



SQUIRRELY : Un nouveau concept par **F4EGX F5RCT F4AVI**

Module compresseur de modulation

SQUIRRELY

4^e partie le MODULE COMPRESSEUR de MODULATION

Version 2 avec le SSM2167

Description technique et réalisation

F5RCT- Edition du 7 Février 2014



Microphones et compresseur de modulation pour émetteur à bande latérale unique

Jean-Matthieu STRICKER F5RCT

Dans le cadre de la réalisation de l'émetteur-récepteur 2 m BLU SQUIRRELY, la description suivante porte sur la partie audio à l'émission avec un guide de choix sur les différents types de microphones et la réalisation d'un compresseur de modulation. Le prétraitement de la parole est indispensable avant un modulateur en bande latérale unique : il augmente l'intelligibilité et fait gagner en rapport signal sur bruit à la réception. Cette réalisation est aussi applicable à tout autre appareil, ou bien à un microphone de table par exemple.

Choix du microphone :

Le choix d'un bon microphone est souvent lié à l'appréciation personnelle de l'opérateur. Certains préfèrent un microphone à main, d'autres un microphone sur pied, ou encore un micro-casque. Dans ces différentes formes il existe trois principales variétés de transducteurs microphoniques :

- **Le microphone dynamique** est constitué d'une bobine mobile fixée sur une membrane. Les pressions de l'air se communiquent à la membrane sur laquelle est montée la bobine. De cette dernière va naître une tension induite en se déplaçant par rapport à l'entrefer d'un aimant fixe. C'est le fonctionnement inverse d'un haut-parleur. Ce type de microphone existe sous différentes présentations, citons la marque germanique Peiker qui avait fait sa réputation dans les radiotéléphones Thomson des années 1980 (figure 1). Ces microphones d'excellente qualité étaient très directifs éliminant ainsi les sources de bruit externes. Son usage s'avère utile notamment à bord d'un véhicule.

Le microphone dynamique est robuste et capable de gérer de fortes pressions acoustiques. Suivant l'inertie et la dureté de la membrane il peut parfois manquer de finesse dans les aigus, ceci est sans importance pour nos applications amateur.

La sensibilité varie de 0.5 à 2 mV/Pa à 1 kHz. L'impédance varie de 200 à 600 Ohms suivant les modèles. La bande passante est comprise entre 100 et 10.000Hz.



Figure 1 : Microphone dynamique Peiker

- **Le microphone à électret** est dans son principe voisin du microphone à condensateur mais présente la particularité de disposer d'un composant à polarisation permanente. Certains plastiques conservent une certaine polarisation : orientation électrique des molécules. Par exemple, un film de polycarbonate métallisé, polarisé sous une tension de 3kV dans une étuve à 120 degrés celsius puis refroidit brusquement, conserve une polarisation de manière définitive.



Le problème, c'est que la charge de polarisation diminue dans le temps, ce qui se traduit par une perte de sensibilité du micro au fil des années. La capsule en aluminium de ce type de microphone peut parfois se desserrer et provoquer une rupture de masse (figure 2).

De très petite taille et économique, le micro à électret est très utilisé dans le domaine grand public (téléphone mobile, micro-cravate, micro-casque, etc.). On l'apprécie pour son rapport taille/sensibilité. Il est parmi les plus répandus actuellement.

La sensibilité varie de 4 à 8mV/Pa à 1kHz. L'impédance de 1000 à 2000 Ohms dépend de la résistance d'alimentation.



Figure 2 : Microphone Electret

- **Le microphone piézoélectrique** ou dit « astatique ». Dans les années trente à quarante, le terme "astatique" désignait des microphones "à cristal", à membrane en duralumin. Ils ne nécessitaient pas d'alimentation comme les micros "statiques" à condensateur, d'où l'appellation "a-statiques" qui a donné le nom Astatic à une célèbre firme Américaine (figure 3). La membrane déforme une petite pastille piézo-électrique. Il s'agit d'un matériau présentant une structure atomique cristalline, comme le quartz. Un tel matériau présente aux surfaces une force électromotrice proportionnelle à la déformation mécanique. La métallisation des surfaces permet de " récupérer " cette tension.

Ces microphones présentaient de bonnes caractéristiques dont une tension de sortie élevée. Toutefois leur haute impédance obligeait d'utiliser des câbles courts et enfin le cristal piézo-électrique vieillit mal tout en craignant chaleur et humidité. Ces microphones sont très peu répandus de nos jours mais sont très prisé par les amateurs de matériels anciens. Les micros à cristal, utilisés avec les magnétophones jusqu'aux années soixante, ont été ensuite abandonnés au moment du développement des dynamiques et des électrets. On n'en trouve rarement aujourd'hui, si ce n'est avec des anciens appareils vendus comme antiquités ou ceux commercialisés par « Astatic ».

L'impédance de ce type de microphone est élevée : de l'ordre de 50.000 à 80.000 ohms, alors que les entrées des appareils actuels sont à basse ou moyenne impédance (200 ohms à 1200 ohms). On ne risque rien en le branchant mais le son sera complètement déformé et aigu. Pour obtenir un son correct, il faut utiliser un transformateur adaptateur d'impédance : de l'ordre de 50 000/200 ohms ou bien un amplificateur à haute impédance d'entrée avec un transistor en collecteur commun.

Figure 3 : Microphone piézoélectrique Astatic





Intéressons-nous à notre projet Squirely.

Nous proposons une entrée compatible microphone électret et la possibilité d'y connecter un microphone dynamique préamplifié.

Le préamplificateur faible bruit incorporé au microphone PEIKER.

A l'intérieur des microphones Pieker de type « stylo » se trouve un circuit imprimé de raccordement à la base du corps du microphone. La description suivante propose de remplacer cette carte par un préamplificateur auto alimenté. Ainsi le microphone est compatible avec une entrée type électret.

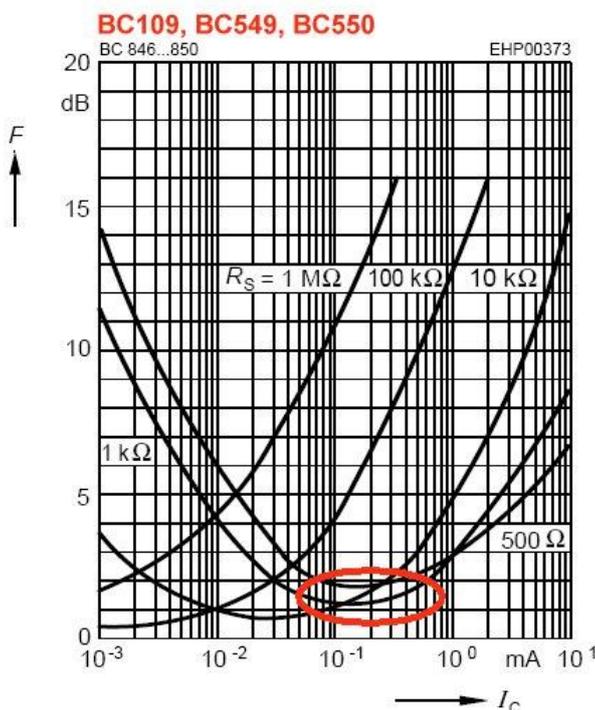
La structure de l'entrée microphone correspond à l'étage de polarisation d'un microphone électret. Le +5 V de l'alimentation du compresseur audio traverse une cellule de filtre RC formé d'une résistance de 2k2 et d'un condensateur de 47 μ F. Une résistance de polarisation de 1 k se trouve entre ce filtre et l'entrée microphone. Grâce à ce dispositif nous pouvons relier directement un microphone électret ou bien un microphone dynamique muni d'un préamplificateur interne.

Le préamplificateur se réduit à sa plus simple expression et ne comporte qu'un seul transistor. Ce schéma de principe fut emprunté au microphone de l'ICOM IC-290. Le transistor est monté un émetteur commun, ce dernier étant alimenté via le câble par le réseau de polarisation de type électret de l'appareil. La base du transistor est polarisée à travers la bobine par le réseau de résistances 10k et 2k2. Le condensateur de 4,7 μ F découple le réseau de base pour les fréquences supérieures à 170 Hz pour couper les consonnes soufflantes « p », « b ». Ce dispositif de polarisation permet de vérifier la continuité de la bobine sans démonter le microphone, car si celle-ci est coupée, le transistor est bloqué, et la chute de tension sur la résistance de collecteur tombe à zéro.

La résistance d'émetteur provoque une contre réaction qui stabilise le gain quelque soit les paramètres du transistor. Pour bloquer les courants HF induits, des capacités céramiques sont montés au plus près du transistor.

Noise figure $F = f(I_C)$

$V_{CE} = 5V$, $f = 1kHz$



Un bon préamplificateur doit avant tout apporter le minimum de bruit de fond. Le transistor employé est un classique BC109B dont ses dérivés sont les BC549B, BC550B ou 849B (CMS), citons aussi les BC184 ou BC209B qui sont d'ancien modèles. Les conditions optimales au minimum de bruit de ce transistor sont liées à l'impédance de la source (ici le microphone) et au courant collecteur qui devra se trouver dans une gamme de 100 μ A à 350 μ A (voir figure 4).

Il n'est pas forcément nécessaire de réaliser un circuit imprimé pour ces quelques composants, une petite plaque à pastille entourée d'un anneau de masse fera très bien l'affaire. On soudera les capacités au plus près

Une fois le circuit terminé on le raccordera au poste pour vérifier le courant de polarisation du transistor. Le microphone est toujours polarisé même en phase de réception. Pour les essais, on raccordera



un oscilloscope, un amplificateur ou mieux un enregistreur sur la sortie.

Figure 4 : Facteur de bruit du BC109 et de ses successeurs.

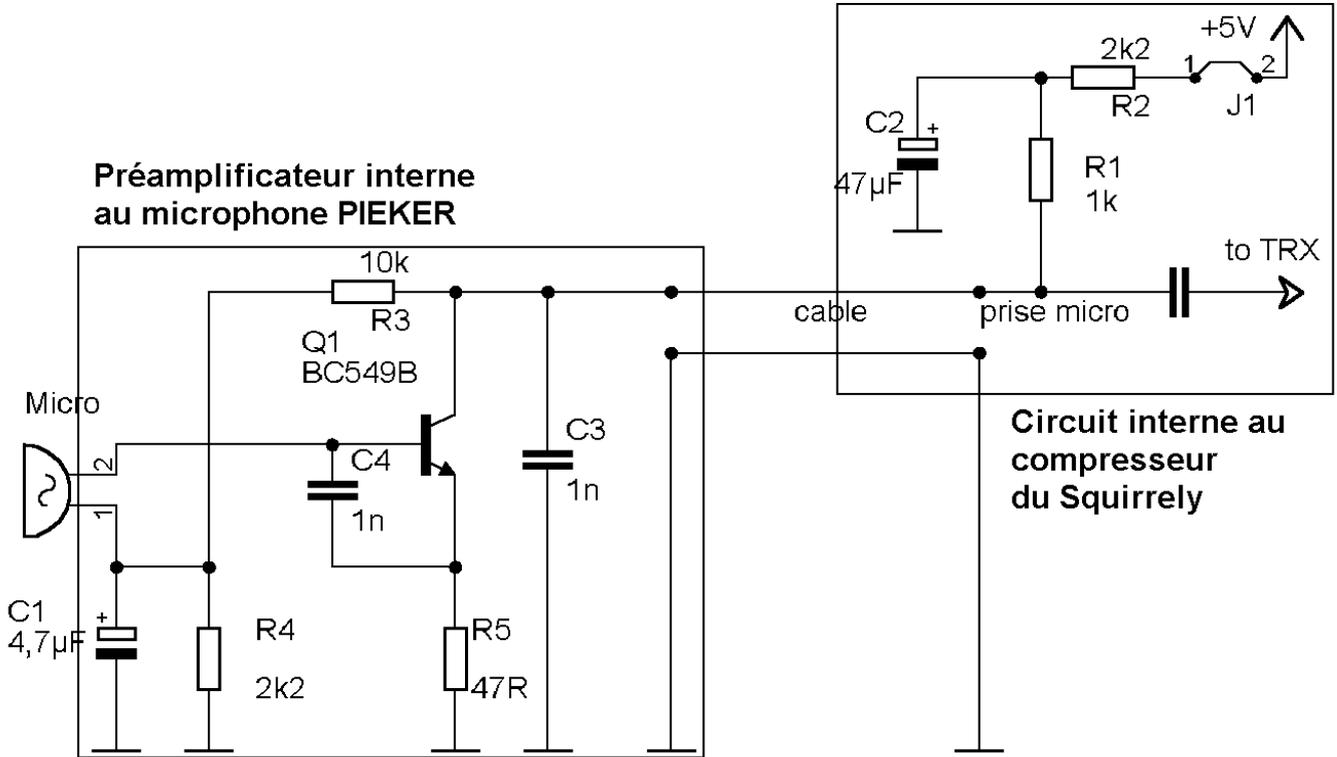


Figure 5 : Schéma du préamplificateur interne au microphone dynamique.

Pour vérifier le préamplificateur, le relier au circuit de polarisation et effectuer les mesures suivantes :

- Mesurer le courant total sur la charge R1 de 1k : 0.56V donnent 560µA.
- Déduire le courant le pont de base dans la résistance R3 de 10k. Pour cela mesurer la différence de potentiel sur cette résistance et en déduire le courant : par exemple 2,70 donnent 270 µA.
- Le courant collecteur sera de 560 µA - 270 µA = 290 µA, qui devra être compris entre 100 µA et 350 µA.
- Si nécessaire retoucher la résistance de 2k2 par 1k8 si le courant est trop élevé ou 2k7 si le courant est trop faible.

Pour agir sur le gain on peut modifier la valeur de la résistance d'émetteur par 22 à 120 Ohms, mais il faudra retoucher la résistance de polarisation de 2k2.

Pour modifier la tonalité si la voix de l'opérateur est trop grave, il faut diminuer la valeur de la capacité de 4,7 µF par 2,2 µF ou 1 µF. Ceci aura pour effet d'atténuer les fréquences grave dans la portion 200 Hz à 600 Hz. Pour ma part, j'ai préféré couper à 340 Hz avec 2,2 µF.



Le concept du Squirrelly :

Pour notre projet d'émetteur-récepteur BLU, nous avons adopté une solution universelle pour y adapter un microphone électret ou un microphone dynamique avec préamplificateur. Nous avons laissé de côté les microphones astatiques en haute impédance à moins que ceux-ci soient raccordés via un transformateur basse impédance. Cette solution permettra de raccorder sur la même prise différentes configurations :

- un micro-casque de type électret. Les sorties audio pour les écouteurs seront disponibles sur cette même prise microphone. Une prise jack à l'arrière du poste ou une dérivation sur le câble du micro-casque permettront d'y brancher une pédale d'émission, l'opérateur aura ainsi les mains libres pour pouvoir trafiquer aisément.
- Un microphone à main qu'il soit à électret ou dynamique muni d'un préamplificateur interne pour porter la sensibilité de ce dernier au même niveau que l'électret.
- Un combiné muni d'un microphone et d'un écouteur (type casque bas niveau) ou d'un haut-parleur (sur la sortie directe de l'amplificateur BF).
- Un microphone de table avec pédale d'émission.
- Ou pourquoi pas, un kit piéton de téléphone mobile modifié !

Pour mon Squirrelly, j'ai mis au point un microphone Peiker de radiotéléphone Thomson et un micro-casque à électret. Les deux donnent entière satisfaction, l'électret donnant un son un peu plus « aigu ».

Le compresseur de modulation :

Rappelons que le prétraitement du signal est indispensable avant un modulateur en bande latérale unique. Le fait de comprimer la modulation augmente l'intelligibilité et fait gagner en rapport signal sur bruit à la réception. La puissance apparente de l'émetteur augmente aussi. La puissance moyenne est au moins doublée.

Le compresseur de modulation n'est guère complexe à réaliser. Au départ, nous avons réalisé ce circuit avec le SSM6125 devenu obsolète. Nous l'avons remplacé par le SSM2167. Attention, on trouve encore l'ancien mais ce dernier est une version Asiatique contrefaite qui ne fonctionne pas du tout ! (voir figure 6a et 6b)



Figure 6 a :
Le vrai : le sigle est près de la broche 1

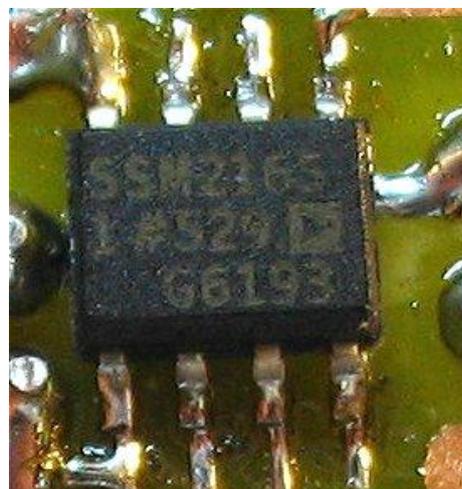


Figure 6 b :
Le faux : le sigle est à l'opposé !



Ce circuit SSM2167 rempli à la fois la fonction de préamplificateur et de compresseur (audio ALC) dans un boîtier CMS de 10 broches (figure 7). Le taux de compression est réglable par la résistance ajustable R15. **Plus R15 augmente, plus le taux de compression est important.** R15 variera entre 47 k et 147k pour un taux de compression de 2/1 à plus de 9/1 en dB.

Un taux de compression trop élevé fait apparaître le bruit de fond et provoque des claquements (plops !) sur les consonnes. Pour prévenir l'apparition du bruit de fond, le SSM2167 possède un seuil de silencieux en dessous duquel les bruits de fond sont masqués. Ce point est réglable par la résistance R5 qui variera entre 0 et 4,7k pour une plage de 15 dB.

Les résidus de hautes-fréquences sont filtrés par un réseau en Pi avec la self L1. Le condensateur C1, associé à l'impédance d'entrée fixée par R2, coupe les fréquences hautes au delà de 7 kHz. Ce filtre passe-bas sommaire élimine les bruits électromagnétiques induits par les ampoules fluorescentes basse consommation. Les fréquences VHF sont rejetées par le condensateur C3 de 150 pF pour éviter tout accrochage en émission.

Les valeurs des condensateurs de liaison furent largement diminuées par rapport aux schémas d'application de la documentation du SSM2167. Il s'agit en effet, de couper les fréquences graves très près des 300 Hz pour rendre la voix plus claire ce qui passe mieux en SSB.

De ce fait, les condensateurs C2 et C7 ont été calculés pour couper les fréquences graves à 300 Hz au niveau de l'étage d'entrée du circuit. Pour terminer, le condensateur C6 agit comme un filtre passe-haut coupant les fréquences inférieures à 300 Hz encore une fois. Le niveau de modulation est déterminé par la valeur de la résistance R3 qui forme un atténuateur avec l'impédance d'entrée du modulateur de la section fréquence intermédiaire. Le niveau de modulation à 100% correspond à 170 mV crête à l'entrée du module Fi. A vide le module sort un niveau de 400 mV crête pour une bande passante de 450 Hz à 7,3 kHz.

En bande latérale unique il ne s'agit pas seulement de lisser le niveau BF de modulation par le compresseur, mais de veiller à ce que chaque syllabe soit également compressée. Pour cela, la constante de temps fixée par le condensateur C10 a été volontairement diminuée d'un facteur 10 pour atteindre une constante de temps de 20 ms. La compression syllabique apporte une meilleure compréhensibilité lorsque le signal reçu par le correspondant est noyé dans le bruit. Ainsi chaque syllabe de chaque mot est modulée à 100 %. Pour le SSM2167 le réglage optimal se situe à mi-course de R15.

Le circuit s'alimente en +5V par la tension de la section microprocesseur du synthétiseur de fréquences en présence de R15 et sans le régulateur IC1. Pour une alimentation de 8 à 16 V, on mettra en place le régulateur IC1 sans R1. Un 78L05 sera orienté méplat vers D1.

Pour alimenter des circuits externes sur la prise micro : lanceur d'appel, préamplificateur de microphone,... Un circuit de limitation de courant et de protection a été ajouté à la platine du compresseur. Le courant de sortie est limité à 50 mA environ au moyen des transistors T1 et T2. Au delà du seuil programmé par R7, le dispositif fonctionne en source de courant.

Le circuit CMS SSM2167 sera soudé en premier. Les liaisons de masse sont soudées des deux côtés si le circuit imprimé ne comporte pas de trous métallisés. A la place des composants verticaux, on peut y souder des CMS 1206, 0805 ou 0603.



Module compresseur de modulation

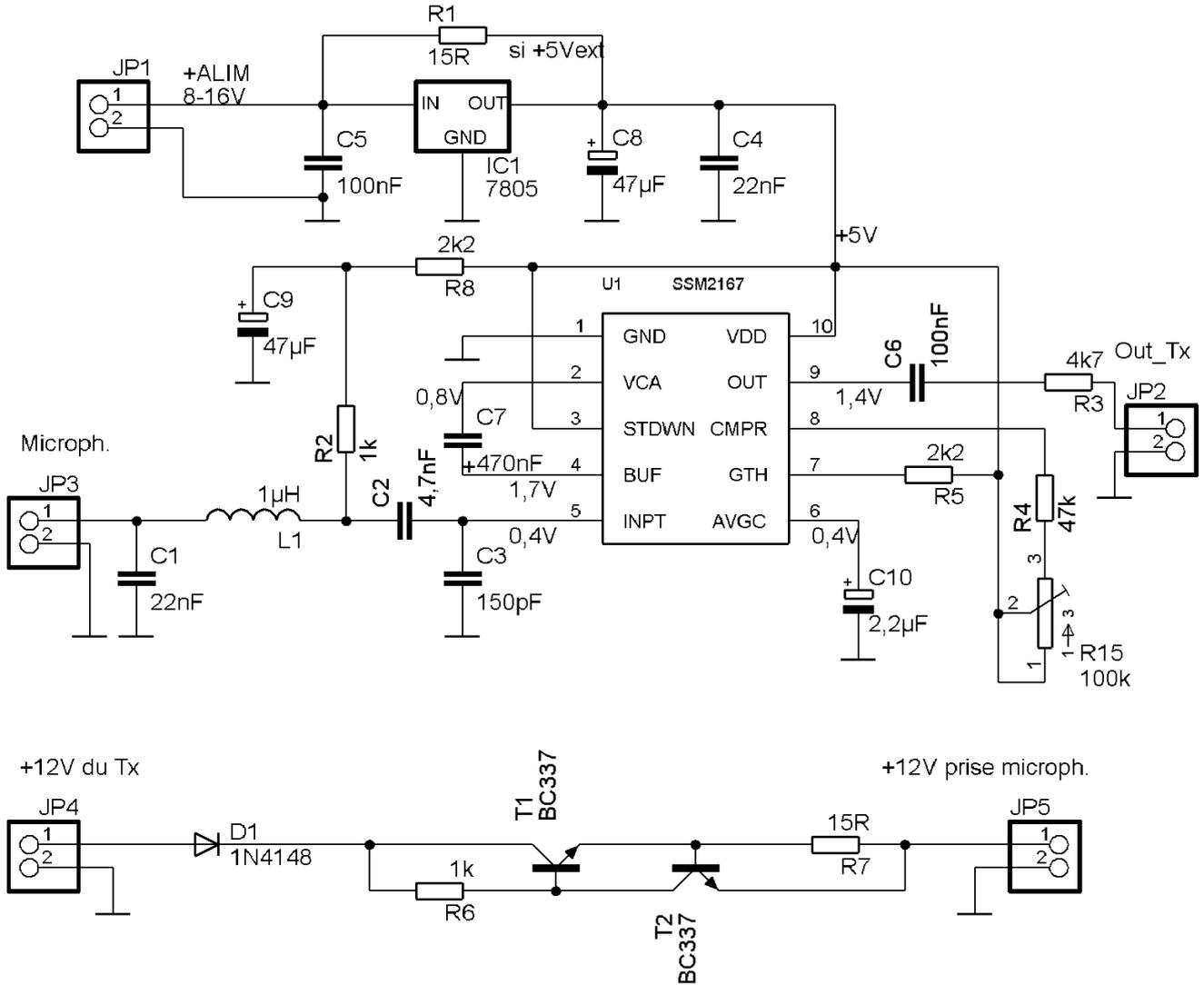


Figure 7 : Schéma du compresseur de modulation.

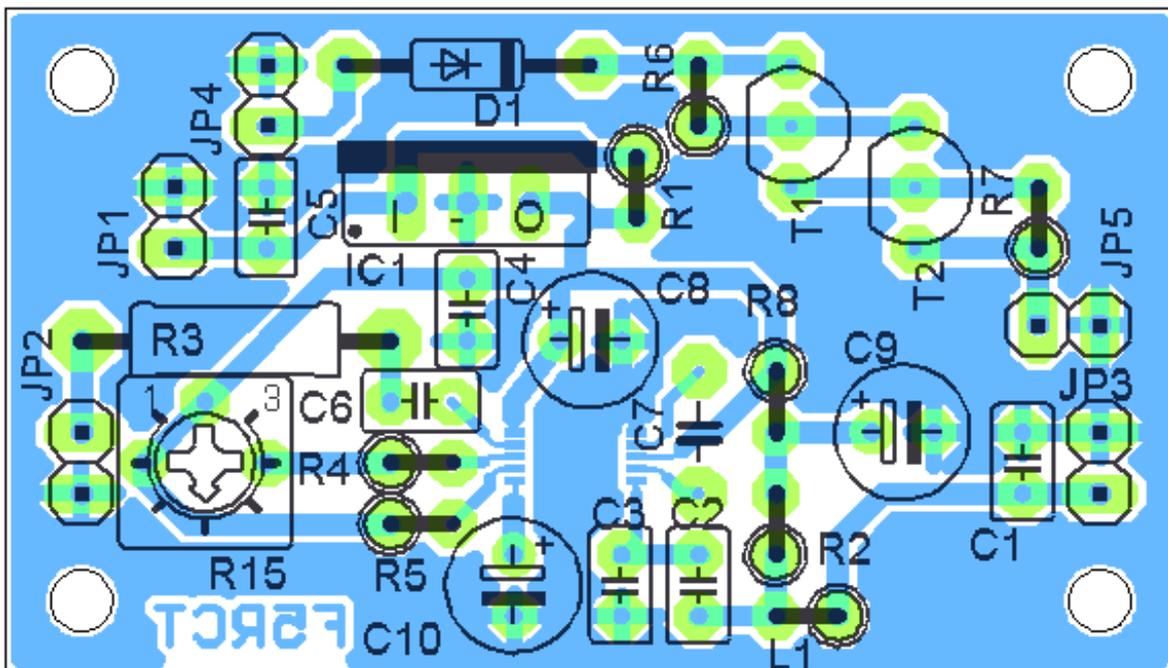


Figure 8 : Implantation des composants.

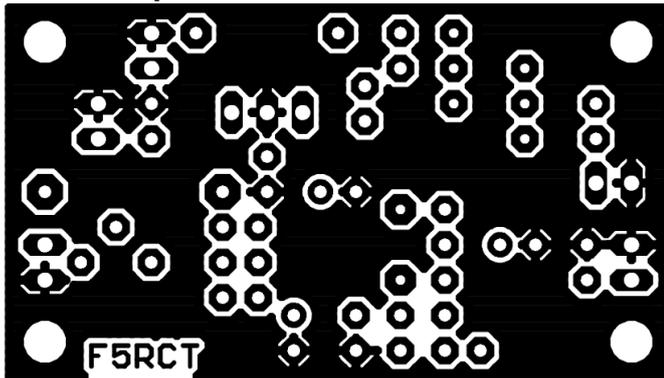


Liste des composants :

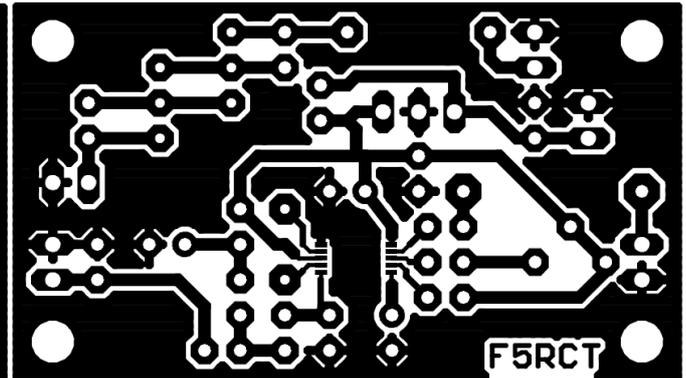
C1, C4	2	22 nF 25V céramique X7R 2.54mm
C2	1	4,7 nF 25V céramique X7R 2.54mm
C3	1	150 pF 25V céramique C0G 2.54mm
C8, C9	2	22 µF à 47µF 10V tantale ou aluminium
C5, C6	2	100 nF 25V céramique X7R 2.54mm
C7	1	470 nF 25V céramique X7R 5.08mm
C10	1	2,2 µF 10V tantale ou aluminium
D1	1	1N4148
IC1	1	7805 ou 78L05
L1	1	470 nH à 2,2 µH
U1	1	SSM2167 http://www.digikey.fr/
R1,R7	1	15R
R2,R6	2	1k
R5, R8	2	2k2
R3	1	4k7
R4	1	47k
R15	1	100k Aj 6mm 75H Vishay 5.08/2.54mm
T1, T2	2	BC337 (NPN)



Face composants :

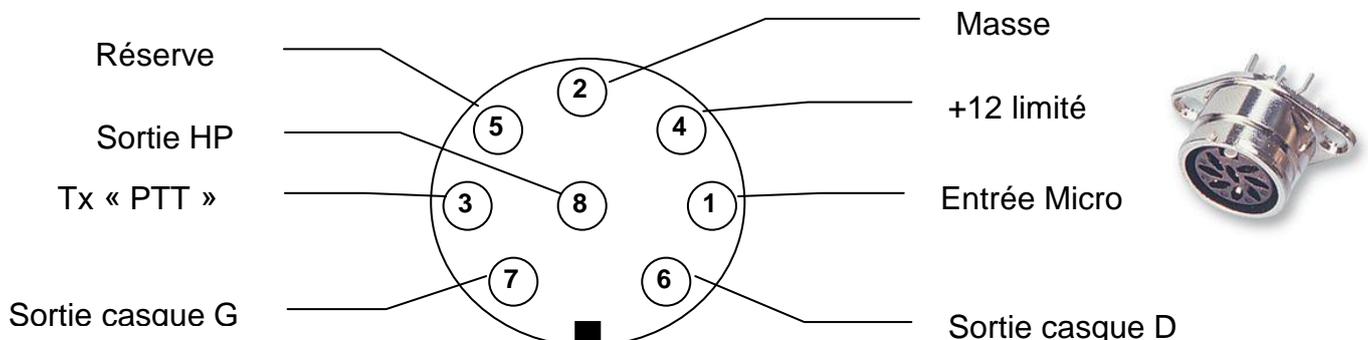


Face soudures et CMS :



L'auteur ne fournit pas de circuit imprimé mais un jeu de fichiers PDF à l'échelle 1 pour réaliser vous-même le circuit imprimé, fichiers téléchargeable sur <http://www.f5kav.org> rubrique *Technique & Projets > Réalisations F5RCT (lien)*; dossier *realisations > Squirrelly > compresseur_microphone*

Brochage de la prise micro du Squirrelly :



Les broches de la fiche DIN sont numérotées sur la fiche et sur l'embase, donc il n'y a pas de risque de confusion pour le câblage.