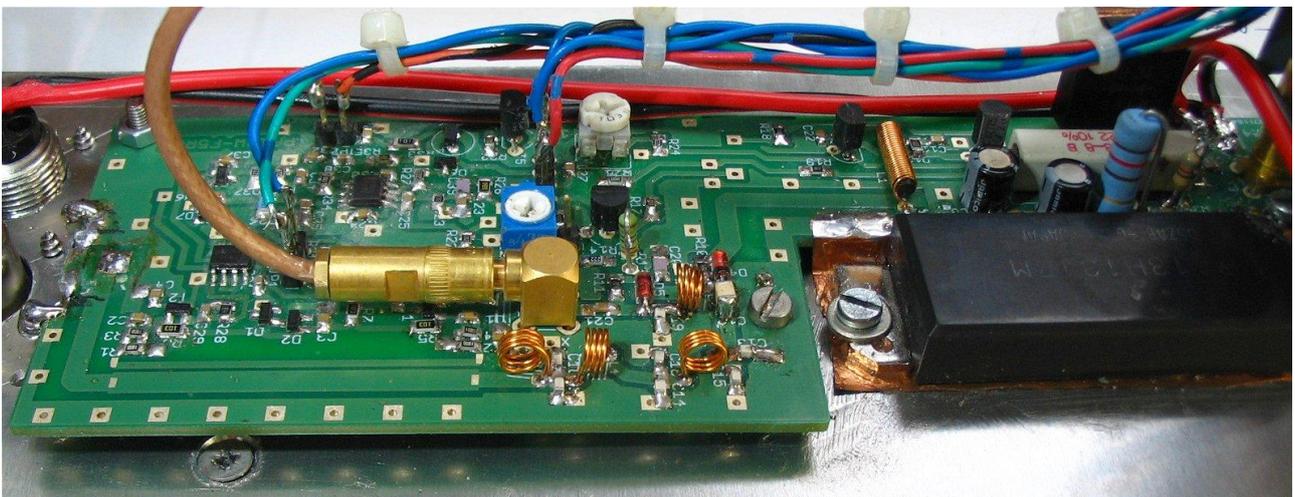




SQUIRRELY

5^e partie MODULE AMPLIFICATEUR VHF 10W

Description technique.





DESCRIPTION TECHNIQUE

Ce module de PA (power amplifier) est chargé d'amplifier le signal d'émission du Squirrelly. Il assure aussi la commutation de l'antenne en émission-réception. Il comprend les protections nécessaires et un circuit d'ALC qui limite la puissance HF pour travailler dans la plage de linéarité du PA.

Face à la difficulté de trouver des transistors d'émission, nous avons préféré utiliser un module hybride à transistors MOSFET.

Les fonctions suivantes ont été implémentées afin de satisfaire aux différentes exigences de son utilisation en « tout terrain » :

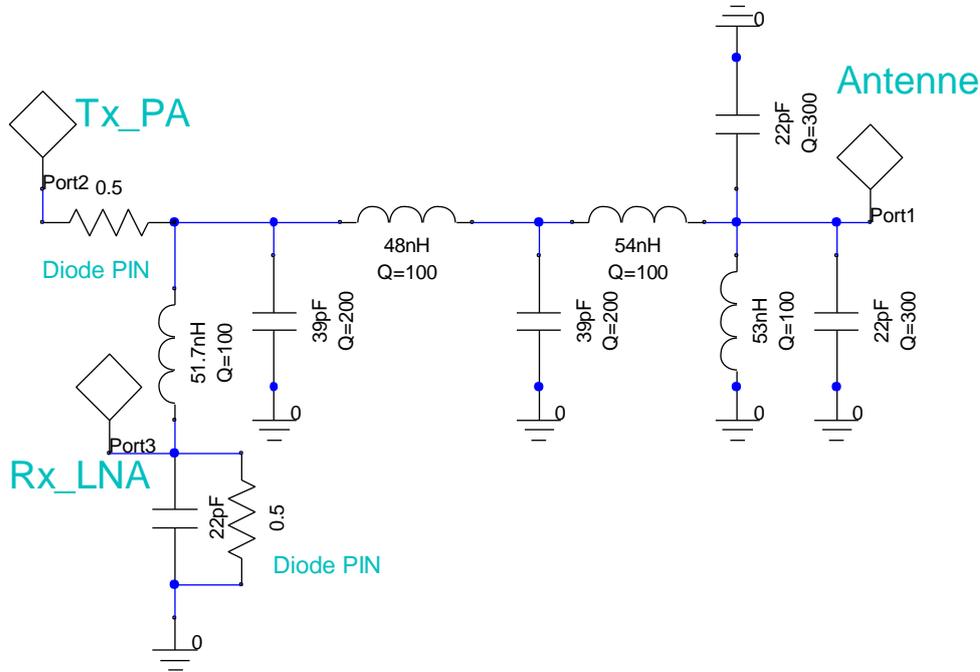
- Protection intégrale contre les inversions de polarité du 12 V par diode Schottky.
- Commutation d'antenne à diode PIN, pas de mécanique !
- Polarisation inverse des diodes PIN et consommation en courant $< 70 \mu\text{A}$ en réception.
- Filtre passe bas et protection efficace contre les décharges électrostatiques sur la prise antenne.
- Coupleur directif intégré pour l'image de la puissance incidente et réfléchie sur le S-mètre.
- Protection intrinsèque contre les désadaptations d'antenne si le ROS $> 2,5 / 1$. Cette protection limite la puissance de sortie et le courant du PA par abaissement de la polarisation.
- Allumage d'une LED si le PA entre en protection.
- Circuit d'ALC par contrôle du courant du PA, ce circuit évite la saturation du PA en limitant la puissance maximale.
- Régulation de la puissance à deux niveaux sélectionnables : 1 W et 10 W.
- Ajustage du niveau de puissance en externe entre 1 et 10 W pour le connecter à un PA externe plus puissant.
- Le fonctionnement du circuit d'ALC a également un effet sur la protection du PA puisqu'il limite le courant maximal de ce dernier (idée prélevée sur le schéma de l'IC290).
- Le schéma fut optimisé pour réduire la place sur la platine qui sera montée sur le radiateur avec la prise N d'antenne.



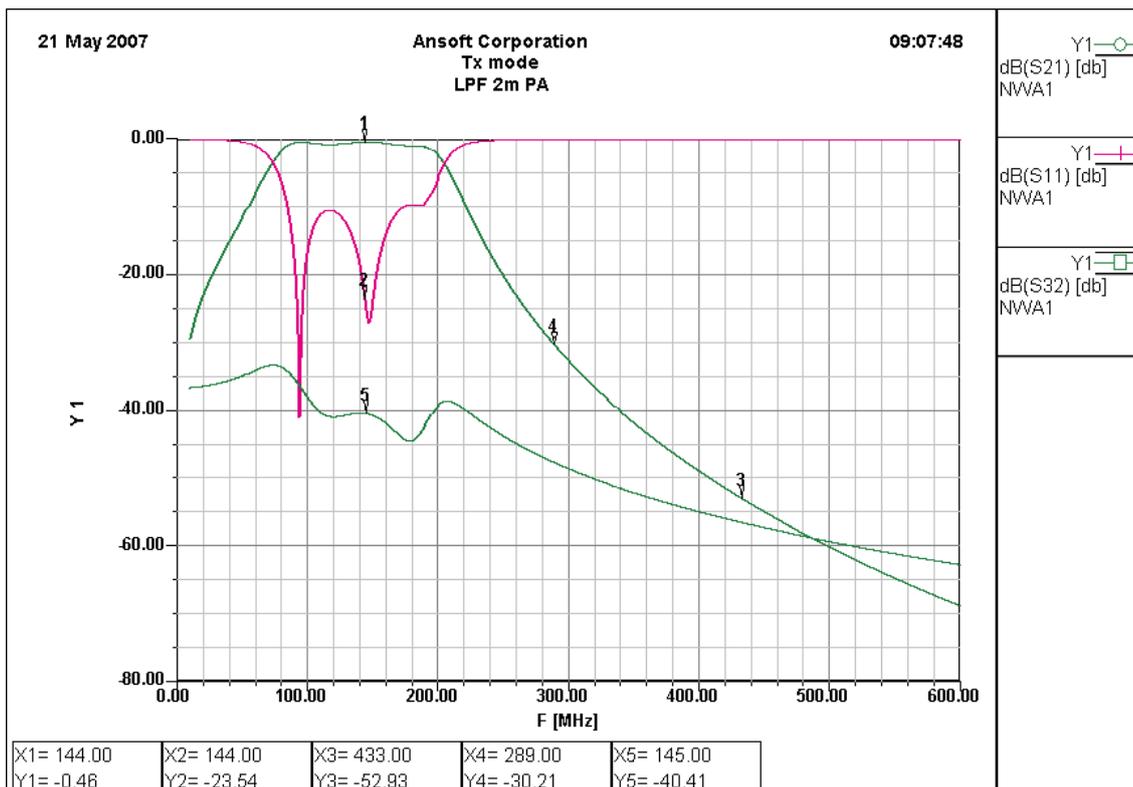
Le filtre d'atténuation des harmoniques :

Les exigences de la réglementation radioamateur Française demandent au moins -50dBc de rejection des harmoniques si la puissance est inférieure à 25 W.

Configuration du filtre de sortie en émission :



Le schéma en figure 1 a servi à la simulation du filtre en mode émission. Les pertes des diodes PIN sont figurées par des résistances de 0,5 Ohm. La self de 53 nH à la sortie antenne atténue la bande HF en dessous de 30 MHz et met la prise antenne à la masse.





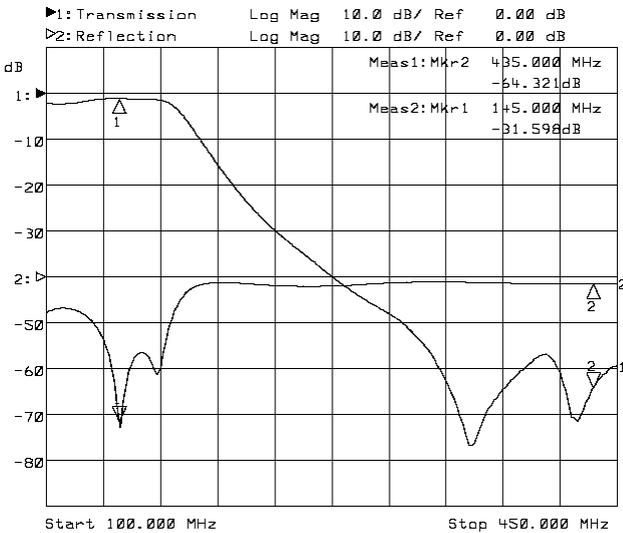
DESCRIPTION TECHNIQUE

Figure 2 : Simulation du filtre en configuration émission. La courbe du bas est l'atténuation vers la voie réception en mode émission.

La simulation, en figure 2, donne -30 dB pour l'harmonique 2 et près de -50 dB pour l'harmonique 3. Bien sûr ces valeurs seront moins bonnes en pratique par le facteur de qualité des composants qui sera plus faible, mais cela sera rattrapé le niveau atténué des harmoniques 2 et 3 du module hybride sont données à -40 dBc et -55 dBc.

Mesures du filtre en Pi et du PA en émission :

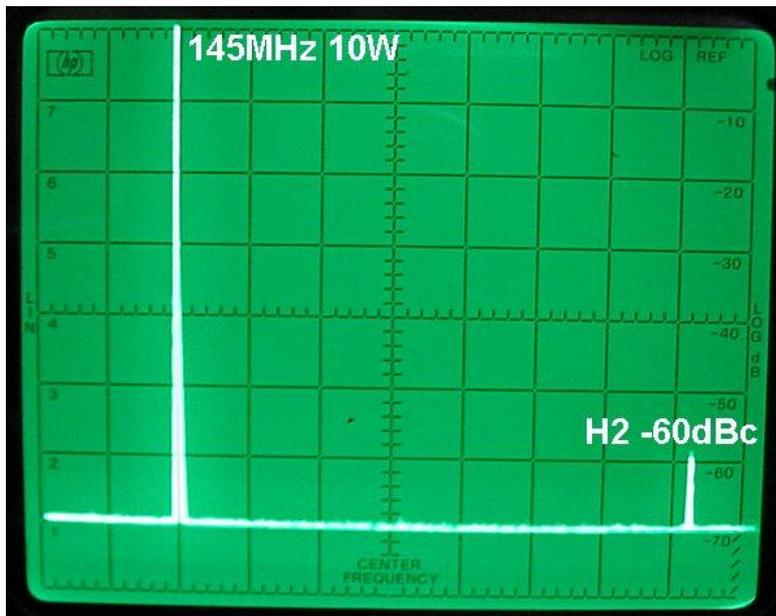
Une embase SMA est soudée sur la tranche du circuit imprimé en lieu et place de la sortie du module hybride. A l'aide de l'analyseur de réseau préalablement calibré on mesure le transfert de la sortie de l'hybride à la prise d'antenne (figure 3).



Pertes en émission : < -0,5 dB
Pertes en retour : < -30 dB
Atténuation H2 : < -32dB
Atténuation H3 : < -64dB

En pratique, la fréquence de coupure et le filtre passe bas d'adaptation interne au module hybride contribuent aussi à la réjection des harmoniques.

Figure 3 : Pertes en transmission et en réflexion du filtre de sortie du PA pour le mode émission.



Le relevé en figure 4 témoigne de la réjection de la 2^e harmonique à -60 dBc (10µW) par rapport à la porteuse qui est à +40 dBm (10W). Le niveau de la 3^e harmonique a été mesuré à -76 dBc ce qui est largement en dessous des exigences de la réglementation.

Figure 4 : Spectre en émission du PA 10W et valeur de l'harmonique 2.



DESCRIPTION TECHNIQUE

Configuration du filtre de sortie en réception. :

Cette fois les diodes PIN sont déconnectées pour la simulation (figure 1). On s'intéressera aux pertes entre l'entrée antenne et la voie réception (figure 5). La capacité des diodes PIN influe peu sur les pertes. Les pertes en réception simulées sont inférieures à 0,4 dB.

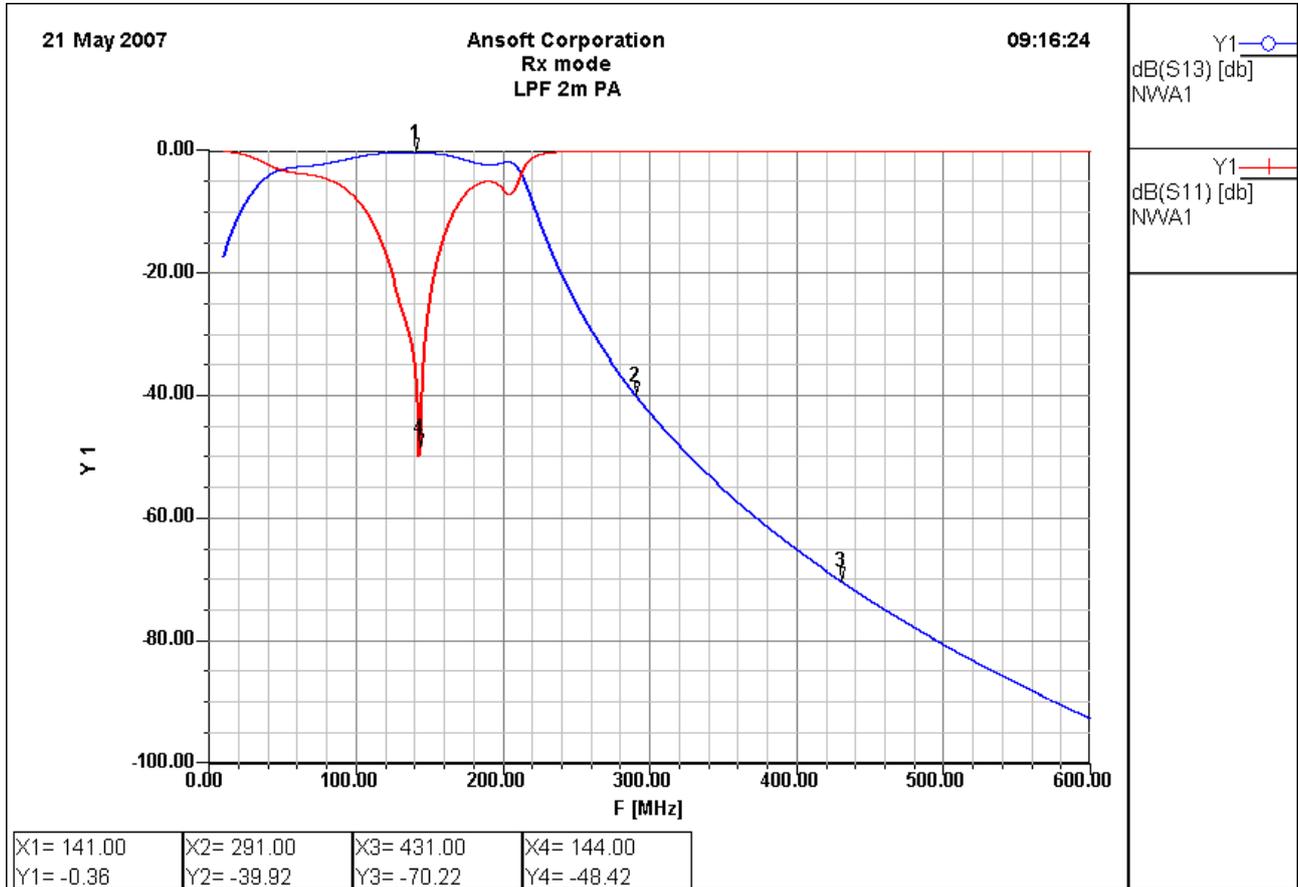


Figure 5 : Courbe de simulation pour les pertes en réception

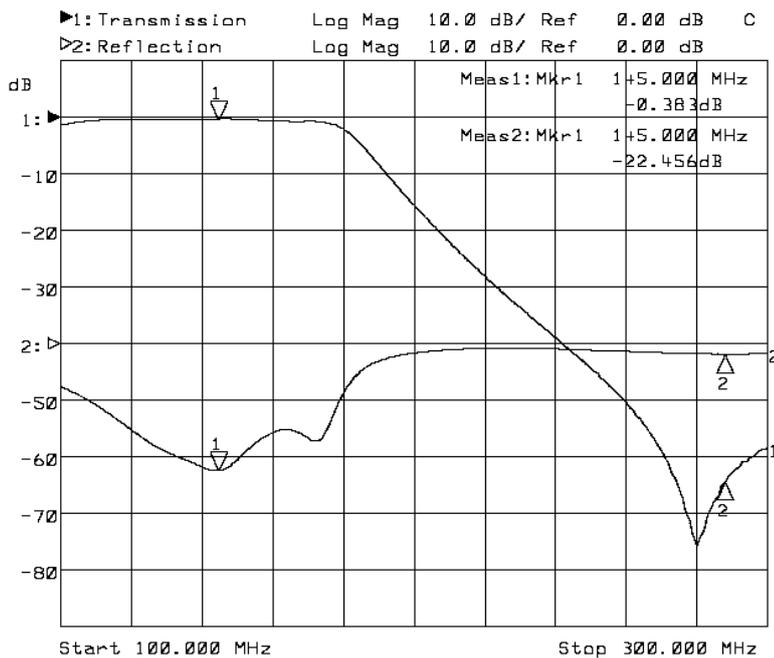


Figure 6 : Mesures des pertes en réception et réflexion



En figure 6, mesure des pertes en réception à 0,38 dB et réflexion à -22 dB. Le marker 2 est sur l'harmonique 2 à 288 MHz. Les pertes en réception s'ajoutent au facteur de bruit du module VHF !

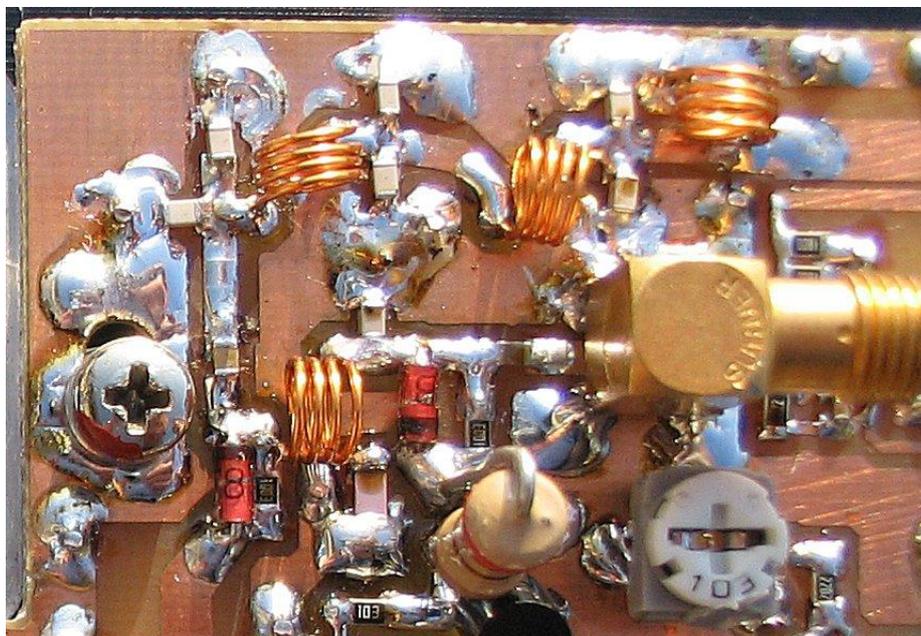


Figure 7 : Vue de la partie filtre et commutation antenne du prototype.

En pratique on constate que les pertes ne sont pas seulement liées au facteur de qualité des selfs, mais aussi à la qualité des capacités de 22 pF. Par la fréquence élevée, il est recommandé d'utiliser des capacités au diélectrique C0G tenant 200 V en tension de service.

Les selfs sont en fil émaillé (figure 7) ce qui est le meilleur compromis si l'on ne trouve pas de fil argenté. Il est déconseillé de prendre du fil étamé qui aurait bien plus de pertes que du fil émaillé.

Pour C12, il faut éviter le matériau X7R qui peut chauffer et se désintégrer (essais de F6CMB), on préconise un ATC ou COG 100V mini.

Les diodes PIN sont soudées au plus près pour minimiser l'inductance parasite.

La capacité C20 de découplage HF de la diode côté réception a été optimisée en pratique pour atteindre l'atténuation maximale de plus de 30 dB en émission vers l'entrée du récepteur.

Les transistors T3 et T4 sont correctement saturés pour les 50 mA de courant qui traverse les diodes PIN.

En phase de réception, les diodes sont polarisées en inverse à 6 V chacune pour minimiser leur capacité parasite. Les résistances R10 et R11 servent uniquement à équilibrer cette tension inverse. Elles provoquent aussi un courant de fuite à 70 μ A environ sur la batterie quand l'appareil est coupé.

L'alimentation du module PA est prise directement sur la source d'alimentation sans passer par l'interrupteur de commande du poste. Cette configuration évite de commuter un courant trop important par l'interrupteur du potentiomètre de volume.

Le module est protégé intégralement contre les inversions de polarités par la diode Schottky de puissance D3. Cette diode se récupère au niveau du redresseur du 5 V d'une alimentation ATX de PC. La chute de tension dans celle-ci est de 0,3 V au maximum.



Un régulateur IC1 procure du +5V, uniquement en phase d'émission, pour les circuits de protection et le détecteur de niveau HF. Le +5 V sert aussi à polariser les transistor MOS du module hybride par le pont diviseur R8 / R39.

Sortie +8 V émission via l'antenne :

A la demande de F4AVI et F4EGX, la sortie antenne peut envoyer du +8V en émission pour commander un PA externe ou un transverter. Si l'on désire cette option il faudra relier un fil entre la résistance R40 et la self L5. Ainsi lors du passage en émission un +8 V est envoyé par une résistance de limitation de 4k7.

Dans le cas contraire il convient de remplacer C40 par un strap ce qui mettra l'entrée antenne à la masse. Cette option est préférable pour protéger le PA de toute décharge électrostatique sur l'antenne.

Protection automatique contre le TOS ou l'absence d'antenne :

La sortie du module PA comprend un coupleur directif. Ce coupleur prélève une fraction de la puissance incidente et réfléchi sur la sortie antenne. Le système de détection aux sorties du coupleur utilise des transistors HF plutôt que des diodes de détection qui sont plus difficiles à trouver.

Ce dispositif de détection bénéficie du gain en courant des transistors pour mieux charger les capacités de filtrage C28 et C29 en détection crête. La constante de temps de décharge est de 5 ms avec 100 k pour R28 et R29. La polarisation de T1 et T2 est compensée en température par les diodes D1 et D2. Les amplificateurs opérationnels IC3A et IC3B montés en suiveurs adaptent l'impédance élevée des détecteurs. Les tensions V_i et V_r ainsi détectées sont volontairement décalées de 0,6 V, au moyen des diodes D7 et D8, pour compenser la chute de tension de la diode en série avec le signal du S-mètre.

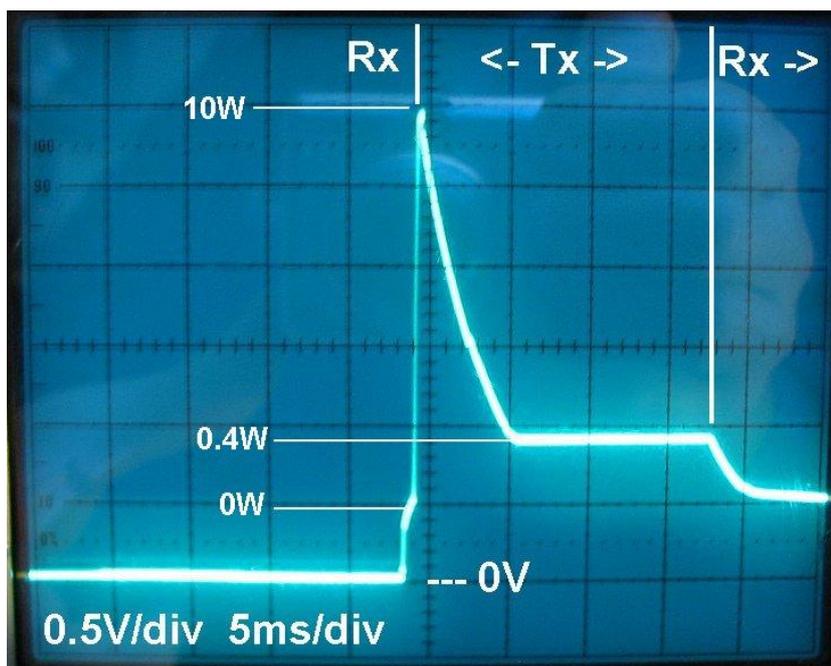


Figure 8 : Oscillogramme montrant l'activation de la protection du PA par limitation de la puissance à 0,4 W au bout de 5 ms de délai.



DESCRIPTION TECHNIQUE

L'amplificateur opérationnel IC2A monté en comparateur à seuil passe à l'état haut si la tension réfléchie V_r dépasse la moitié de la tension incidente. La résistance R35 ajoute un offset au dispositif pour éviter que ce dernier ne s'active en absence de signal. Lorsque la sortie d'IC2A passe à l'état haut, celle-ci alimente la LED rouge connectée sur JP2. Le courant traversant la LED retourne à la masse via la jonction du transistor T5. Ce transistor va dévier à la masse le courant de polarisation du pont de résistances R8 et R39.

En faisant chuter la polarisation, le courant dans l'étage final du module hybride diminue de façon drastique (figure 8). Dans ces conditions, la qualité de la modulation et la puissance de sortie se dégradent considérablement pour protéger le module hybride. Rappelons que ce dispositif de protection en présence de ROS s'active au-delà de 2,5.

La régulation d'ALC :

En bande latérale unique l'ALC (automatic level control) évite principalement la saturation du PA. De plus, si la constante de temps de l'ALC est choisie judicieusement, ce dispositif comprime la modulation en lissant les variations du niveau de la parole.

Pour implémenter cette fonction il faut trouver un moyen de détecter l'enveloppe de la modulation. Un détecteur en sortie du PA peut faire l'affaire (c'était le cas du FT-290R), mais il y a encore plus efficace !

En prenant l'information du courant dans le PA, on détecte l'enveloppe de la modulation directement car le courant consommé est proportionnel au niveau de modulation. Le fait de prélever le courant sur l'étage final du PA donne aussi l'information de la puissance dissipée par le PA. Ainsi, si l'antenne est désadaptée, le courant consommé va augmenter et donner l'ordre à l'ALC de diminuer le niveau HF, donc la puissance dissipée, ce qui va protéger le PA.

Sur notre PA la résistance R9 est chargée de prélever l'information du courant de ce dernier. La chute de tension occasionnée ne dépasse pas 0,4 V aux bornes de R9.

L'amplificateur opérationnel IC2B monté en amplificateur différentiel traduit l'information de courant en une tension de commande pour l'amplificateur HF du module Fi. La résistance R25 envoie un courant de décalage qui dépend de la résistance ajustable R21. Si le pied de R21 n'est pas relié à la masse, la consigne de 10W est réglable par la résistance ajustable R20 qui sert d'équilibrage de la structure différentielle. Par contre, si le pied de R21 est à la masse, c'est cette même résistance qui donnera la consigne pour 1 W de sortie.

En mode 10 W la puissance diminue à 7,5W si on descend à 10,5 V de tension d'alimentation ; ce qui est une bonne chose pour limiter toute saturation en cas d'émission avec une batterie faible.

En mode 1 W, la puissance est réglable de 0,5W à plus de 2W. Elle est relativement constante de 10,5 à 15 V. Au niveau de la prise pour PA externe, il est possible d'injecter une tension pour faire varier cette puissance ce qui laisse la possibilité de driver le PA entre 0,5 et 2 W.

En sortie de IC2B se trouve la constante de temps d'attaque R27 et C26. Dès qu'une demande de puissance survient, le condensateur C26 se décharge en 10 ms à travers la diode D6 et la résistance R27. Cette constante d'attaque doit être inférieure à l'inverse de la fréquence de modulation la plus basse (300 Hz) pour laisser passer le spectre audio. La constante de temps de descente dépend des résistances de l'entrée ALC du module Fi. En absence de puissance HF, la diode D6 se bloque quand la sortie de IC2B passe au niveau haut. Les résistances R13 et R17 du module Fi donnent une résistance équivalente de 32 kOhms. Avec la capacité C26 nous avons une constante de temps de 75ms qui maintient le niveau d'ALC entre les mots prononcés en émission.



DESCRIPTION TECHNIQUE

De plus amples détails de construction et une copie des films pour les circuits imprimés du PA sont disponibles dans une autre notice téléchargeable sur le site de F5KAV <http://www.f5kav.org> rubrique *Technique & Projets > Réalisations F5RCT (lien)* ; dossier *realisations > Squirrelly > module_PA10W*.

Une notice complémentaire pour l'assemblage et les réglages du Squirrelly se trouve sur le même site dans le dossier *Technique & Projets > Réalisations F5RCT (lien)* ; dossier *realisations > Squirrelly > Assemblage*.

Ainsi s'achève les aventures du Squirrelly ! Partant d'une idée d'un appareil simple et QRP, le projet s'est orienté vers un appareil complet et performant. Globalement, faire un appareil QRP 2m minimaliste comme l'on pourrait le faire dans la bande HF n'a pas été si simple avec les contraintes élevée à 144 MHz et les sous-ensembles spécifiques (LNA, OL stable, module hybride...).

Au cours de quelques sorties en points hauts nous avons apprécié sa sensibilité, et sa tenue aux signaux forts (usage en contest avec nos voisins DL). Bien souvent en trafic VHF on aimerait avoir plus de puissance, mais le Squirrelly s'adapte très bien à un PA externe. Son PA doublement protégé contre le ROS élevé supporte bien les erreurs de manipulation.

Notre ami F6HOK l'apprécie pour son mode CW et son bruit de fond très bas. Il le connecte à un PA de 300 W. Sans nul doute, c'est le transceiver qu'il utilise le plus souvent ! D'ailleurs, il projette d'en construire un deuxième !

Sa conception modulaire laisse entrevoir des évolutions au gré de chacun. Une approche intéressante serait d'aménager une sortie Fi vers un récepteur SDR pour avoir une vue panoramique de la bande 144 MHz...

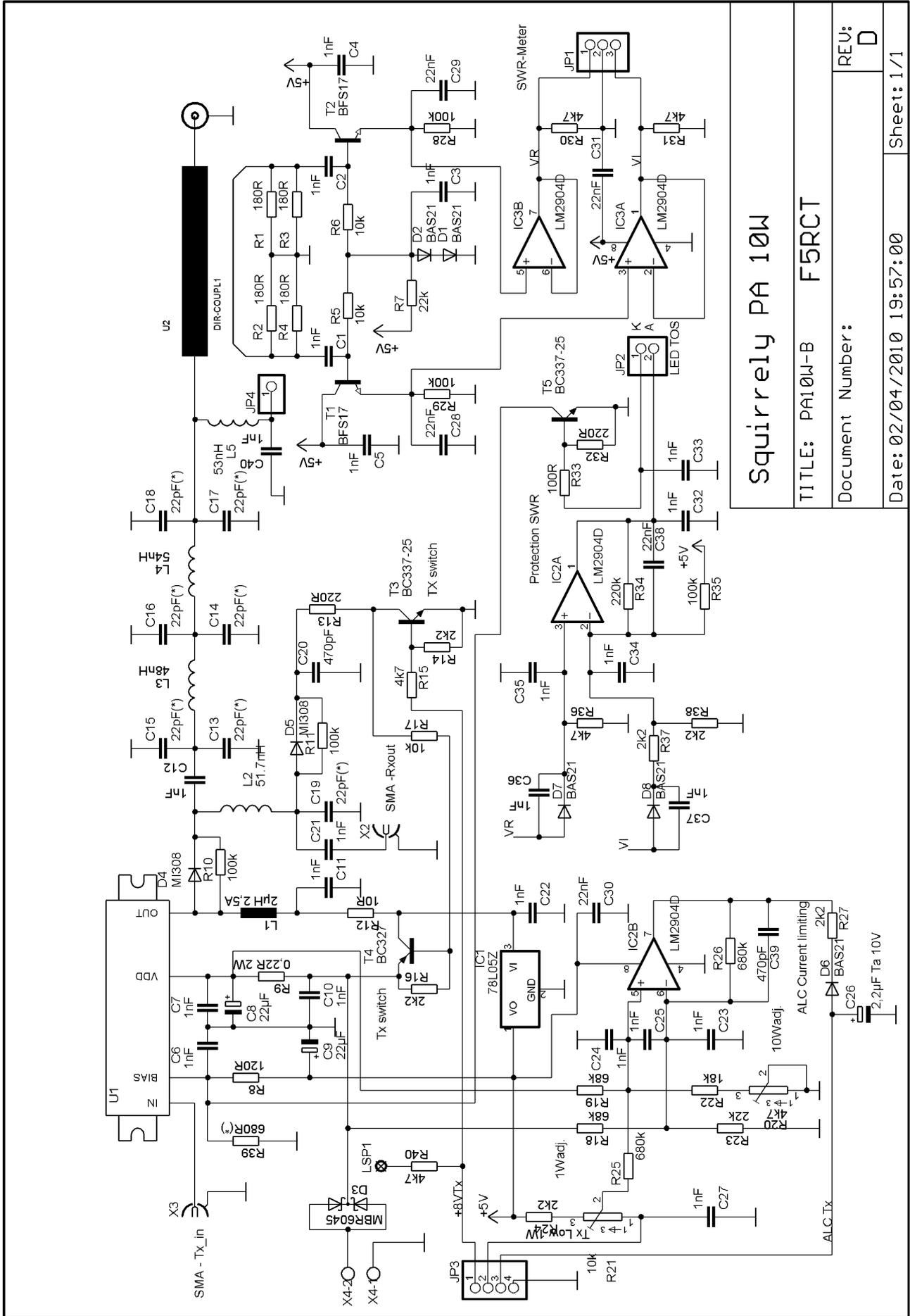
Bon trafic avec le Squirrelly.

F5RCT Jean-Matthieu STRICKER

Un CD ROM de cette série d'articles et contenant plus de détails est disponible en contactant F5RCT.JM à gmail .com



DESCRIPTION TECHNIQUE



Squirrelly PA 10W	
TITLE: PA10W-B	F5RCT
Document Number:	REV: D
Date: 02/04/2010 19:57:00	Sheet: 1/1