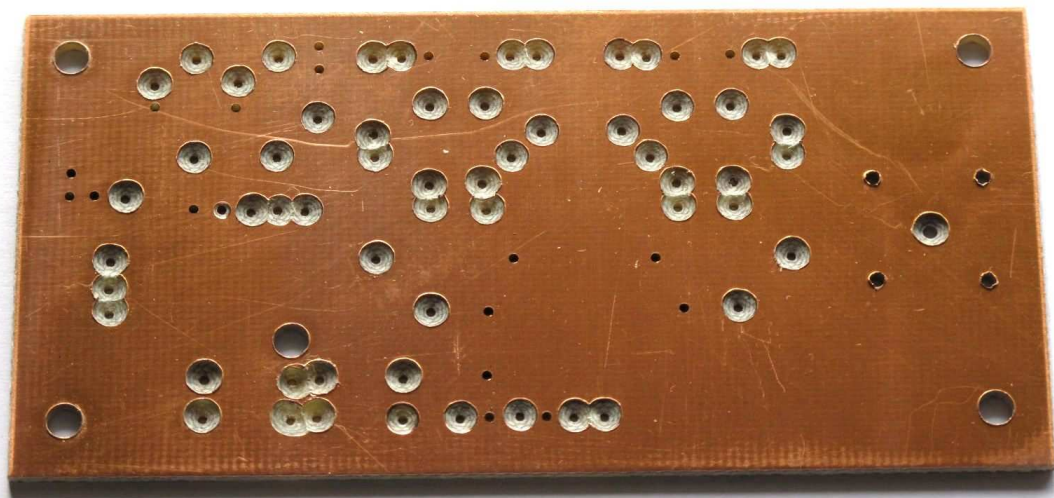


Photo 2 : Traversées isolées du plan de masse

Les premiers composants à souder sont les CMS. Sur la Photo 3, on voit les composants soudés côté piste : les 8 condensateurs 1 nF et les 8 diodes PIN. Attention au sens des diodes PIN. Autre difficulté : le soudage de la partie femelle du connecteur ; le fer à souder a un peu de mal à passer.

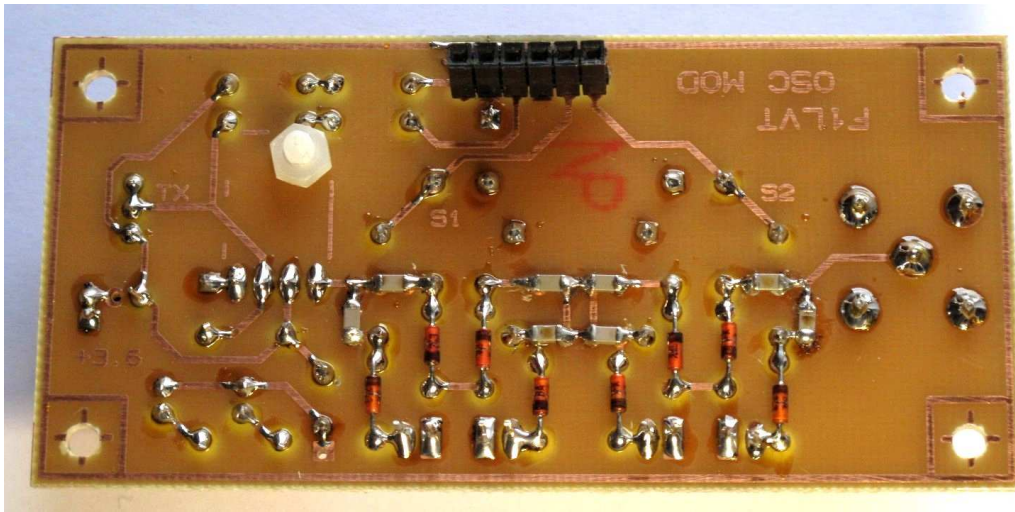


Photo 3 : La carte UHF vue côté piste avec ses condensateurs CMS et les diodes PIN

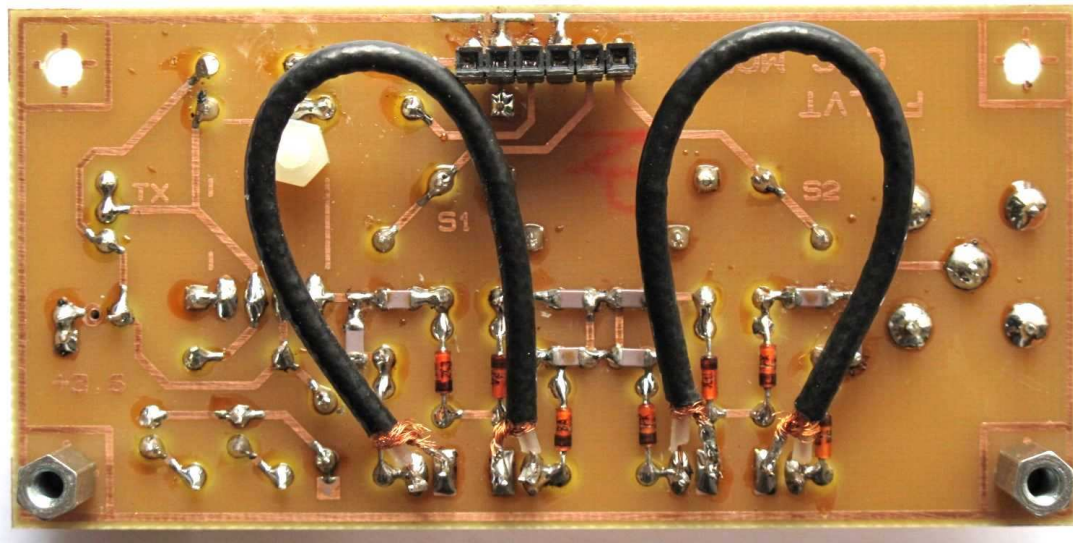


Photo 4 : La carte UHF vue côté piste avec les lignes coaxiales

Ensuite il ne reste plus qu'à souder les composants traditionnels du côté du plan de masse. Il faut faire attention à bien plier à l'équerre les pattes des composants pour éviter les courts-circuits. Les 4 diodes 1N4148 que l'on voit sur la Photo 5 peuvent être remplacées par des diodes 1N4004 (ou 1N4001 à 1N4007)

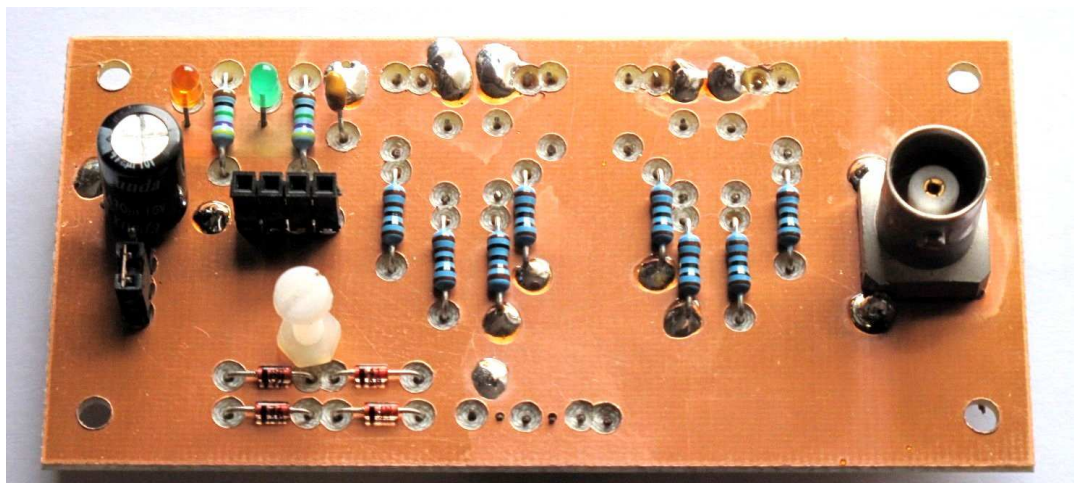


Photo 5 : La carte UHF câblée

Comme le module UHF est monté en porte-à-faux pour ne pas plier le connecteur, nous avons ajouté une vis nylon qui sert de point d'appui (Figure 6). Le trou est repéré sur le circuit imprimé. De cette façon, le module TX-5 reste démontable, tout en restant parfaitement en place.

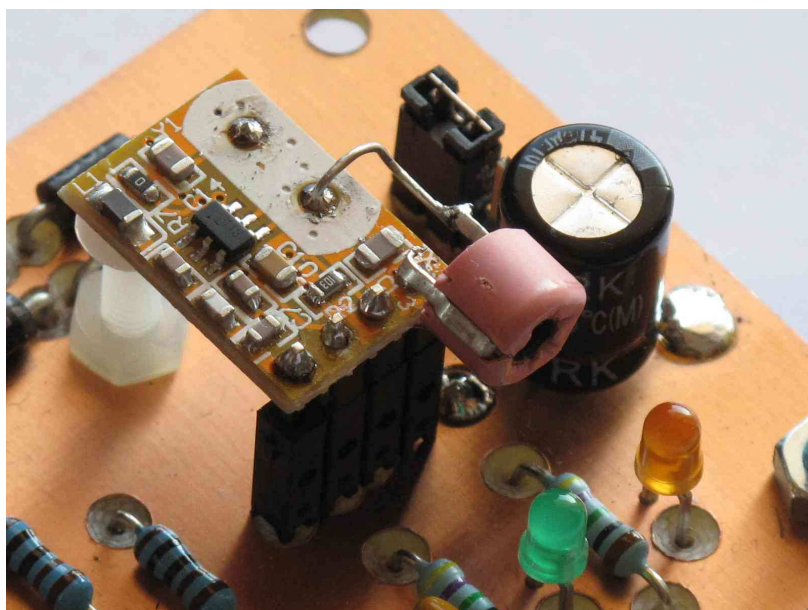
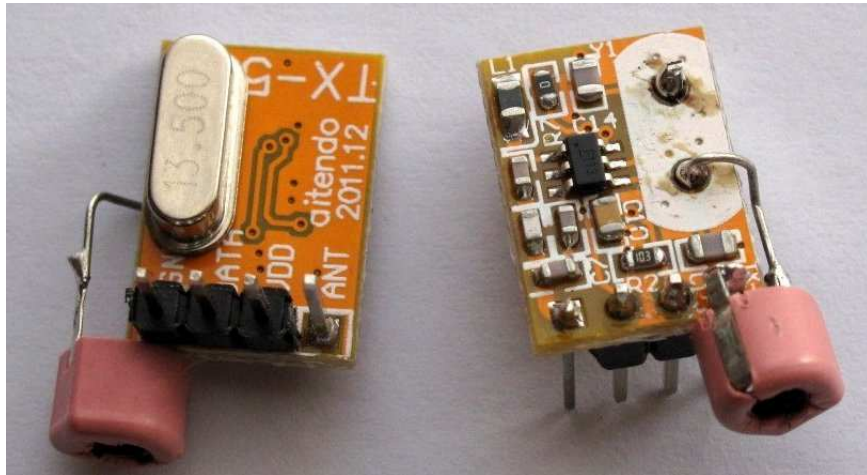


Photo 6 : Gros plan sur le module UHF TX-5

Il faut noter que la fabrication des modules UHF TX-5 a un peu évolué. Les premiers étaient rouges avec un connecteur à 4 broches. Lors d'une commande plus récente, ces modules sont orange (voir Photo 6 et 7) et le connecteur n'a plus que 3 broches. La sortie antenne n'est pas câblée. Il suffit d'ajouter une petite tige dans le trou prévu pour avoir la même connexion que celle des modules précédents.

Le module UHF TX-5 doit subir deux modifications. Un quartz 13.500 MHz remplace le quartz d'origine sur 13.560 MHz, et un condensateur ajustable de 20 pF permet de régler la fréquence finale (Photo 6 et 7). Comme cela avait été étudié précédemment, l'utilisation de la fréquence 431,990 MHz cause peu de perturbations dans la bande radioamateur.



*Photo 7 : Le module TX-5 après modifications, coté pile et coté face.
Le quartz 13.560 MHz a été remplacé par un quartz 13.500 MHz, et un condensateur ajustable de 20 pF a été ajouté entre le quartz et la masse pour pouvoir régler la fréquence sur 431,990 MHz*

Carte de pilotage

Le circuit imprimé de la carte de pilotage est conventionnel (simple face). Ses dimensions sont 91 mm par 43 mm (Figure 6). Les signaux repérés S et TS près du PIC sont la sortie de la trame (S) et l'enveloppe de la trame (ST). Les signaux S1 et S2 sont les signaux de pilotage du modulateur. Le passage en émission est commandé par le signal TX.

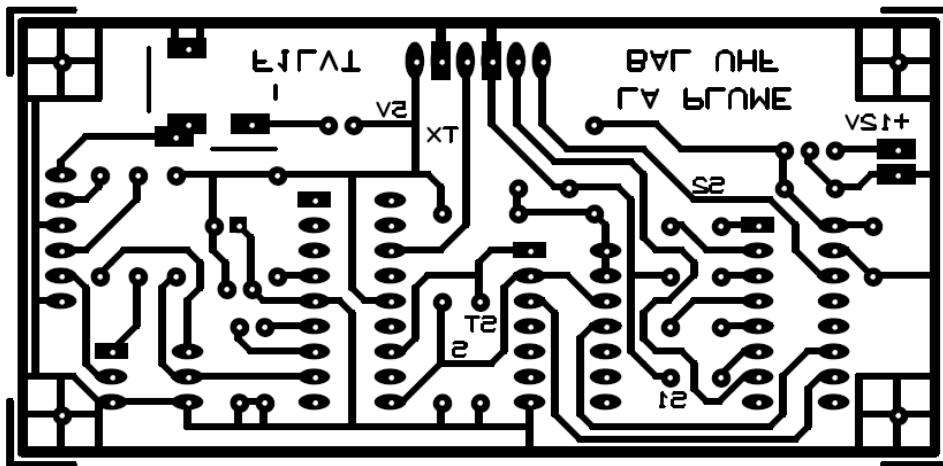


Figure 6 : Circuit imprimé de la carte de pilotage (dimension 91 mm x 43 mm)

La construction de la carte ne pose aucun problème particulier. La Photo 8 montre la carte montée coté piste et la Photo 9 coté composants.

L'ensemble du montage peut être alimenté par une tension entre 8V et 14V. Le fonctionnement interne de la carte est en 5V.

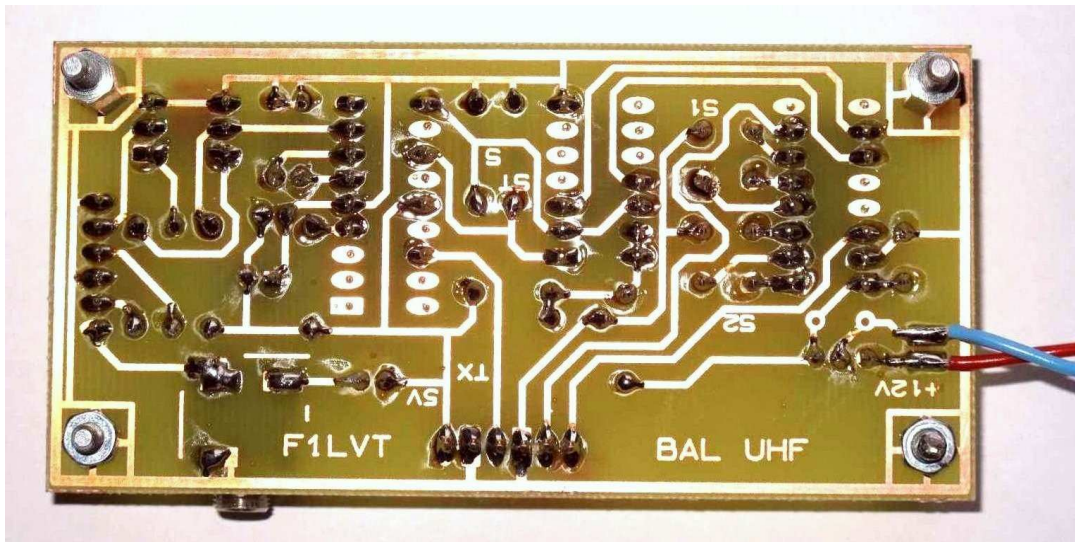
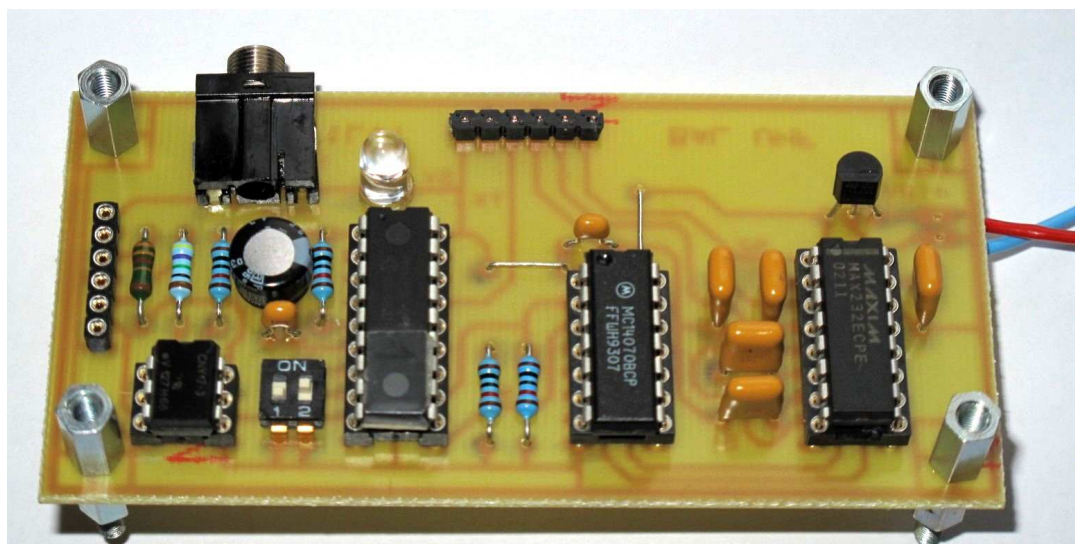


Photo 8 : Carte de pilotage de « La Plume » vue coté soudures



*Photo 9 : La carte de pilotage finie.
Au-dessus du PIC, la LED transparente émet une lumière rouge.*

4- Liste des composants

A- Carte de pilotage

Résistances

R1	330	k Ω
R2	470	Ω
R3, R4, R5, R6	10	k Ω

Condensateurs

C1	47	μ F électrochimique
C2, C3	100	nF
C4, C5, C6, C7, C8	1	μ F

Composants actifs

U1	Optocoupleur	CNY 17-3
U2	Microcontrôleur	PIC 16F88 programmé
U3	Portes logiques	CD4070 OU exclusif
U4	Conv TTL RS 323	MAX232
U5	Régulateur 5V	78L05

Divers

Inter CI 2 pôles		
LED	Rouge	$\Delta V = 1,7V$ (à tester)
Prise Jack 3,5 mm		
Barrette sécable		

Carte UHF

Composants soudés coté pistes

C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8	1nF	CMS série 1206
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8	Diode PIN	BA243 ou BA 244
Coax1, Coax2	Câble 50 Ω	$\Phi = 3$ mm L = 80 mm pour 432 MHz (85 mm pour 406 MHz)

Composants soudés du coté du plan de masse

R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8	1 k Ω	
R9, R10	470 Ω	
D9, D10, D11, D12	1N4004 (ou 1N4148)	
LED verte		
LED orange		
C9	470 μ F	
C10	100 nF	
Module UHF	TX-5	
	Quartz	13,500 MHz
	Condensateur ajustable	20 pF
Barrette sécable		
Prise BNC chassis		

5- PIC programmé

« La Plume » a été conçue pour une utilisation dans la bande radioamateur, plus précisément sur 431,990 MHz. Sa fréquence pilotée quartz permet de la faire fonctionner sur d'autres fréquences, hors bande radioamateur. Par exemple avec un quartz standard d'horloge à 13,000 MHz, la balise émet sur 416,000 MHz. Il est même possible de se caler sur une fréquence Cospas Sarsat (dans la bande 406,000 – 406,100), avec un quartz adéquat.

Ce problème a été identifié dès la sortie des générateurs de trames. C'est pourquoi il avait été décidé de ne pas diffuser le programme en « .hex » du PIC, et de n'utiliser que des PIC programmés avec un indicatif personnalisé. Ces PIC ne sont diffusés qu'aux membres des ADRASEC, avec un indicatif programmé du type AD7501 (AD pour ADRASEC, 75 pour le numéro du département et 01 pour le numéro d'ordre dans le département) [3].

Ces PIC sont exactement les mêmes que ceux utilisés dans le montage « Générateur de trames » [4]. Tous les RASEC qui ont fait ce montage peuvent réutiliser le PIC pour faire fonctionner « La Plume ».

6- Module émetteur UHF

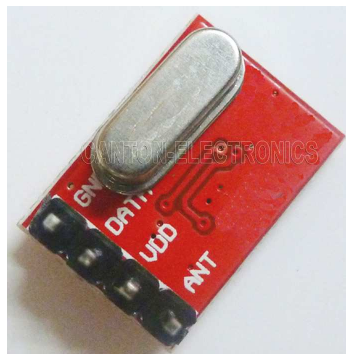


Photo 10 : Module UHF 433 MHz TX-5 (vue de dessous, côté quartz)

Plutôt que de souder le circuit intégré CMS qui fait la multiplication de fréquence par 32 (MICRF113 de MICREL), nous avons trouvé beaucoup plus simple d'utiliser un module déjà fabriqué avec ce circuit et ses composants périphériques. Ce module est commercialisé par exemple par Canton-Electronics (Photo 10). On le trouve aussi par eBay. Il est possible de le localiser en cherchant quelques mots clés du type « RF Wireless AM transmitter modules PLL 433MHZ ASK OOK ». La connexion de ce module est effectuée par un connecteur à 4 broches au pas standard de 2,54 mm.

Le prix de ce module tourne autour de 4 dollars, soit environ 3 euros, plus port.

7- Test du montage et fonctionnement

A la mise sous tension, la diode verte doit s'allumer. Elle signale la présence du 5V (réduit à 3,6 V après les diodes série). La LED orange s'allume périodiquement pour signaler le passage en émission toutes les 6 secondes ou toutes les 50 secondes (signal TX).

Sur la carte UHF, quand le cavalier est près du condensateur électrochimique, l'émission est permanente (Photo 11). Cette émission est modulée lors de l'envoi de la trame. La position normale est la position opposée du cavalier. La balise ne passe en émission que lors de l'envoi de la trame : 160 ms de porteuse, puis la modulation de phase.

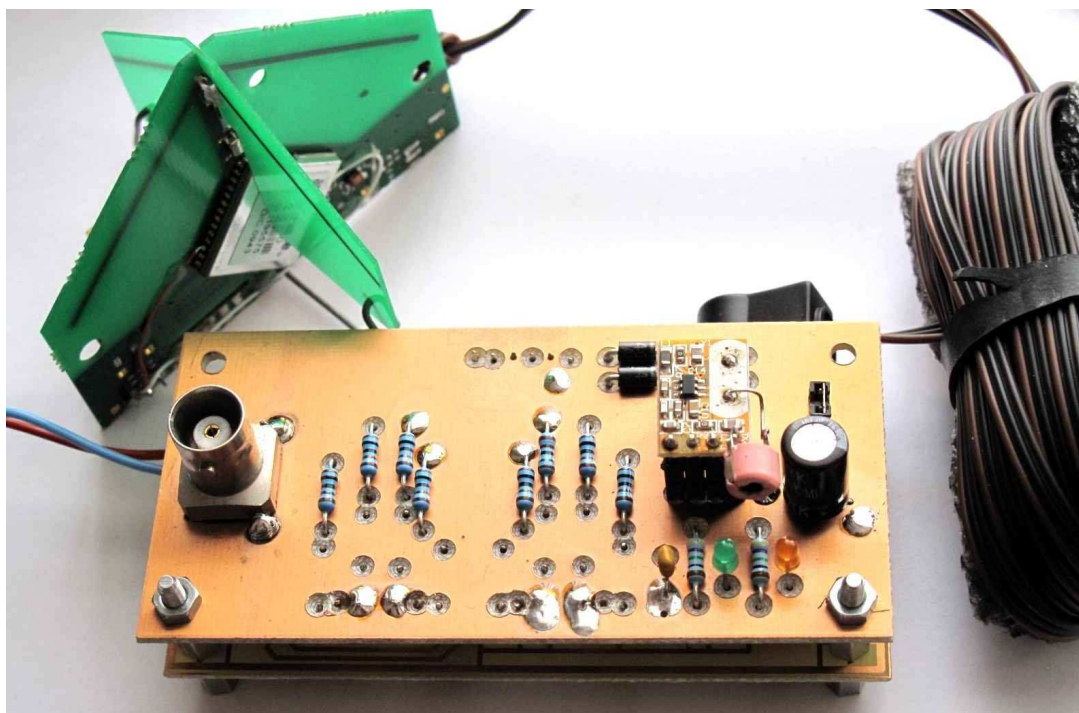


Photo 11 : « La Plume » avec le GPS connecté

Sur la carte de pilotage, l'interrupteur 1 (pin 7 du PIC) contrôle le type de trame, « Exercice » (fermé) ou « Test » (ouvert). L'interrupteur 2 (pin 8 du PIC) pilote la temporisation entre 2 trames : 6 secondes (ouvert) ou 50 secondes (fermé). Après avoir modifié ces paramètres il faut relancer le PIC.

Le GPS peut être alimenté par la carte (Photo 11). Sur le Jack 3,5 mm, la tension de 3,3 V est envoyée sur la pointe du Jack, la masse est à la masse et le signal du GPS arrive sur l'anneau central du connecteur. Quand on alimente le GPS par la balise, la LED rouge au dessus du PIC s'allume car elle est traversée par le courant consommé par le GPS. Sur la barrette au bord de la carte, on peut faire toutes les connexions possibles : entrée GPS isolée ou en haute impédance.

Le système a également été testé avec d'autres GPS comme le Garmin ETREX (le petit jaune). Il faut le connecter directement sur la barrette.

Toute une batterie de tests a été effectuée sur « La plume ». La puissance mesurée est entre 6 et 7 mW, ce qui fait 8 dBm. Le module UHF sort une puissance de 10 mW, mais une petite partie est perdue dans le modulateur. Ce niveau de puissance reste très honorable. A titre de comparaison, il est à peine inférieur à celui des LPD UHF (10 mW PAR) qui ont une portée du kilomètre. Avec une antenne à peu près accordée, « La Plume » peut être entendue assez loin.

Pour une utilisation à proximité immédiate, pour tester une chaîne de réception 406 par exemple, la puissance est nettement trop grande : il faut mettre une charge 50 ohms sur la prise BNC, et éloigner « La Plume ».

Nous avons fait des essais du module TX-5 en tension variable. La puissance de sortie UHF ne varie pratiquement pas quand sa tension varie entre 3,0 V et 3,6 V, sa tension maximale d'alimentation. Cela laisse une certaine souplesse pour la tension d'alimentation du montage.

La consommation de « La Plume » sans GPS est de 27 mA sans émission, et 40 mA en émission. Le module UHF TX-5 consomme 13 mA. Avec le GPS connecté, le courant consommé atteint 86 mA en émission car le GPS demande plus de 40 mA en permanence. L'ensemble du montage fonctionne en 5V. Il pourrait très bien être alimenté directement par un bloc de 4 accumulateurs rechargeables NiMH. Sans GPS, une autonomie de plusieurs jours est possible avec des accus R6.

En faisant différents tests, la seule remarque concerne la sortie sur le connecteur BNC. Pour que le signal UHF traverse correctement la modulateur, il ne faut pas oublier une charge résistive ou une antenne connectée sur la BNC.

Des essais ont aussi été faits en faisant suivre « La Plume » par un amplificateur UHF de type module hybride. La puissance d'émission de l'ordre d'une fraction de watt, voire du watt, est facilement atteinte sans précautions particulières. Au-delà il faut blinder « La Plume » pour éviter les accrochages avec la sortie amplifiée.

8- Synthèse

« La Plume » est un montage relativement facile à construire, il faut juste un peu de soin pour souder les CMS à la main. Ces composants sont très faciles à trouver, et ils sont relativement bon marché. Le seul élément particulier est le module UHF TX-5, qu'il faut commander par internet.

Dans la conception de « La Plume », des solutions simples et faciles à réaliser ont été choisies. Malgré cette simplicité, « La Plume » émet une puissance de 6 mW sur 431,990 MHz, avec exactement la modulation des balises Cospas Sarsat. Cette puissance est largement suffisante pour faire de nombreux essais, y compris en radiogoniométrie. Au cas où on aurait besoin d'une puissance supérieure, il suffirait de faire suivre « La Plume » par un module hybride UHF.

« La Plume » peut rendre de gros services à tous ceux qui utilisent les balises Cospas Sarsat : test de réception, test de décodeur de trames, radiogoniométrie, exercices ADRASEC, etc...

Références

[1] F1LVT , « Une petite balise 406 de test (1/3) », Janv 2013

[2] F1LVT, « Une petite balise 406 de test : premier prototype (2/3) », Février 2013

[3] Pour obtenir les PIC programmés 16F88, contacter l'auteur en lui précisant le numéro du département. Il vous renverra un PIC programmé avec un indicatif du type « AD9601 ». Le coût actuel est 5 euros port compris, ce qui correspond à peu près au prix coûtant.

[4] F1LVT, « Générateur de trames de balise 406 MHz pour la vérification du fonctionnement de décodeurs de trames, et pour la construction de balises d'exercice ». http://www.adrasec38.fnrasec.org/crbst_5.html