

Mini-balise VHF modulée, permettant de tester le fonctionnement des récepteurs

F1LVT (Jean-Paul) et F6EAJ (Didier)
ADRASEC 38
Contact : F1LVT@yahoo.fr

Ce montage a été réalisé initialement pour les ADRASEC. C'est un dispositif assez simple qui permet de tester le fonctionnement des récepteurs de radiogoniométrie. Ce générateur modulé fonctionne très bien sur toute la bande VHF 144 MHz, en fonction de la fréquence du quartz utilisé. La modulation AM est très proche de celle d'une balise aviation, ce qui permet d'identifier facilement le signal. Même lorsque ce signal est très atténué, par exemple pour tester la sensibilité d'un récepteur, la modulation reste très reconnaissable, que le récepteur soit en AM ou en FM. Pour ne pas perturber, cette mini-balise a été conçue pour ne générer qu'une très faible puissance, de l'ordre d'une fraction de microwatts. Quand son boîtier est fermé, le rayonnement n'est pas détectable. Avec une antenne, le rayonnement est faible, et ne peut être entendu qu'à quelques mètres.



Quartz et fréquence

Pour faire un montage pas cher, il faut éviter d'avoir à faire tailler un quartz spécialement pour cet usage, ou bien d'utiliser un synthétiseur. Le générateur décrit ici fonctionne sur une fréquence harmonique de la fréquence du quartz. Chaque OM doit aller voir quels sont les quartz disponibles dans ses tiroirs. Pour obtenir une fréquence d'oscillation dans la bande VHF entre 144 et 146 MHz, il existe de nombreuses possibilités. Par exemple pour obtenir la fréquence ronde de 144 MHz, on peut partir d'un quartz 18 MHz et utiliser l'harmonique 8, ou bien un quartz 16 MHz et utiliser l'harmonique 9.

Le montage proposé est en résonance série. Cela vient du fait que le montage initial ne fonctionnait sur la bonne fréquence qu'avec ce type d'oscillateur. Nous verrons à la fin de cet article comment modifier simplement le montage pour le faire fonctionner en résonance parallèle. Sur le montage utilisé, l'inductance L1 peut être ajustée entre 1 μ H et 1,6 μ H par variation de la position de son noyau. Le quartz oscille avec un condensateur série de 100pF.

Pour la réalisation et les réglages, le problème est beaucoup plus simple que pour le générateur ADRASEC pour lequel il fallait obtenir exactement la fréquence des balises. Si on ne cherche pas une fréquence particulière mais une émission dans une bande, en l'occurrence 144 -146 MHz, le réglage de la fréquence n'a pas besoin d'être aussi précis.

Le schéma

Le schéma de ce mini-générateur est composé de deux parties : d'une part le modulateur qui génère la modulation caractéristique d'une balise aviation et d'autre part le générateur haute fréquence (Figure 1). Le modulateur est un montage original réalisé autour d'un NE 556, qui a été mis au point pour les balises embarquées sur les ballons Bulle d'Orage. La deuxième moitié du NE 556 (pins 8 à 13) est un oscillateur à environ 800 Hz qui génère des créneaux dont le rapport cyclique est voisin de 50 %. Le BS 250 est utilisé comme interrupteur, dont la sortie permet d'alimenter l'oscillateur par des créneaux entre 0 et 9 volts. La fréquence de cet oscillateur à 800 Hz est modulé par un transistor PNP (2N2907 ou équivalent) sur la pin 11 (« control ») par le signal provenant du circuit RC de l'oscillateur de la première moitié du NE 556. La fréquence des créneaux de sortie est à son tour modulé à 1 Hz, ce qui produit les "piou-piou" caractéristiques de la modulation des balises aviation.

L'oscillateur est construit autour d'un 2N 2222A. Le quartz Q est monté en résonance série. Pour ajuster la fréquence, il suffit de modifier la position du noyau de L1. Le circuit résonnant constitué par L2 et CV1 est accordé sur une fréquence harmonique de celle du quartz. Le deuxième circuit résonnant, constitué par L3 et CV2 est lui aussi accordé sur la même fréquence. Le couplage entre L2 et L3 se fait uniquement par le champ magnétique rayonné par l'inductance L2. La sortie 50 Ω est directement couplée au deuxième circuit résonnant par une résistance (R10 = 1k Ω). Le niveau de

sortie est assez faible, mais suffisant pour obtenir un signal nettement supérieur à S9 quand ce mini-générateur est directement couplé à un récepteur. Il est à noter que la masse du boîtier n'est reliée qu'au deuxième circuit résonnant, et que cette masse est isolée de la tension d'alimentation du modulateur et de l'oscillateur. Ce type de montage permet de limiter au maximum les signaux conduits, en particulier le fondamental et certains harmoniques de l'oscillateur. Quand les deux circuits oscillants sont correctement réglés, le signal de sortie est assez pur, et les autres harmoniques sont à au moins 20 à 30 dB en dessous de la fréquence principale. Le couplage entre les deux circuits oscillants constitue un excellent filtre. Le montage utilisé sélectionne directement l'harmonique recherché. Le schéma ne comporte qu'un oscillateur et un filtre sans aucune amplification.

La réalisation

Le circuit imprimé est présenté sur la figure 2. Il est prévu pour entrer avec une pile 9V dans un boîtier TEKO 392 (dimensions 83 x 68 x 28 mm) (Photo 1)

La partie modulation ne présente pas de difficulté particulière de réalisation, si ce n'est le positionnement correct des condensateurs polarisés. La principale difficulté c'est la réalisation des circuits bobinés de l'oscillateur et du filtre (Photo 2).

Pour l'inductance L1, il faut bobiner 20 spires de fil émaillé de 0,3 mm de diamètre sur le mandrin de 4 mm de diamètre (Photos 3 et 3 bis). Il faut d'abord enlever l'émail sur l'une des extrémités du fil, avec laquelle on fait un tour autour de la partie plate du support. On réalise ensuite le bobinage en enroulant les spires en bobinage serré (en spires jointives) sur une couche, et quand on arrive à la 20ième spire, on enlève l'émail 1 cm plus loin, et on enroule un tour de ce fil sur l'autre partie plate du support. S'il y a une erreur d'une spire, ce n'est pas catastrophique. Il faut aussi faire un trou de 4 mm de diamètre dans le circuit imprimé pour pouvoir y insérer la partie arrière du mandrin de L1.

Pour les inductances L2 et L3, c'est plus simple. Sur une queue de forêt de 6 mm de diamètre, il faut bobiner 7 spires légèrement espacées sur une longueur axiale de 14 mm. Si on utilise du fil émaillé de 1 mm de diamètre, il faut enlever soigneusement l'émail dans la partie qui va être soudé. On peut aussi utiliser du fil non émaillé, comme par exemple du fil d'alimentation électrique de 1,2 mm de diamètre (fil éclairage) dont on aura enlevé l'isolant.

Quand ces composants sont préparés, il faut juste agrandir les trous pour les pattes des condensateurs variables et des bobines L1 et L2 à 1,2 mm.

Le bout de barrette à 3 pins à coté de l'oscillateur permet d'alimenter le générateur soit directement à partir du 9V de la pile (générateur non modulé), soit à partir de la sortie du modulateur.

Attention toutefois à bien blinder le montage. Quand vous testez la sensibilité d'un récepteur, il faut être sûr que le signal qui passe par l'atténuateur n'est pas parasité par un rayonnement indésirable.

Les réglages

1- Réglage de la fréquence (L1)

Tout d'abord, il faut mettre le cavalier sur la position la plus proche de l'oscillateur pour être en configuration non modulée. En fait on peut entendre une très légère modulation par l'alimentation car le modulateur reste alimenté. La première phase est le réglage de la fréquence par la position du noyau de L1. Avec un fréquencesmètre connecté entre le point TP et le 0V (pas la masse), on peut mesurer la fréquence de l'oscillateur (fréquence du quartz Q, ou éventuellement une fréquence harmonique). Il faut ajuster cette fréquence sur la fréquence recherchée, en partant de la position où le noyau est à mi-course.

2- Réglage du filtre sur la fréquence VHF (CV1 et CV2)

Toujours avec l'oscillateur non modulé, il faut connecter le mini générateur à un récepteur calé sur la fréquence VHF et équipé d'un S-mètre. Le réglage peut se faire par la lecture de la force du signal. Il est plus facile de commencer par CV2, qui fait l'accord avec L3. En réglant le condensateur CV2, on trouve facilement la position idéale. On peut alors régler CV1, toujours en recherchant le maximum de signal. Le rôle de CV1 est plus complexe car il joue sur l'ensemble des harmoniques de l'oscillateur. Quand le générateur est correctement aligné, il ne reste pratiquement plus que la raie à la fréquence VHF. Les autres raies sont à un niveau inférieur d'au moins 20 à 30 dB. Le signal HF sur la fréquence UHF est de l'ordre de quelques millivolts, et la puissance HF se situe autour de quelques dixièmes de microwatts (entre -40 et -30 dBm).

3- Générateur modulé

On peut maintenant mettre le cavalier sur la position "oscillateur modulé". On entend maintenant la modulation assez caractéristique des balises aviation. L'oscillateur ne fonctionne que pendant la demi-période du modulateur où il est alimenté. Il démarre et il s'arrête toutes les millisecondes. La consommation de l'oscillateur est donc divisée par 2 par rapport au fonctionnement continu.

La consommation électrique du montage est assez faible. Elle se décompose en :

- 2 mA pour l'oscillateur modulé (4 mA pour l'oscillateur non modulé)
- 8 mA pour le modulateur,
- 2 mA pour la LED

Avec une pile 9V, on peut atteindre une autonomie de 48 heures, ce qui est largement suffisant pour un dispositif de test. Et cette autonomie peut être notablement augmentée en supprimant la LED, et en utilisant un 556 à faible consommation.

Oscillateur à résonance parallèle

Si votre quartz est bien à résonance série, vous obtenez une fréquence VHF (f_{VHF}) qui est un multiple de la fréquence marquée sur le quartz (f_Q). Le montage permet de sélectionner un harmonique de l'oscillateur.

$$f_{VHF} = N \times f_Q.$$

Dans cette relation, N est un nombre entier, qui peut être par exemple 6, 7, 8 ou 9 pour notre application. Vous pouvez ajuster très légèrement la fréquence VHF autour de cette fréquence harmonique par L1.

Mais si votre quartz est à résonance parallèle, la fréquence VHF que vous allez obtenir va se situer légèrement en dessous de la fréquence calculée. L'écart est de l'ordre de un pour mille et ne peut pas être rattrapé par L1. Par exemple l'harmonique 9 d'un quartz 16,000 MHz devrait donner une oscillation à 144,000 MHz. Si vous obtenez entre 143,850 et 143,900 MHz, le quartz est probablement à résonance parallèle. Dans beaucoup de cas, cet écart a peu d'importance. Cependant, si vous voulez une fréquence précise ou si vous vous retrouvez hors bande comme dans l'exemple précédent, il faut modifier le montage. Pour faire osciller la balise sur la bonne fréquence, il faut modifier la chaîne R6, L1, et C5 autour du quartz, sans changer les autres éléments du montage :

- supprimer R6 (560ohms) en parallèle avec le quartz,
- remplacer L1 par un condensateur ajustable CV3 de 30 pF. Un condensateur ajustable à 2 pattes peut entrer directement à la place de l'inductance après avoir agrandi les trous de perçage.
- enlever C5 (100pF), et court-circuiter les 2 pastilles sur le circuit imprimé.

La chaîne R6-Q-L1-C5 entre la masse et la base de T3 est donc remplacée par la chaîne plus simple Q-CV3. Le condensateur CV3 permet maintenant d'ajuster la fréquence.

La photo 4 montre le montage ainsi modifié. La résistance R6 derrière le quartz a été enlevée, l'inductance L1 a été remplacée par le condensateur variable CV3, et le condensateur C5 a été supprimé mais son emplacement est court-circuité sous le circuit imprimé.

Différentes utilisations de ce mini générateur

La première utilisation de ce mini générateur est bien évidemment le test des récepteurs VHF (Photo 5). Bien que le niveau de sortie soit extrêmement réduit, on arrive à entendre le signal à quelques mètres en plaçant un fil de 50 cm comme antenne dans la prise BNC. Par exemple en radiogoniométrie sportive, on peut s'assurer sur le terrain que son matériel fonctionne correctement.

La deuxième utilisation est le test de récepteurs. Pour adapter le niveau du mini générateur, l'idéal est d'insérer un atténuateur 50 Ω en série. Ce type d'atténuateur est présenté sur la photo 6. Même si le niveau de sortie n'est pas calibré, par mesure comparative on peut aisément comparer la sensibilité de différents récepteurs (Photo 7). Il est possible de calibrer le niveau de sortie par comparaison avec un générateur étalonné.

Bilan

Ce mini générateur est avant tout un excellent outil pour vérifier le matériel VHF sur le terrain, le tester et l'aligner. Il a été conçu pour ne générer qu'une très faible puissance, de l'ordre de quelques dixièmes de microwatts. Le montage est très facile à construire et à régler. Associé à un atténuateur, il permet de tester la sensibilité des récepteurs ainsi que leur réglage et leur alignement.

Et tout cela pour un prix de revient très réduit, de l'ordre de 5 euros de composants sur le circuit imprimé et d'une dizaine d'euros boîtier compris ...

Référence

[1] F1LVT et F6EAJ, « Mini-générateur VHF modulé, permettant de tester le fonctionnement des récepteurs de radiogoniométrie pour les balises aviation 121,5 MHz », RASEC-Infos, juillet 2004, pages 17 - 20, et RASEC-Infos Spécial AG 2004 pages 32 - 35

Contact : F1LVT@yahoo.fr

Liste 1 : Composants pour le mini générateur

Résistances

R1	3,3 k Ω
R2	1 M Ω
R3	4,7 k Ω
R4	10 k Ω
R5	100 k Ω
R6	560 Ω
R7	15 k Ω
R8	6,8 k Ω
R9	680 Ω
R10	1 k Ω
R11	47 Ω

Condensateurs

C1	1 μ F tantale
C2	10 à 22 μ F tantale
C3	10 nF céramique
C4	10 nF
C5, C6, C7	100 pF céramique
CV1, CV2	Condensateur ajustable 2 – 20 pF (Philips \varnothing 7,5 mm, couleur verte) ou condensateur équivalent dont la valeur maximale est 15 ou 20 pF

Transistors et CI

CI1	NE 556
T1	transistor PNP : 2N2907, BC560, ou autres
T2	BS250
T3	2N2222A, ou équivalent

Autres composants

Quartz	Quartz (fréquence à choisir en sous multiple d'une fréquence dans la bande 144 – 146 Mhz)
L1	Mandrin \varnothing 4 mm avec noyau 20-60 MHz (Electronique Diffusion, ref HFKT317F40) 20 spires fil \varnothing 0,3 mm sur le mandrin \varnothing 4, voir texte et photo 3
L2, L3	7 spires fil \varnothing 1 mm sans support, longueur 14 mm, réalisé sur un support \varnothing 6 mm, voir texte et photo 2

Divers

Circuit imprimé		
Boîtier	TEKO 392	83 x 68 x 28 mm
Connecteur	Prise BNC	
D1	LED rouge 3 mm	
Interrupteur à poussoir		
Connecteur pile 9 volts		

Liste 2 : Composants pour l'atténuateur

Les valeurs des atténuations sont approchées, les résistances sont dans les séries normalisées. La valeur maximale est de 90 dB en 8 cellules : 3 x 20 dB, 2 x 10 dB, 5 dB, 3 dB et 2 dB, ce qui permet de faire varier l'atténuation par pas de 1 ou 2 dB.

20 dB :	2 x 68 Ω en parallèle et 270 Ω en série,
10 dB :	2 x 100 Ω en parallèle et 68 Ω en série,
5 dB :	2 x 220 Ω en parallèle et 33 Ω en série,
3 dB :	2 x 330 Ω en parallèle et 18 Ω en série,
2 dB :	2 x 470 Ω en parallèle et 12 Ω en série,

Boîtier	TEKO 374	161 x 50 x 26 mm
Connecteur	2 prises BNC	
Interrupteurs doubles	8	
Résistances	1 x 12 Ω 1 x 18 Ω 1 x 33 Ω 8 x 68 Ω 4 x 100 Ω 2 x 220 Ω 3 x 270 Ω 2 x 330 Ω 2 x 470 Ω	

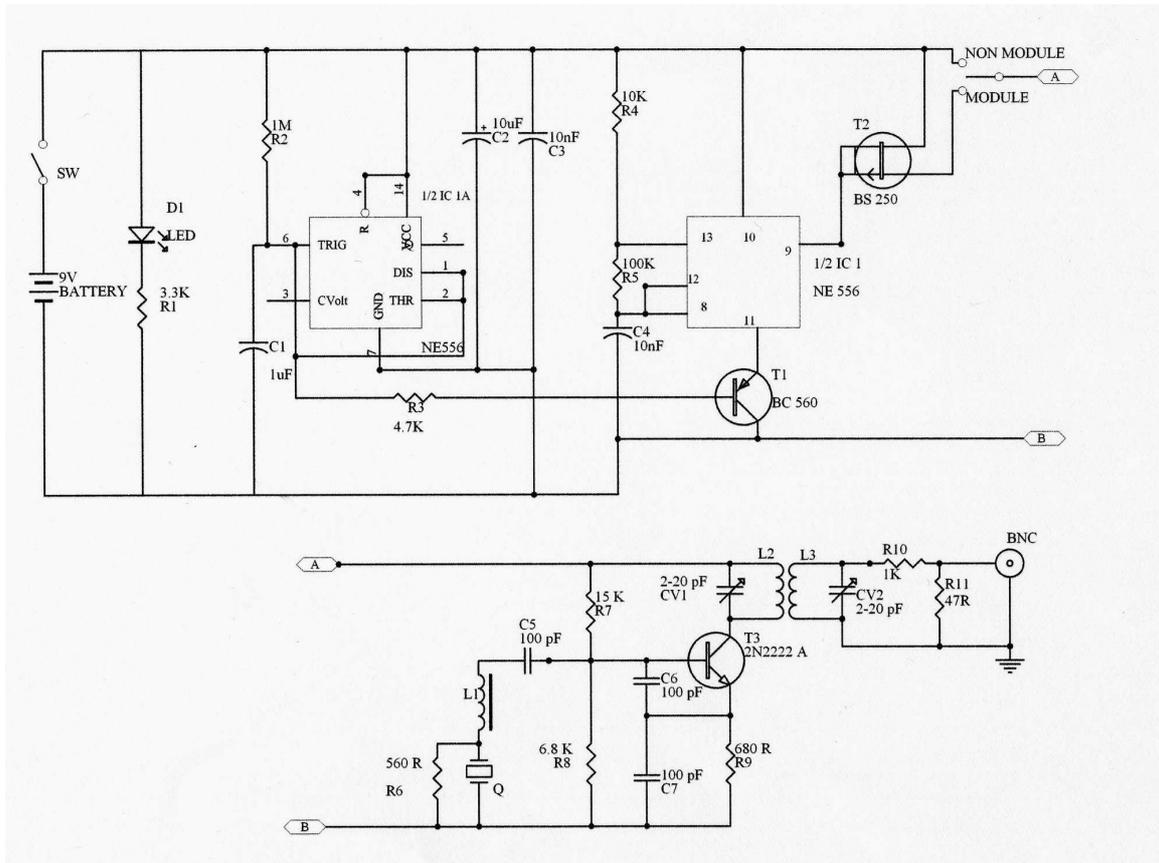


Figure 1 : Schéma du montage

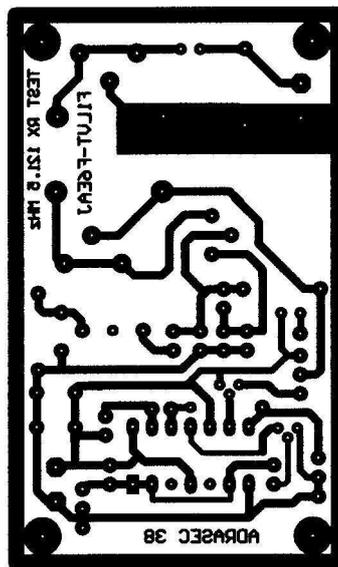


Figure 2 : Circuit imprimé

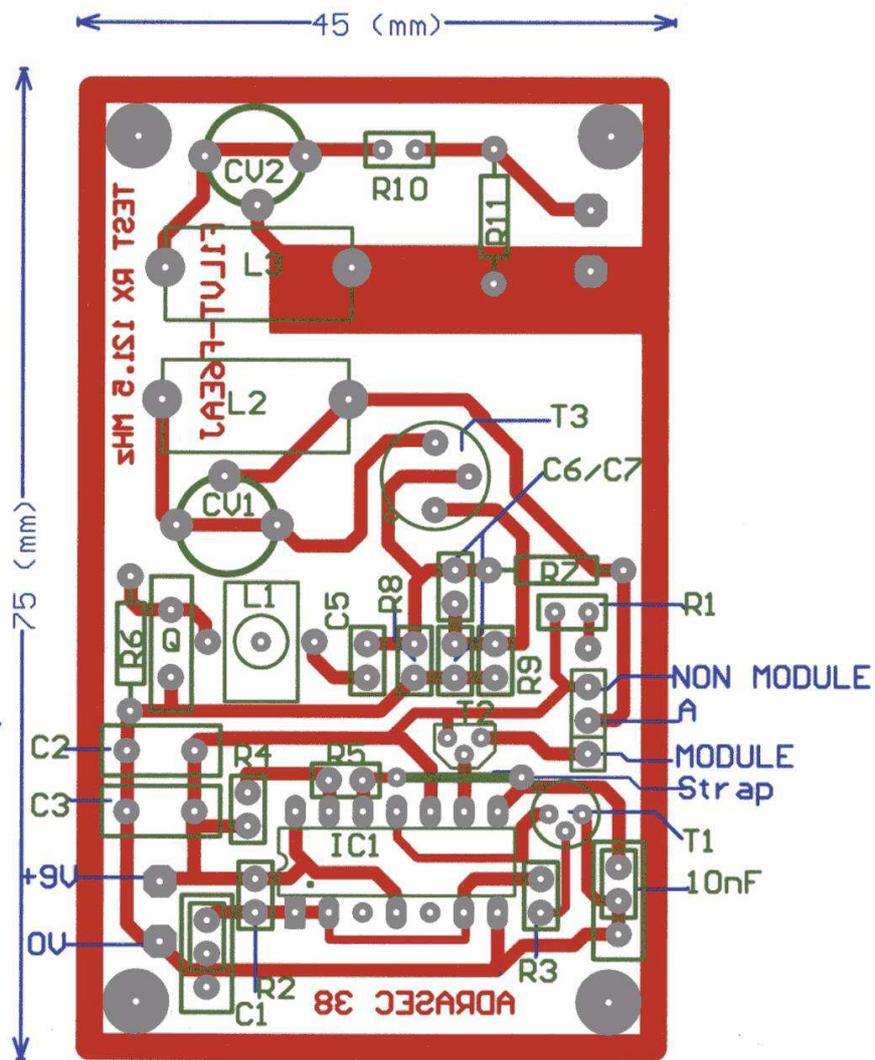


Figure 3 : Implantation des composants



Photo 1 : Prototype du mini générateur

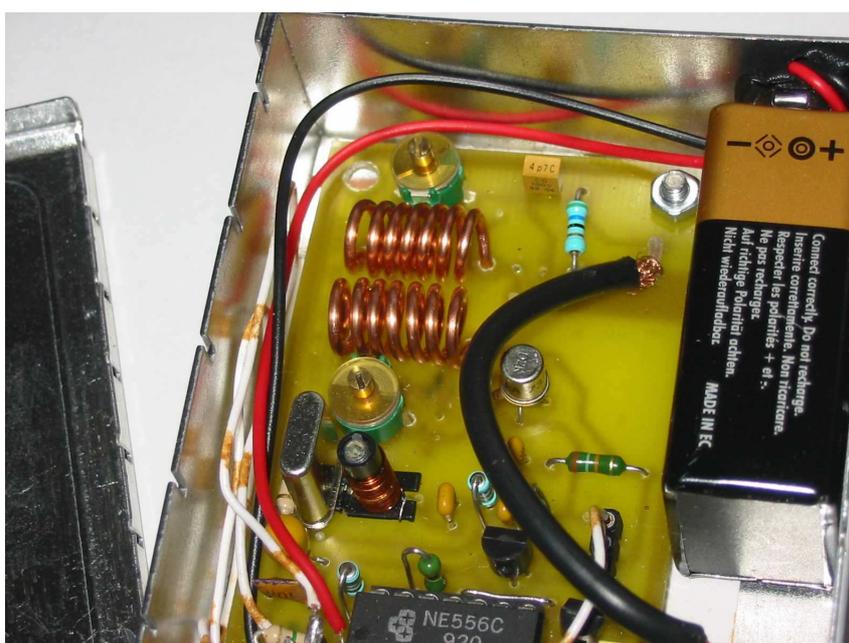


Photo 2 : Vue sur les bobinages



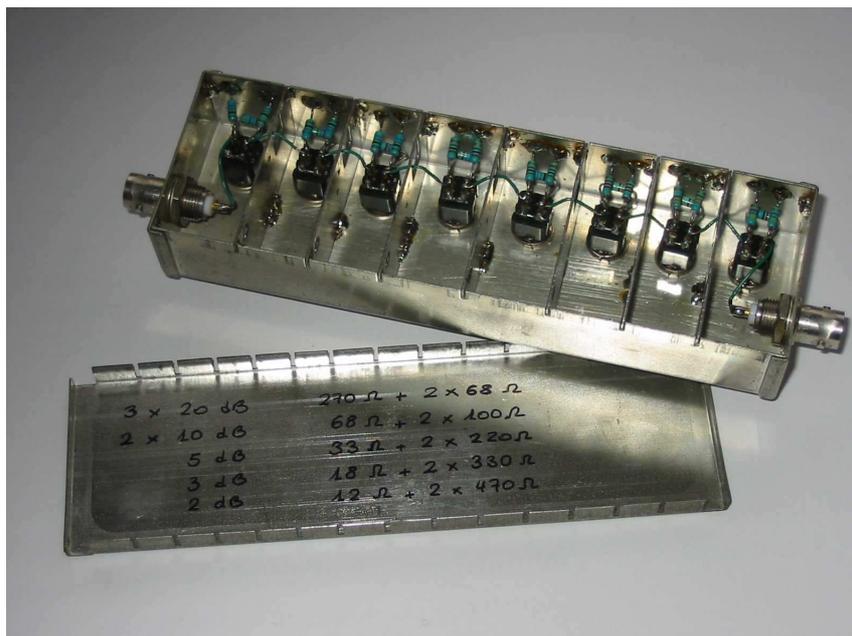
Photo 3 : Réalisation du bobinage de L1



Photo 4 : « oscillateur parallèle ». L'inductance L1 a été remplacée par un condensateur variable, la résistance R6 derrière le quartz a été supprimée, et le condensateur C5 a été enlevé et shunté sous le circuit imprimé.



Photo 5 : Utilisation en mini-balise de test de récepteur avec simplement un fil de 60 cm dans la prise BNC



**Photo 6 : Atténuateur de construction simple.
Huit cellules 50Ω en π, 3 de 20 dB, 2 de 10 dB, puis 5 dB, 3 dB, et 2 dB.**

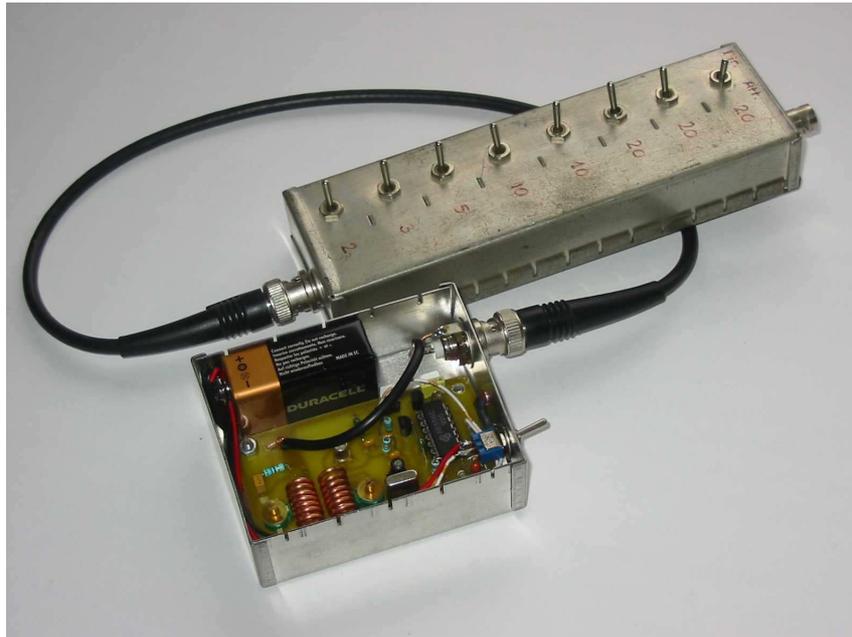


Photo 7 : utilisation du mini générateur pour tester la sensibilité ou pour aligner un récepteur