Superviseur pour SSPA

La conception d'un amplificateur RF de puissance à base de LDMOS requiert non seulement une carte d'amplification, mais également plusieurs modules supplémentaires essentiels pour garantir son fonctionnement optimal et sa sécurité. Je vais décrire la solution à faible coût que j'ai mise au point pour mes amplificateurs 2m et 6m à LDMOS de 100W.

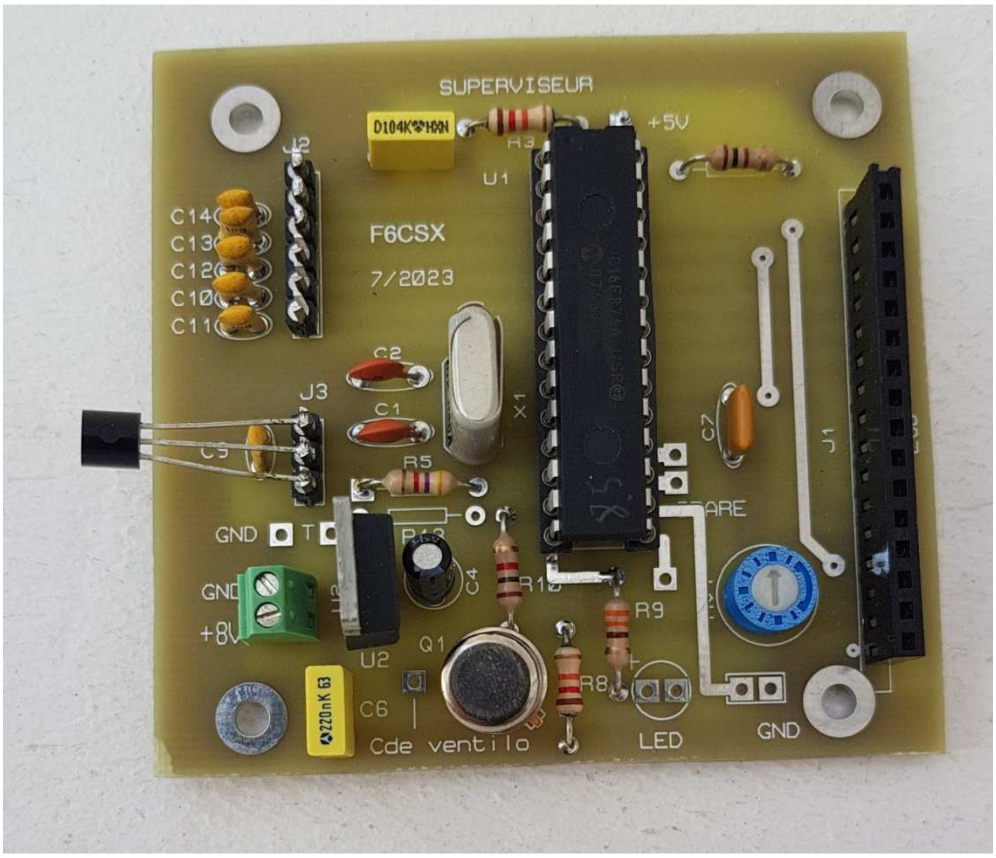
Platine microcontrôleur

Ce composant joue un rôle central dans le système global. Pour la gestion, j'ai opté pour un microcontrôleur PIC16F876A cadencé à 4MHz. Les informations sont affichées sur un écran LCD de 4 lignes et 20 caractères.
Les paramètres surveillés englobent :

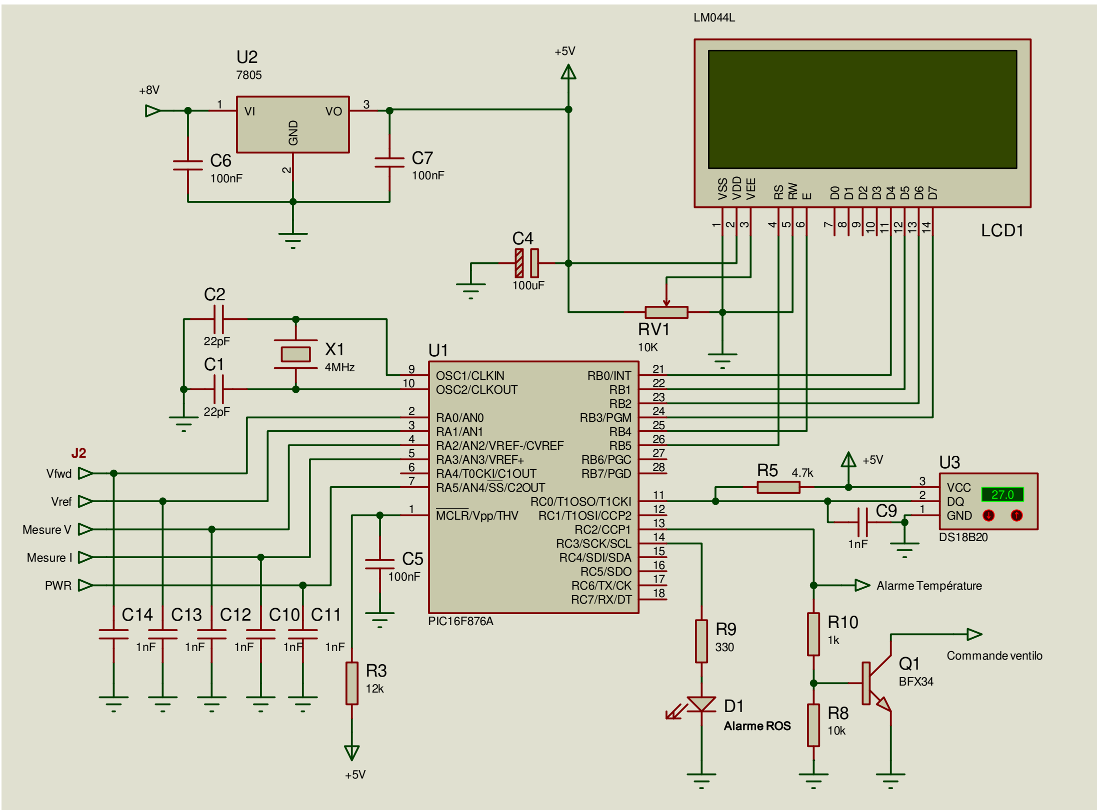
- La tension d'alimentation
- Le courant absorbé par l'amplificateur
- La température du radiateur
- Les puissances directe et réfléchie
- Le ROS (VSWR)

La dernière ligne du dispositif est dédiée à un bargraphe illustrant la puissance de sortie.

Chaque fil provenant des différents capteurs est doté d'un condensateur de découplage de 1nF et de perles ferrites pour garantir une isolation optimale aux entrées J2 (analogiques) et J3 (numériques).
Du côté des sorties, la platine offre plusieurs fonctionnalités :
Lorsque la température excède 40°C (réglable via le logiciel), la platine déclenche la commande du ventilateur.
En cas de ROS supérieur à 2, une alarme se déclenche, signalisée par l'allumage d'une LED et la substitution du bargraphe par un message d'alerte.
Pour prévoir d'éventuelles évolutions logicielles, plusieurs sorties additionnelles ont été incorporées.
La platine fonctionne avec une tension auxiliaire de 8V fournie par un petit convertisseur abaisseur. Un régulateur 7805 est ensuite employé pour fournir une tension stable de +5V.



SUPERVISEUR
+5V
F6CSX
7/2023
C14
C13
C12
C10
C11
J2
J3
C2
C1
C5
R5
X1
U1
C7
J1
GND
T
GND
+8V
U2
Q1
C6
Cde ventilo
R9
R8
LED
GND



LM044L
U2
7805
+8V
VI
VO
GND
C6
100nF
C7
100nF
+5V
LCD1
VSS VDD VEE RS RW E D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7
C4
100uF
C2
22pF
X1
4MHz
C1
22pF
RV1
10K
U1
OSC1/CLKIN
OSC2/CLKOUT
RA0/AN0
RA1/AN1
RA2/AN2/VREF-/CVREF
RA3/AN3/VREF+
RA4/T0CKI/C1OUT
RA5/AN4/SS/C2OUT
MCLR/Vpp/THV
RB0/INT
RB1
RB2
RB3/PGM
RB4
RB5
RB6/PGC
RB7/PGD
RC0/T1OSO/T1CKI
RC1/T1OSI/CCP2
RC2/CCP1
RC3/SCK/SCL
RC4/SDI/SDA
RC5/SDO
RC6/TX/CK
RC7/RX/DT
PIC16F876A
J2
Vfwd
Vref
Mesure V
Mesure I
PWR
C14
C13
C12
C10
C11
1nF
C5
100nF
R3
12k
+5V
R5
4.7k
+5V
U3
VCC
DQ
GND
27.0
DS18B20
C9
1nF
Alarme Température
R9
330
D1
Alarme ROS
R10
1k
Q1
BFX34
Commande ventilo
R8
10k

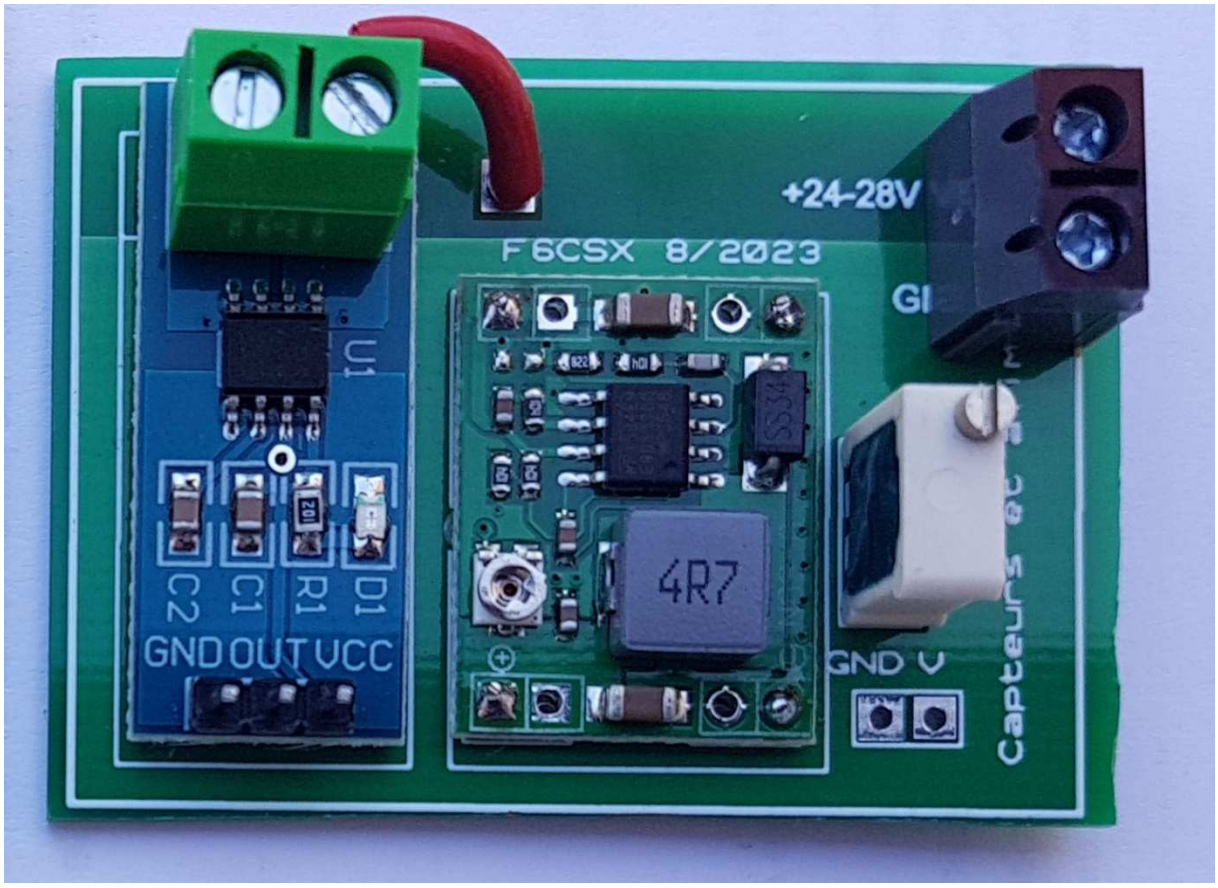
Capteurs de courant et tension

Cette platine s'insère entre l'alimentation générale et l'amplificateur. Elle fournit :

- Une tension continue galvaniquement isolée, proportionnelle au courant consommé par l'amplificateur. Pour cette tâche, le capteur à effet Hall ACS712-20 est utilisé, générant une tension de 100mV par Ampère. Le capteur est alimenté en 5V et fonctionne en mode bidirectionnel. Cela signifie que le zéro de courant correspond à Vcc/2, soit environ 2,5V. Étant donné que nous utilisons le capteur exclusivement pour le courant continu, la plage de mesure négative (c'est-à-dire entre 0 et 2,5V) n'est pas pertinente. Le décalage du zéro s'effectue par logiciel.

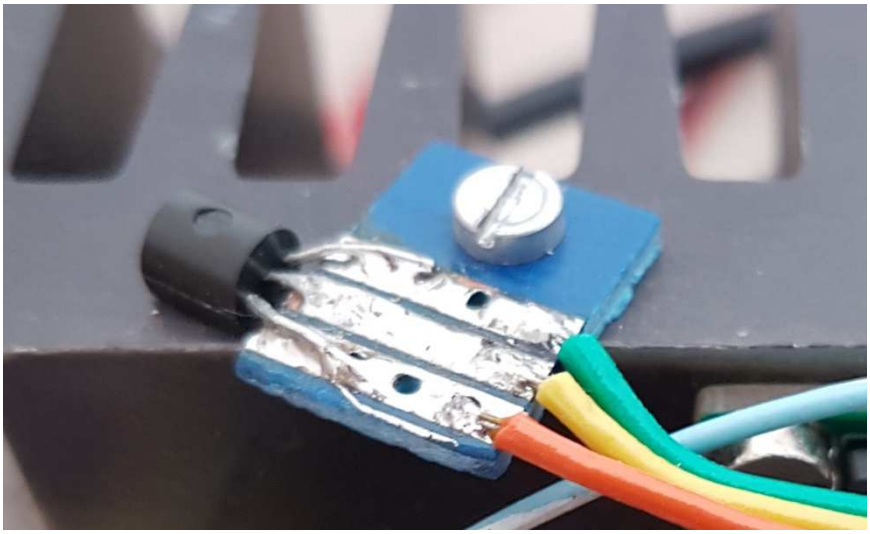
La platine comporte également les éléments suivants :

- Un circuit de mesure de la tension d'alimentation, obtenu via un diviseur de tension par 10, qui peut être ajusté avec précision à l'aide d'un potentiomètre. Cela garantit une lecture de tension précise et adaptable.
- Une alimentation auxiliaire réglable, dotée d'un convertisseur abaisseur de type Buck, basé sur le MP1584. Cette tension auxiliaire est destinée à alimenter les régulateurs linéaires 5V, réduisant ainsi leur dissipation thermique. Bien qu'il soit possible d'utiliser directement cette tension en 5V moyennant un filtrage adéquat, j'ai choisi de mettre en place une régulation double, combinant à la fois la conversion à découpage et la régulation linéaire.



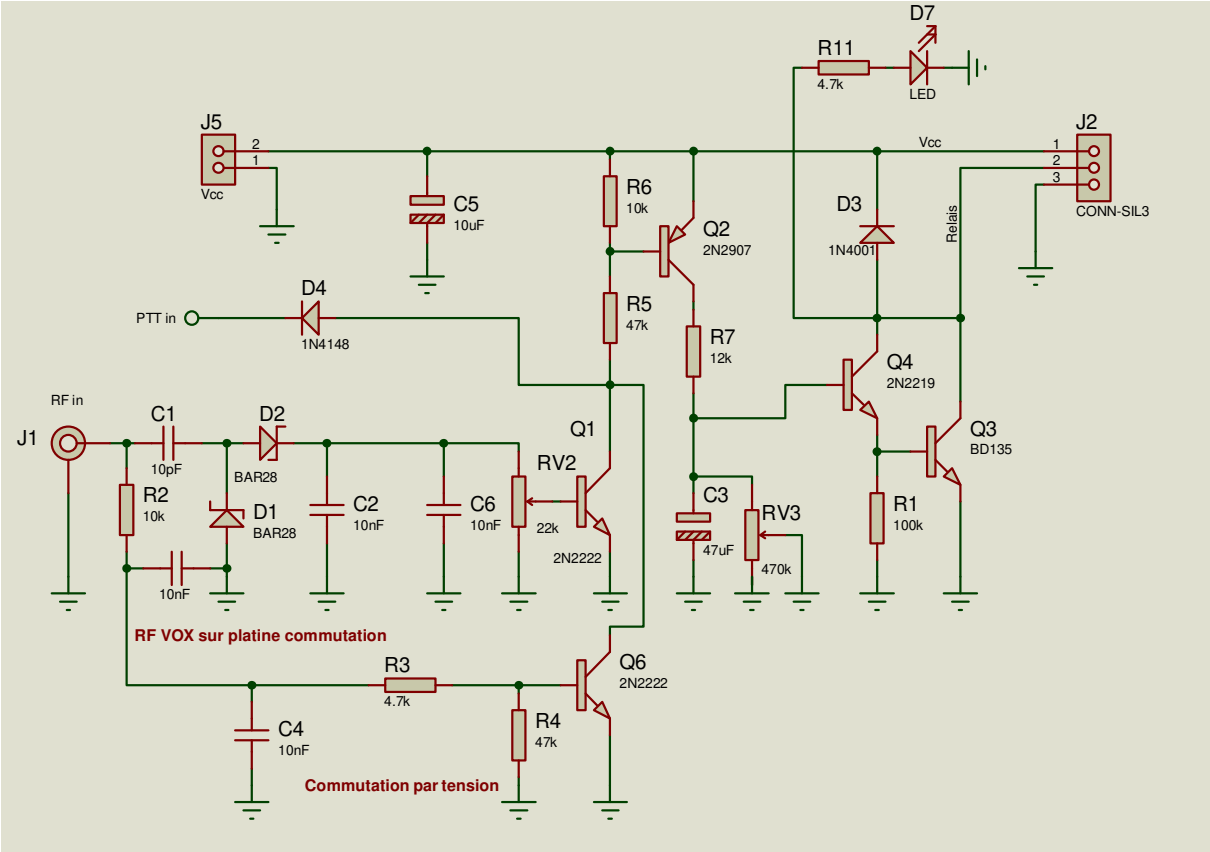
Capteur de température

J'ai opté pour l'utilisation du capteur numérique DS18B20, qui fonctionne selon le protocole one-wire, simplifiant ainsi son intégration avec le microcontrôleur.
Ce capteur est solidement fixé en contact direct avec le radiateur de l'amplificateur, sur un morceau de veroboard. Pour optimiser la transmission thermique, une fine couche de graisse thermique est appliquée pour améliorer le contact entre les deux surfaces.



Commande Emission-Réception

Cette platine gère le passage émission – réception. Elle peut être commandée de 3 manières différentes de façon à s'appliquer à la majorité des cas :
- Commande par mise à la masse de la broche PTT
- Commande par VOX HF
- Commande par tension continue superposée à la HF



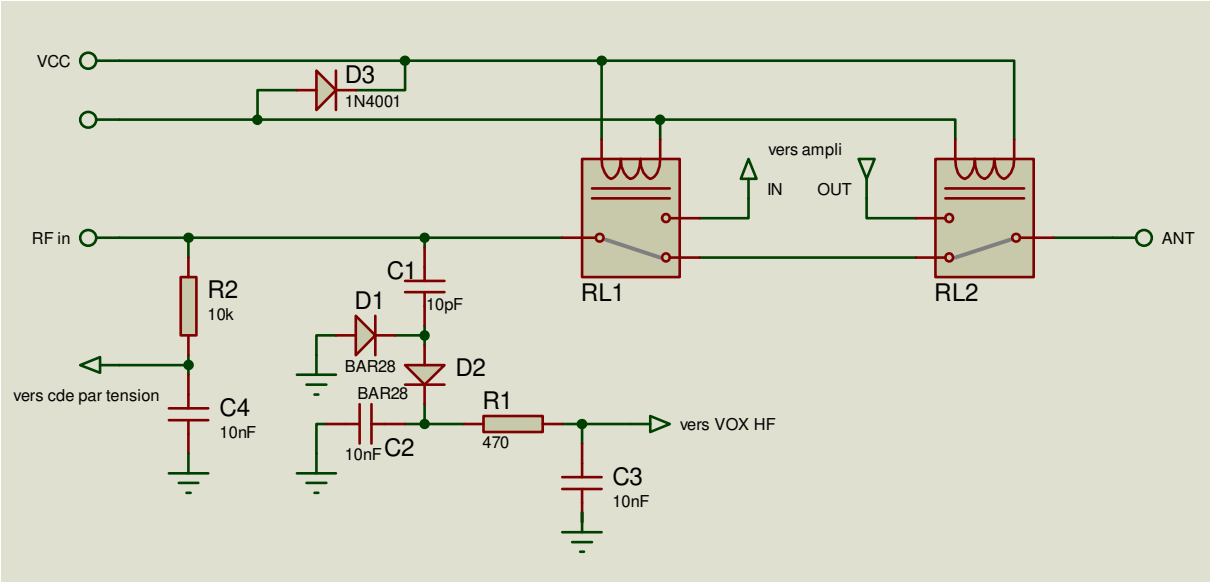
La platine relais intègre un redresseur doubleur de tension, qui produit une tension continue proportionnelle à la racine carrée de la puissance d'entrée. Cette tension peut être utilisée pour détecter les surcharges d'entrée, principale cause de défaillance des composants LDMOS.
Ici, nous exploitons cette tension pour actionner un VOX HF.

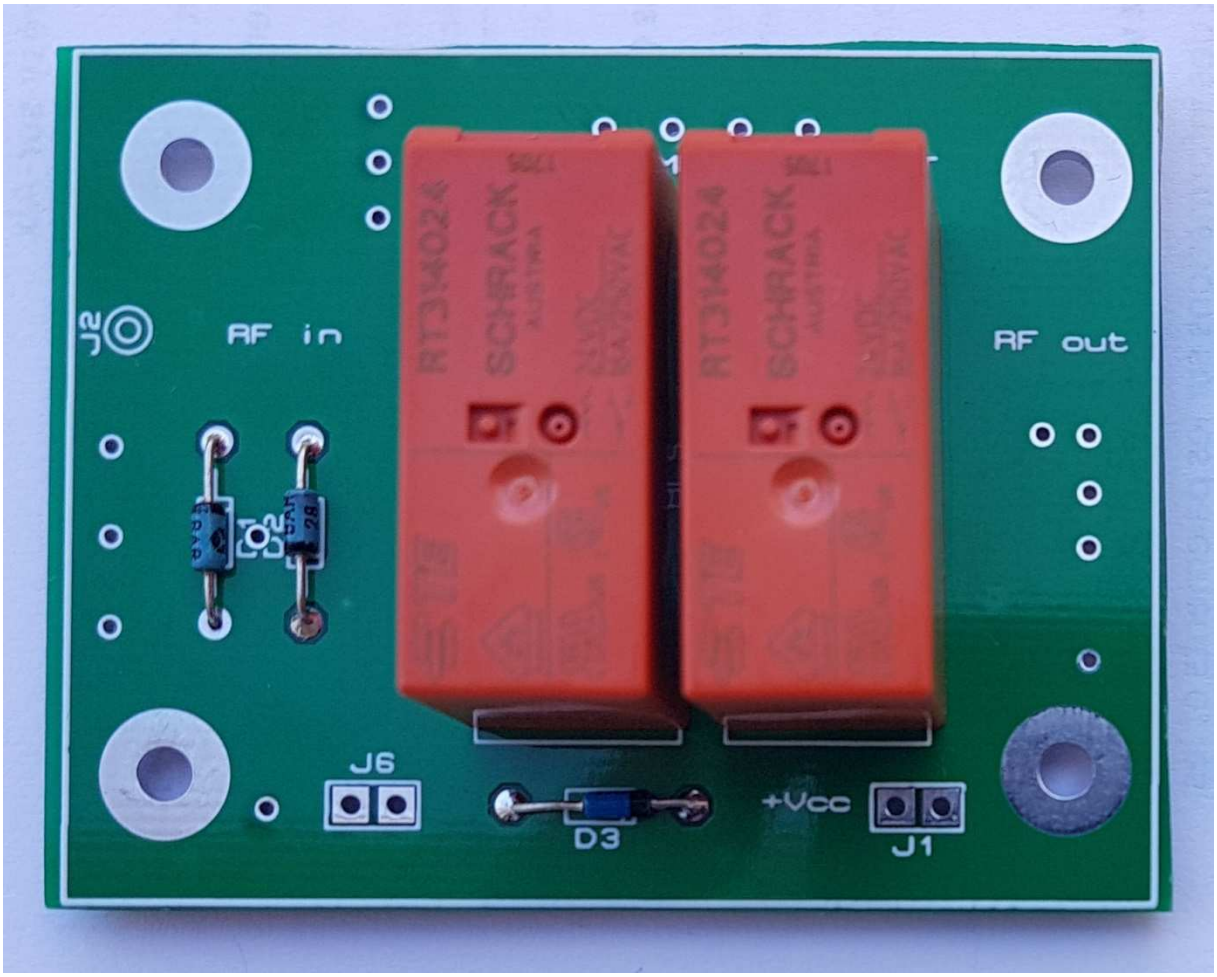
Le potentiomètre RV2 permet de régler la sensibilité du VOX, tandis que RV3 contrôle le délai de désactivation des relais. Pour actionner les relais, un montage Darlington largement dimensionné est employé, assurant la compatibilité avec différents types de relais.

Le condensateur C3 et le potentiomètre RV3 peuvent être adaptés en fonction de la consommation spécifique des relais, tandis que les autres composants présentent une tolérance plus large.
La platine est conçue pour une tension d'alimentation entre 24 et 28V, mais peut être adaptée à toute autre tension d'alimentation.

Platine relais

Ce module assure la commutation de l'entrée de l'ampli et de l'antenne. Les relais choisis, largement dimensionnés, sont des RT314024 de Schrack spécifiés 16A/250V. Certains composants CMS sont câblés côté cuivre, de même que les câbles coaxiaux.


VCC
D3
1N4001
vers ampli
IN
OUT
RF in
ANT
R2
10k
C1
10pF
D1
BAR28
D2
BAR28
R1
470
vers VOX HF
vers cde par tension
C4
10nF
10nF
C2
C3
10nF
RL1
RL2

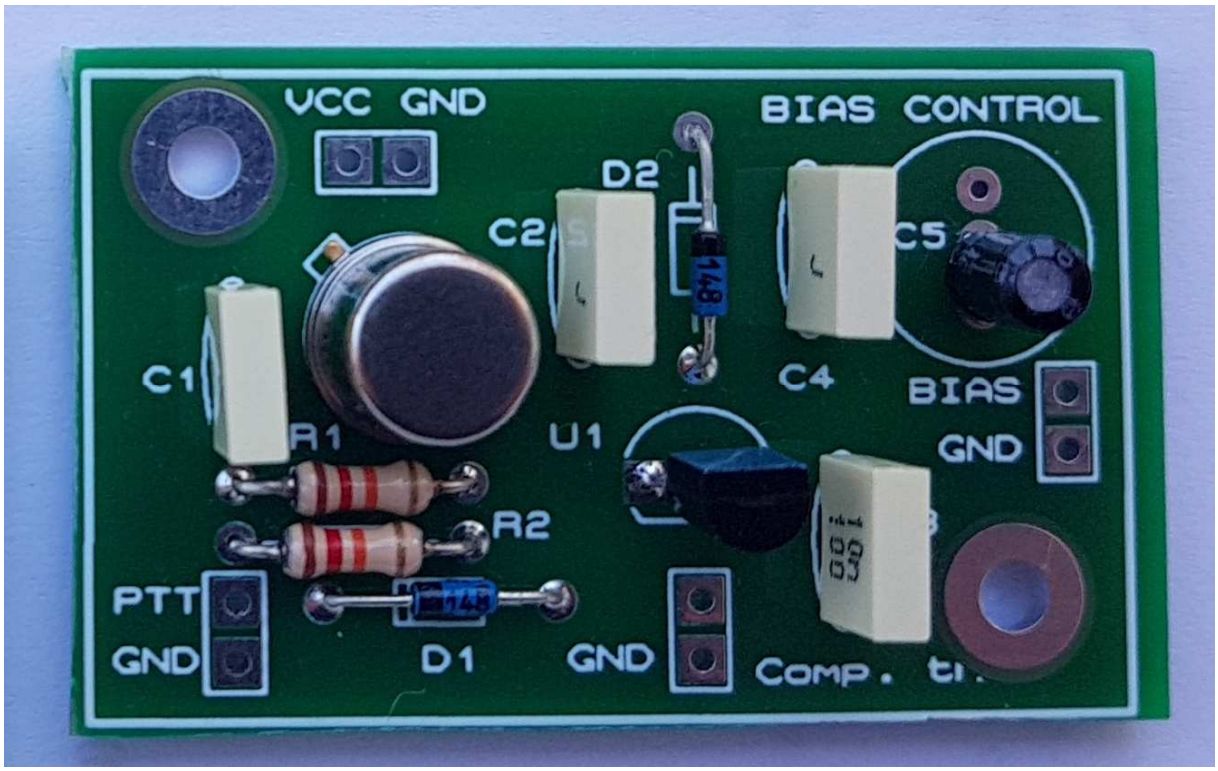

J2
RF in
RF out
SCHRACK
RT314024
J6
D3
+Vcc
J1

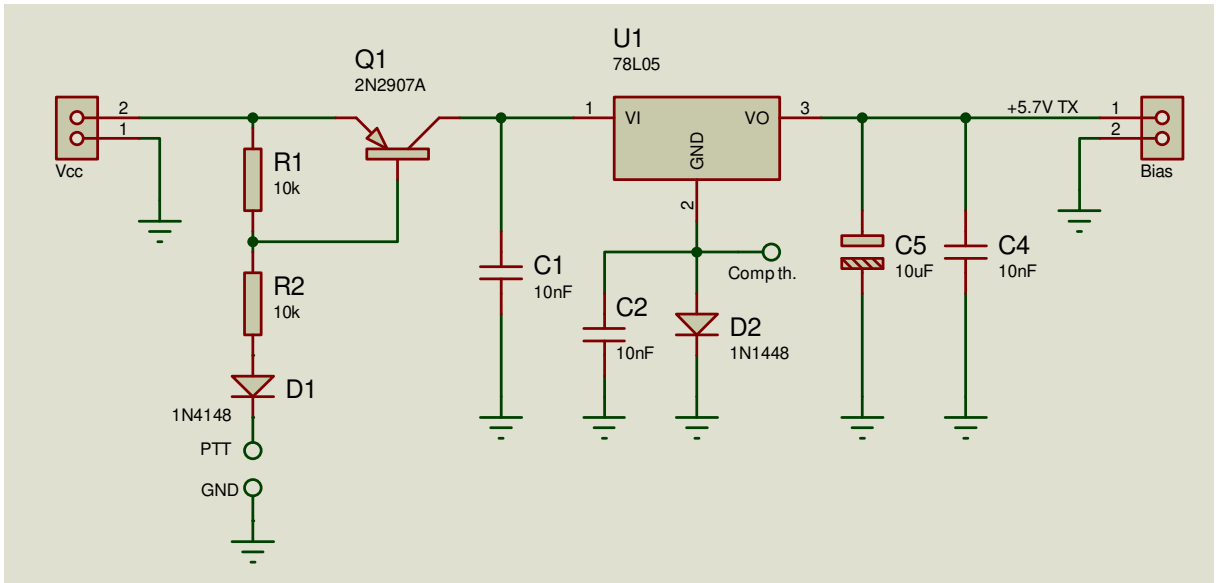
Bias Control

Cette platine gère la tension de polarisation des gates des LDMOS

La compensation thermique s'effectue par une diode 1N4148 en contact avec le radiateur, insérée dans le retour de masse d'un régulateur 78L05. La diode D2 en parallèle avec la précédente constitue une protection en cas de rupture de la connexion.

La commande PTT est prise sur le circuit de commande des relais. La diode anti-retour D1 est utile si la tension des relais diffère de la tension d'alimentation VCC.





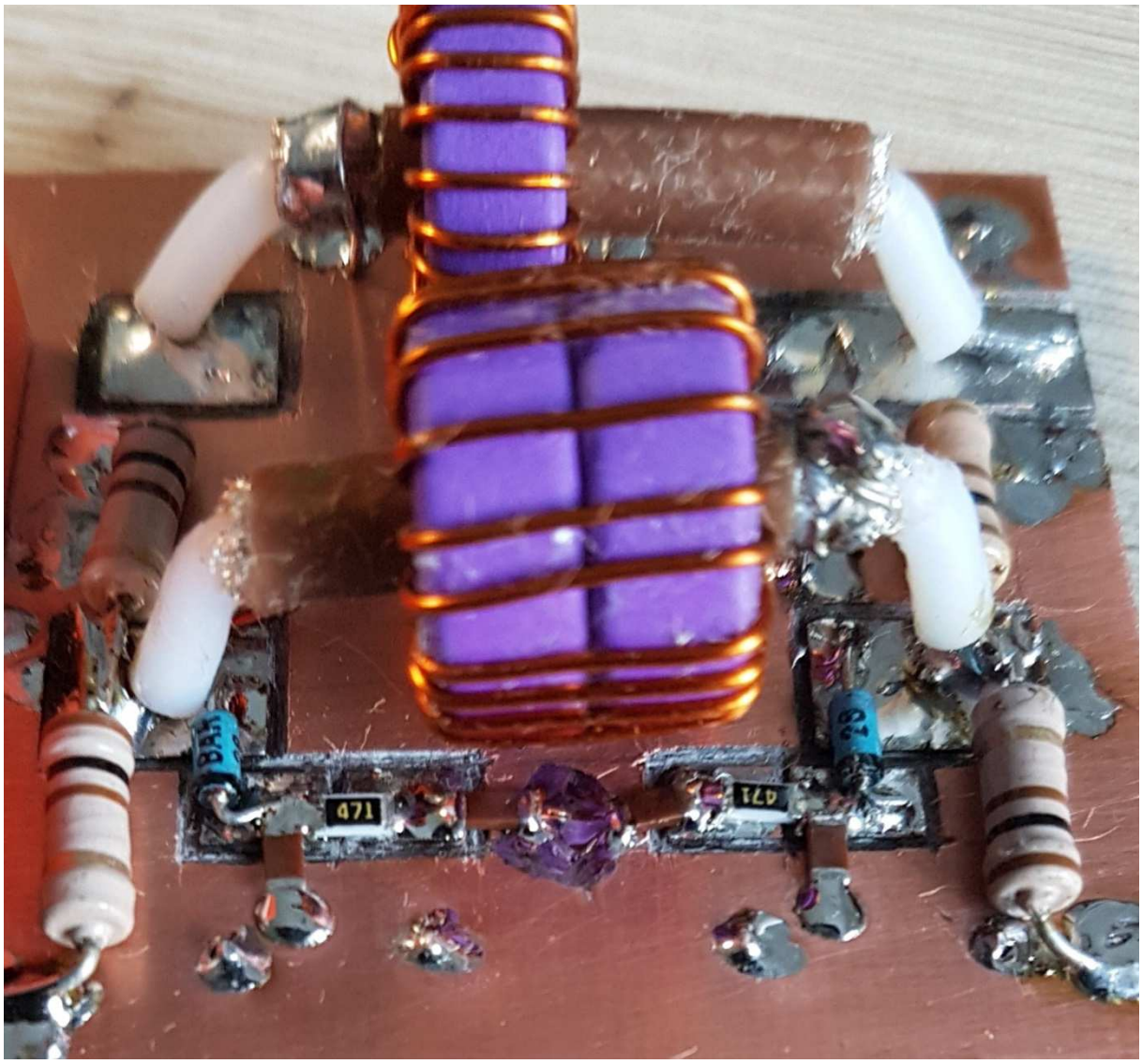
Coupleur directif

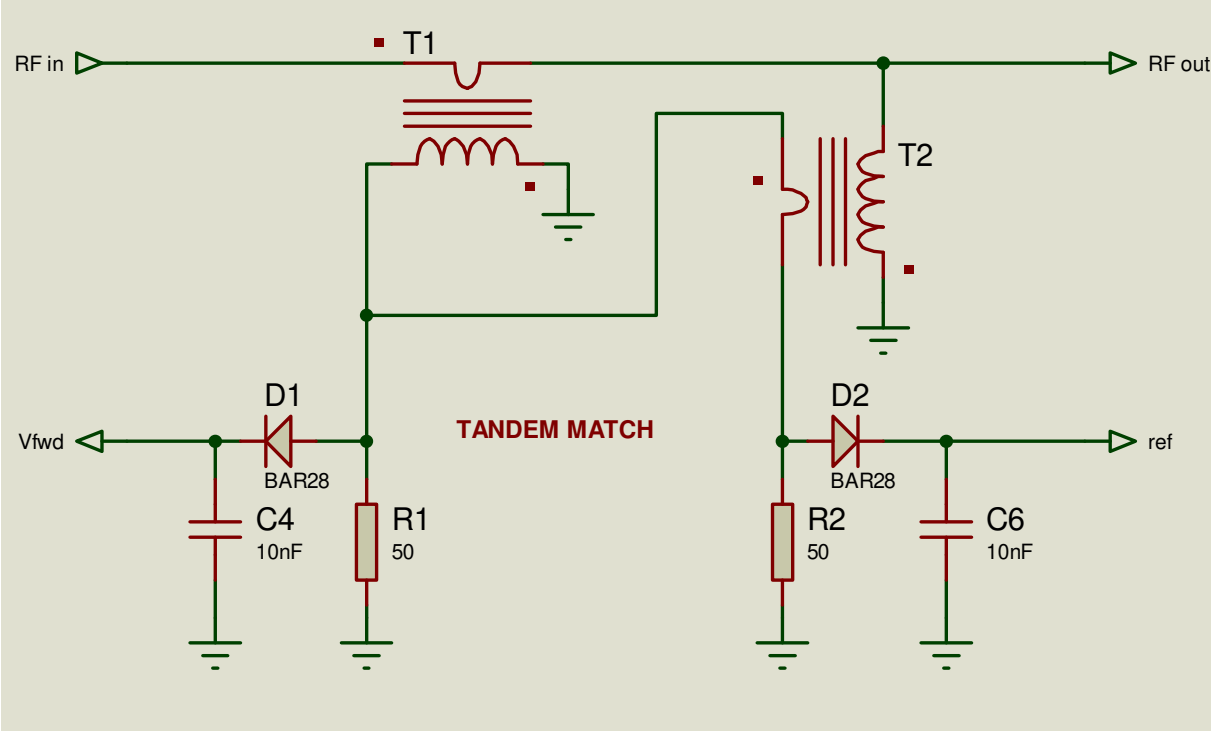
Le coupleur directif joue un rôle essentiel pour garantir la protection de l'amplificateur contre toute désadaptation d'impédance à la sortie. On utilise en général trois types de coupleurs :

Le coupleur de Bruene
Le coupleur tandem match
Le coupleur à lignes

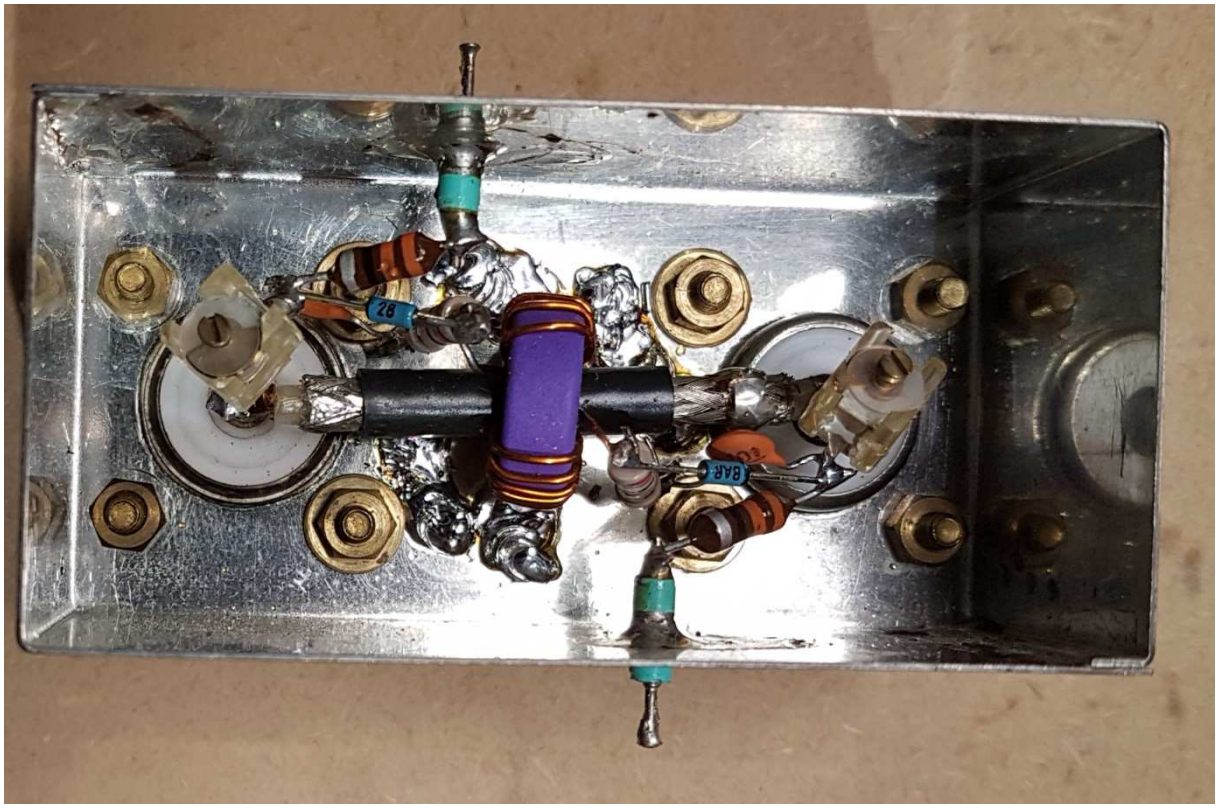
Ce dernier étant dépendant de la fréquence est réservé aux applications mono-bande en VHF et UHF. Les deux premiers sont large bande et fonctionnent parfaitement en bandes décamétriques jusqu'au 50MHz.

Pour mon amplificateur 6m, j'ai choisi le Tandem Match dont voici le prototype





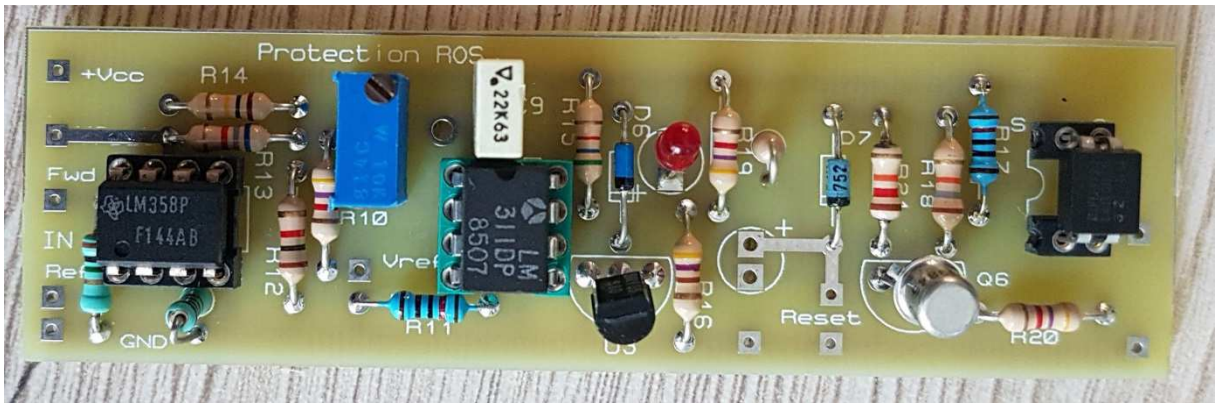
Le coupleur de Bruene a aussi été essayé avec des résultats équivalents.

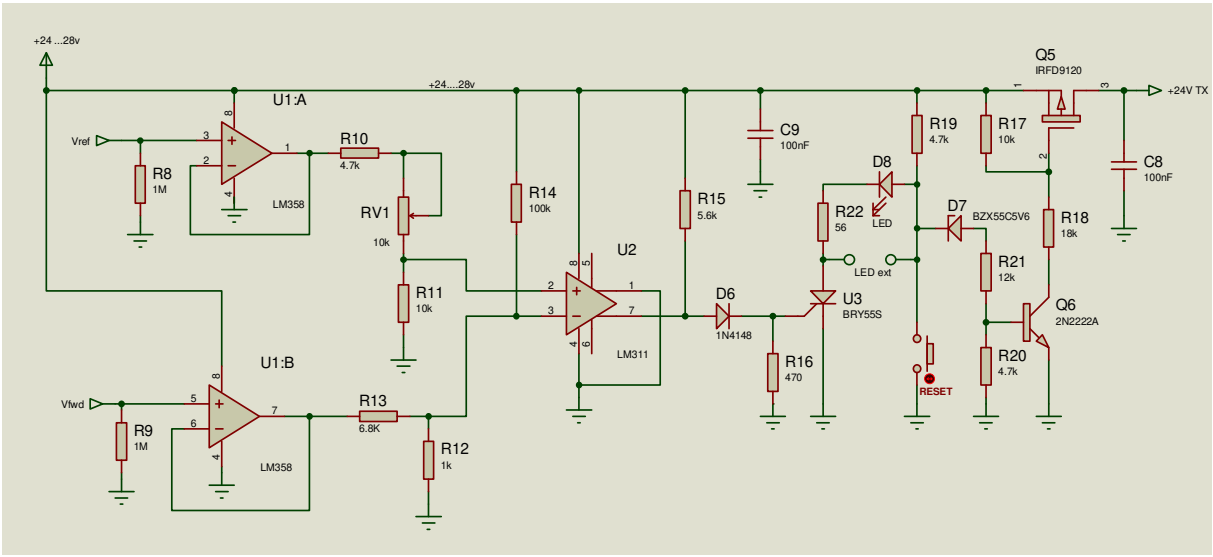


Dans le cas de l'amplificateur 2m, les lignes sont imprimées sur le circuit.

Protection ROS

Lorsque la charge de l'amplificateur est mal adaptée, notamment en cas d'incidents sur les câbles, les prises ou l'antenne, la puissance réfléchie augmente fortement ce qui entraine une surcharge thermique de l'étage final pouvant conduire à sa destruction, en particulier avec les amplificateurs à transistors bipolaires. Bien que ce phénomène soit moins critique avec les amplificateurs à technologie LDMOS, il reste néanmoins important de le prendre en considération.
Pour prévenir ce risque, il est utile de surveiller le ROS en permanence et d'intervenir rapidement.





Les signaux Vfwd et Vref issus du coupleur directif sont acheminées vers un amplificateur opérationnel LM358 monté en suiveur. L'impédance présentée aux sorties du coupleur est de 1MΩ, ce qui assure un très faible courant dans les diodes de celui-ci et permet de se passer de compensation de leur chute de tension.
Le comparateur LM311 bascule si la tension Vref devient trop élevée par rapport à Vfwd . Le thyristor U3 s'amorce alors entrainant le blocage du transistor Q5 MOS canal P et l'allumage de la led.
Le thyristor reste amorcé tant que le courant qui le traverse ne s'annule pas. Le défaut est donc mémorisé, jusqu'à ce qu'on appuie sur le bouton Reset.
Habituellement, le seuil de déclenchement est ajusté pour un ROS de 2, ce qui peut être facilement réalisé en connectant deux charges de 50Ω en parallèle.

Cette présentation illustre la possibilité d’assurer un fonctionnement optimal des amplificateurs à base de transistors LDMOS de manière simple et économique. L'objectif est de proposer des idées que chacun peut adapter à sa propre situation.