

Une « véritable » balise de détresse 406 MHz

Jean-Paul / F1LVT
ADRASEC38
<F1LVT@yahoo.fr>

Avertissement important :

La bande de fréquences 406 MHz est réservée aux balises de détresse. Les fréquences sont surveillées par satellites. Toute perturbation y est formellement interdite.

Cependant, il faut pouvoir tester les balises embarquées d'une part, et faire des entraînements pour la recherche d'autre part. Pour le test de fonctionnement des balises, la trame est particulière : elle est codée « Self Test ». De même pour l'entraînement des équipes de recherche, les trames sont codées « Test User ». Ces types de trame ne déclenchent pas les secours. Pour une utilisation en balise d'exercice, c'est une trame de type « Test User » qui est programmée dans le microcontrôleur de notre balise. Chaque générateur de trame a une identification qui lui est propre, pour pouvoir retrouver la source en cas de besoin.

Il faut quand même bien veiller à réduire au maximum les émissions à pleine puissance, car même si elles ne déclenchent pas les secours, ces émissions codées « test » peuvent perturber la réception des satellites si trop de balises de test sont en émission en même temps.

Caractéristiques de la balise 406 expérimentale



Photo 1 : Balise 406 vue côté module émetteur

Le prototype de balise 406 (Photo 1) génère des trames identiques à celles des véritables balises COSPAS SARSAT.

Emission

- Fréquence 406,028 MHz
Fréquence stable à $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ (*)
- Modulation de phase $\pm 1,1$ radians, conforme à la norme Cospas-Sarsat (*)

- Puissance mesurée 3 W
- Protection de l'émetteur Arrêt de l'émission en cas de défaut sur l'antenne (circuit ouvert ou court-circuit)
- Pas d'émission 121,5 MHz pour le moment, mais le montage permet d'ajouter une émission 121,5 sur la même antenne (diplexeur intégré)

Alimentation

- Batterie 12 V (fonctionne entre minimum 9 V et 15 V ou 20 V maximum)
- Alimentation interne 7,0 V (volontairement un peu en dessous de la tension nominale pour préserver le module 406)
- Consommation 26 mA en permanence
0,8 A environ en émission (pendant 500 ms)

Modulation

- Trame 144 bits à 400 bauds (trame longue)
- Type « Test User »
- Informations transmises Identification
Position GPS (avec un GPS connecté)

(*) données constructeur du module 406

Modulateur et amplificateur

La principale difficulté, c'est le modulateur. Les normes COSPAS SARSAT imposent une modulation de phase très particulière. Les deux états de la modulation correspondent à une phase de + 1,1 radian ou – 1,1 radian, avec une précision de 0,1 radian. La phase saute de + 60° à – 60°. La mise au point d'un oscillateur stable fonctionnant avec une telle modulation est difficile. Heureusement on trouve dans le commerce des composants qui réalisent cette fonction.

PARAMETER	Unit	Min	Typ.	Max.	Note	Comments
OPERATING TEMPERATURE (T)	°C	-20		+55		
POWER SUPPLY (Vcc)	V	6.5	7.5	8		
SUPPLY CURRENT						
<ul style="list-style-type: none"> • Reference oscillator • 406MHz Signal Generator + ref oscillator • MOSAR-E Module 	mA mA A	1 45 0.9	2 50 1.1	4 60 1.5		Reference oscillator+ 406MHz Signal generator + PA.
UHF FREQUENCY (406MHz)						VCC = 7.5V T = 25°C
<ul style="list-style-type: none"> • Nominal • Accuracy • Short term stability • Medium term stability <ul style="list-style-type: none"> - Slope - Residual frequency variation • Aging 	MHz KHz 10E-9 10E-9 10E-9 KHz	-1	406.028	1 2 +1 3 +2	5	Allan variance / 100 ms Temperature gradient 5°C/Hour Over 5 years
UHF MODULATION						
<ul style="list-style-type: none"> • Phase modulation • Rise and Fall time 	rd µs	1 50	1.1 1.50	1.2 2.50		Frequency of modulation signal:400 Hz 10 % to 90 %
UHF POWER OUTPUT						
<ul style="list-style-type: none"> • Rise time • VSWR for no degradation in power out 	dBm ms	35	36.7	39 5 10 : 1		50 ohms load 10 % to 90 % T = 25°C
Inputs Logic Level (PM0, PM1, Burst1, Burst2, REF ON)						
Low	V	0		0.4		+5V high level compatible except PM0 & PM1
High	V	2.5		3.3		
Output logic level (406 and VSWR Output Alarms)						Open collector outputs, 4.7kOhms pull up resistance should be tied to supply (3V to 5V)

Tableau I : Caractéristiques du module 406 utilisé

Nous avons utilisé un module intégré qui contient un oscillateur à 406 MHz et un modulateur PSK 1,1 rd. Ces modules ne sont pas disponibles pour le marché grand public ; ils ne sont vendus qu'aux constructeurs de balises 406. Il existe deux versions : la première fait la fonction d'oscillateur modulé et sort quelques milliwatts, la seconde inclue en plus un amplificateur HF intégré de 5 watts. C'est ce second type de module que nous avons utilisé dans notre prototype (Photo 1).

Les caractéristiques de ce module sont données sur le Tableau I. La tension d'alimentation nominale est de 7,5 volts. Elle doit être entre 6,5 V et 8 V au maximum. La consommation de l'oscillateur est de 50 mA. En émission, le courant atteint 1,1 A.

La puissance nominale de l'émission 406 MHz est de 36,7 dBm (soit 4,7 W) pour une tension d'alimentation de 7,5 V. En fonction de la tension d'alimentation, cette puissance se situe entre 3,2 W et 8 W.

Il faut noter la très bonne stabilité de la fréquence de l'oscillateur. Comme les satellites en orbite basse (LEO) font la localisation par Doppler, la dérive de la fréquence de l'oscillateur doit être très réduite.

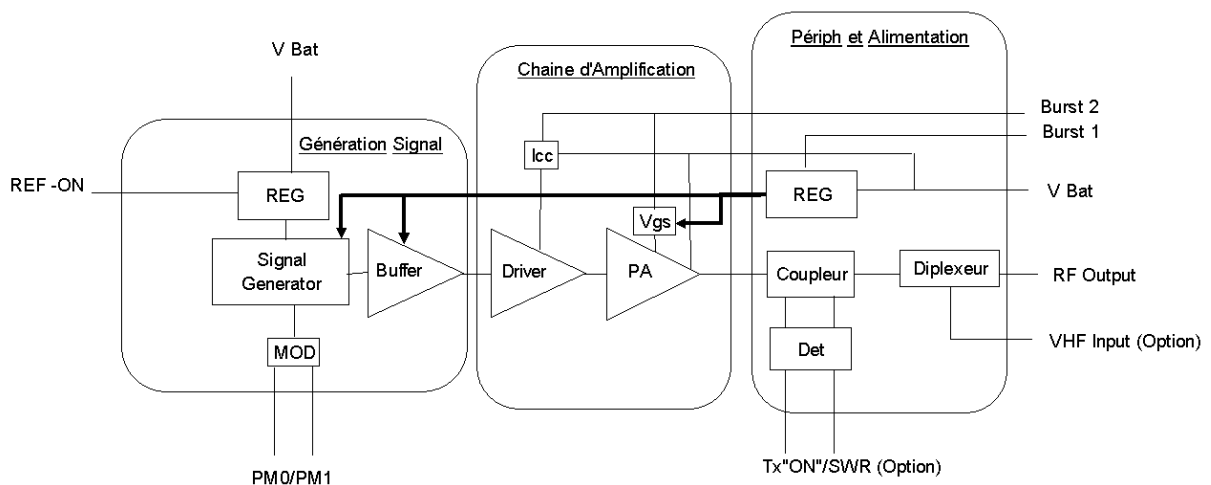


Figure 1 : Diagramme fonctionnel

Les différentes fonctions à l'intérieur du module sont présentées sur la Figure 1. Une entrée VHF est prévue pour envoyer le signal en 121,500 MHz (ou 121,375 pour une balise d'exercice).

La sortie de l'antenne est surveillée par l'intermédiaire d'un coupleur, ce qui permet de prévenir en cas de court-circuit ou de circuit ouvert de l'antenne.

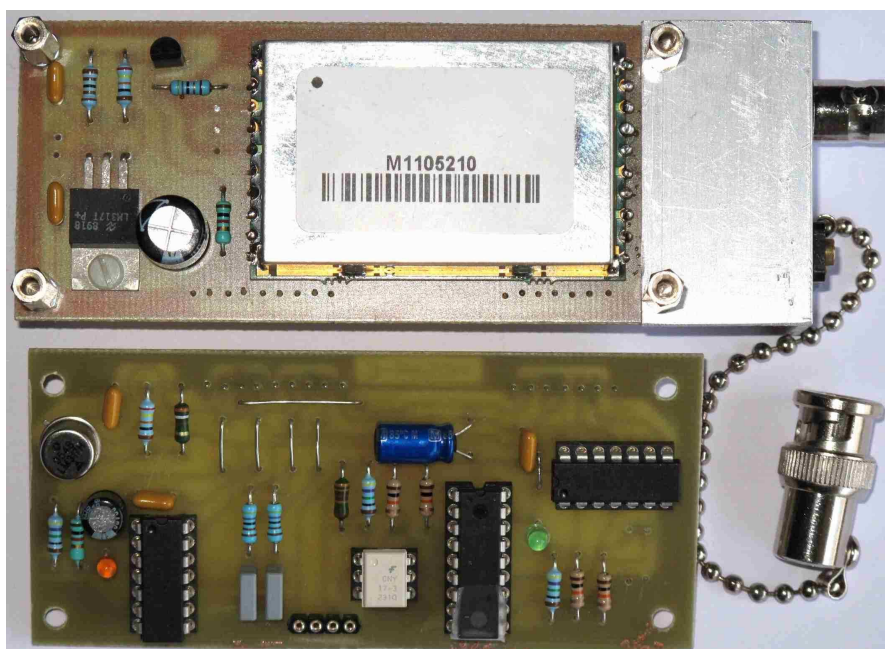
La modulation est pilotée par les 2 signaux PM0 et PM1 (Tableau II). Avant l'envoi de la modulation, pendant 160 ms, PM0 doit être à 0 et PM1 à 1, et la phase reste à 0°. Ensuite les 2 signaux sont synchrones et la phase prend alternativement les valeurs + 1,1 radian et - 1,1 radian.

PM0	PM1	Output phase
0	0	+1.1 rd
0	1	0 rd
1	0	Not allowed
1	1	-1.1 rd

Tableau II : Pilotage de la modulation.

Construction de la balise

Le montage complet est composé de deux cartes (Photos 1 et 2) :
-- une carte qui porte le module « oscillateur - modulateur – amplificateur », et son alimentation 7V,
-- une carte d'interface, avec un générateur de trames similaire à ceux développés pour vérifier le fonctionnement des décodeurs de trames.



*Photo 2 : Les cartes de la balise :
la première carte porte le module 406 et son alimentation, la seconde carte fait la surveillance du module 406, la génération des trames et leur mise en forme.*

La carte d'interface reçoit les signaux du générateur de trames pour synthétiser les signaux PM0 et PM1. Ces fonctions sont réalisées par des portes logiques. Sur la photo 2 (second carte), on peut voir le générateur de trame avec son PIC 16F88. Ce générateur a été décrit précédemment [1]. Il n'y a juste que quelques composants périphériques autour du PIC : d'un côté se trouvent les entrées GPS, de l'autre la sortie de la trame et la commutation de l'émetteur.

Cette carte surveille aussi les signaux « Alarme SWR » et « Alarme PWR » du module, et coupe l'alimentation de la puissance en cas de défaut. Une LED rouge s'allume en cas de problème ; elle permet de surveiller le fonctionnement. En pratique, si vous enlevez l'antenne, l'émission de la balise s'arrête !

La balise ne transmet qu'un seul type de trames, en « TEST USER » (celle qui est utilisée pour l'entraînement et les essais). Cette trame est émise toutes les 50 secondes.

Pour pouvoir utiliser la position GPS tout en conservant l'identification la plus précise possible, nous avons retenu le « Standard Location Protocol ».

Par rapport au générateur de trames développé pour tester les décodeurs, plusieurs modifications ont été réalisées. Par exemple aux sorties classiques : S (modulation) et TX (passage en émission 160 ms avant la modulation), il a été ajouté une sortie ST qui passe à 5V pendant l'envoi de la modulation sur le PIC 16F88. Les entrées qui permettent de piloter différents types de trames et la temporisation ont été supprimées pour ne garder que le fonctionnement en balise d'exercice.

Deux entrées GPS sont câblées sur la carte : une entrée isolée basse impédance, et une entrée haute impédance, pour pouvoir s'adapter à différents types de GPS.

Utilisation de la balise

La balise fonctionne dès sa mise sous tension. Ne pas oublier la charge 50 ohms sur l'antenne pour les essais (Photo 3). On doit voir la LED du générateur s'allumer toutes les 50 secondes environ.

Avec un décodeur comme celui issu des travaux de F6HCC, on voit s'afficher les écrans suivants :

Ecran 1

**DETR pays= 226
Id= 1C5D5BD83F81FE0**

Ecran 2

**TEST cs0695 n°=11320
AUX= 0**

Ecran 3

**N 00.0000 standard
E 000.0000 location**

En l'absence de GPS, la position apparaît avec des zéros.

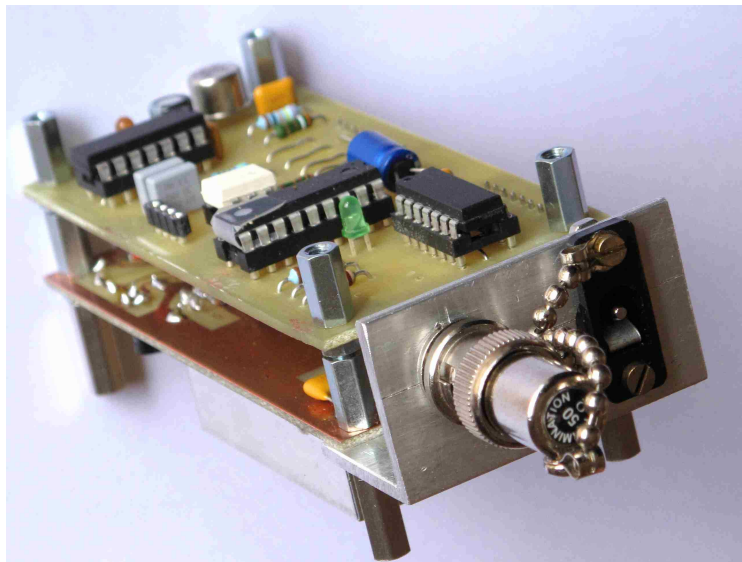


Photo 3 : La balise en état de fonctionnement avec ses deux cartes électroniques.

La connexion d'un GPS est effectuée par un des connecteurs à gauche de la carte. Deux entrées ont été câblées, on peut utiliser l'une ou l'autre : l'entrée E1 en haute impédance, ou bien l'entrée E2 isolée par opto-coupleur. Quand le GPS fonctionne, la position est affichée sur l'écran 3. Sur le connecteur du GPS (DB9), la masse se trouve sur la pin 5 et le signal du GPS sort sur la pin 2. C'est ce signal qu'il faut envoyer sur la carte du générateur par un cordon de liaison.

Et pour répondre à quelques questions ...

-- Le coût ?

L'ensemble des composants d'une telle balise revient à environ 120 ou 130 euros. Le module est relativement cher, mais son utilisation rend la réalisation de la balise assez simple et sans mise au point. Le montage fonctionne du premier coup. Et si on y ajoute la carte 121,375, le montage, le boîtier, l'alimentation, etc, on arrive à un coût de plusieurs centaines d'euros ...

-- Et l'émission 121,5 en plus du 406 ?

C'est facile à ajouter. Une carte électronique de balise 121,500 peut faire l'affaire.
L'addition de cette fonction sur une carte supplémentaire est en cours d'étude.

-- Quelle est la différence avec une véritable balise 406 MHz ?

D'abord ce prototype ne répond qu'aux normes radioélectriques COSPAS-SARSAT, pas du tout aux autres normes de tenue aux vibrations, aux chocs, etc. Ce n'est qu'un montage expérimental. De plus dans les trames les codes BCH de détection d'erreurs ne sont pas programmés (bits 86 – 106 et 133 – 144). Nos décodeurs de trames ne vérifient pas ces bits, qui servent aux satellites en cas de réception difficile.

-- Est-ce qu'on a le droit d'utiliser des balises 406 sur fréquence réelle ?

Les balises d'entraînement et leur codage en « Test User » sont prévus par les normes COSPAS SARSAT [2]. La balise réalisée est conforme à ces spécifications. Elle ne transmet que des trames de test qui ne déclenchent pas les secours. Il faut savoir que les signaux sont reçus et décodés par les satellites, mais ils ne sont pas retransmis par les MCC (Mission Control Centres). En conséquence, il faut utiliser ce type de balise avec précaution pour limiter les perturbations des systèmes d'écoute des balises de détresse. Avant toute utilisation d'une balise d'exercice en 406 MHz, il faut impérativement prévenir le MCC à Toulouse.

Rappel important :

La bande de fréquences 406 MHz est réservée aux balises de détresse. Les fréquences sont surveillées par satellites. Toute perturbation y est formellement interdite.

Références

[1] Jean-Paul YONNET, Kosai RAOOF, Can AKYEL et Cristian RADU,
« Générateur de trames de balise 406 MHz pour la vérification du fonctionnement des décodeurs de trames, et pour la construction de balises d'exercice ».

RASEC Infos Techniques, n°1, Mai 2011, p 8 – 14

[2] Spécification for COSPAS-SARSAT 406 MHz beacons, C/S T.001, Issue 3 – Rev 10, Oct 2009