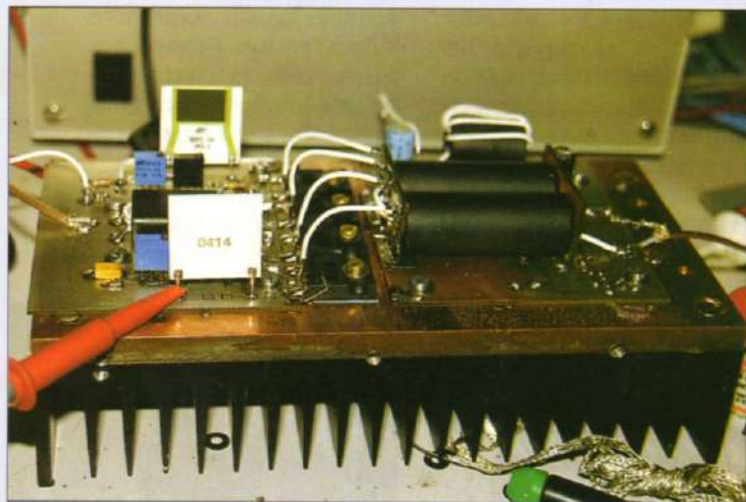


Amplificateur linéaire

à faible coût et forte puissance pour transceiver QRP

par Gérard LAGIER, F6EHJ*



1 - Notre amplificateur linéaire pendant les tests.

L'objectif principal de cette réalisation est de disposer de la puissance légale à partir d'un transceiver QRP fournissant une dizaine de watts. Par ailleurs, cet amplificateur présente un prix de revient minimal. Un effort important a été fait pour que le montage soit facilement reproductible. Aussi, tous les éléments sont disponibles et les composants spécifiques, particulièrement les transformateurs, sont décrits en détail avec photos à l'appui.

Cependant, cette simplicité a ses inconvénients et la principale limitation est la réponse aux fréquences élevées. Bien qu'il soit possible de sortir quelques dizaines de watts sur le 28 MHz, on privilégiera les bandes basses où le rendement est bien meilleur.

LE SCHÉMA

Il est réduit au minimum de composants et comprend quatre transistors, deux transformateurs et le circuit de polarisation. Un jeu de filtres et un circuit d'ALC sont nécessaires pour émettre sur antenne.

Cet article vous propose la réalisation d'un amplificateur à FET de forte puissance, équipé de transistors très bon marché. Il est difficile de faire plus simple mais, attention, comme précisé en fin de texte, cet amplificateur ne saurait être utilisé tel quel. Un jeu de filtres passe-bas est indispensable pour satisfaire aux exigences de pureté spectrale. Pour respecter les autres utilisateurs du spectre radioélectrique, il faudra également ajouter un circuit d'ALC afin d'éviter saturation et écrêtage.

SPÉCIFICATIONS

Puissance de sortie : 100 W à 900 W suivant fréquence et tension d'alimentation.
Puissance d'entrée : 3 à 10 W
Alimentation : 13,6 à 50 V
Impédance entrée/sortie : 50 Ω
Bandes couvertes : 1,8 à 7 MHz

Le cœur de l'amplificateur est un pack de 4 transistors MOSFET de puissance IRFP250, pas vraiment destinés à l'amplification HF mais plutôt à la commutation ! Par contre, bien que supportant 200 V, ce composant est très économique et il est possible d'en trouver sur le net pour moins de 2 € pièce.

Pour une puissance plus modeste, il est possible de ne monter que deux FET sans changer le reste des composants.

La puissance maximale dissipable par chaque transistor est de 200 W pour un courant de 32 A, encore faut-il pouvoir dissiper convenablement la moitié de la puissance perdue par effet Joule dans un radiateur adéquat. Nous allons voir que le radiateur est un des composants majeur de l'amplificateur.

Si les transistors MOSFET de commutation sont attrayants pour leur coût, il n'en est pas de même pour leur capacité d'entrée qui est très élevée et leur vitesse de commutation assez faible, qui vont limiter le domaine d'amplification aux fréquences basses de préférence.

Les quatre transistors sont montés en push-pull à raison de deux transistors par branche. L'amplificateur fonctionnant en régime linéaire, une polarisation est nécessaire pour obtenir le courant de

repos et la caractéristique de la classe AB. Le circuit de polarisation est individuel pour chaque transistor afin de pallier la dispersion.

La valeur du courant de repos n'est pas critique, par contre la caractéristique V_{gs}/I_d est très raide et le courant varie beaucoup pour une faible variation de V_{gs} . Il faut réaliser que ces transistors peuvent laisser passer un courant de plusieurs dizaines d'ampères et qu'un excès de polarisation peut leur être fatal...

On aura donc tout intérêt à utiliser des potentiomètres 10 tours dans chacun des circuits de polarisation.

La source de polarisation est régulée thermiquement par un pack de 6 diodes 1N4148 plaquées contre le radiateur ; elles permettent d'éviter l'emballement thermique des FET.

L'alimentation de puissance sera de préférence à découpage (pour l'encombrement) ou réduite à sa plus simple expression, c'est-à-dire un transformateur, un pont de diodes et un condensateur de filtrage, la régulation n'étant pas nécessaire. Cet arrangement est possible, du fait des caractéristiques des MOSFET qui peuvent supporter 200 V de tension drain/gate.

CONSTRUCTION

Sont décrites les différentes étapes permettant la réalisation et l'assemblage complet de l'amplificateur. C'est l'aspect mécanique qui demandera le plus de travail, la partie électronique étant très simple.

* Je reste à l'écoute à F6EHJ@wanadoo.fr.

REFROIDISSEMENT

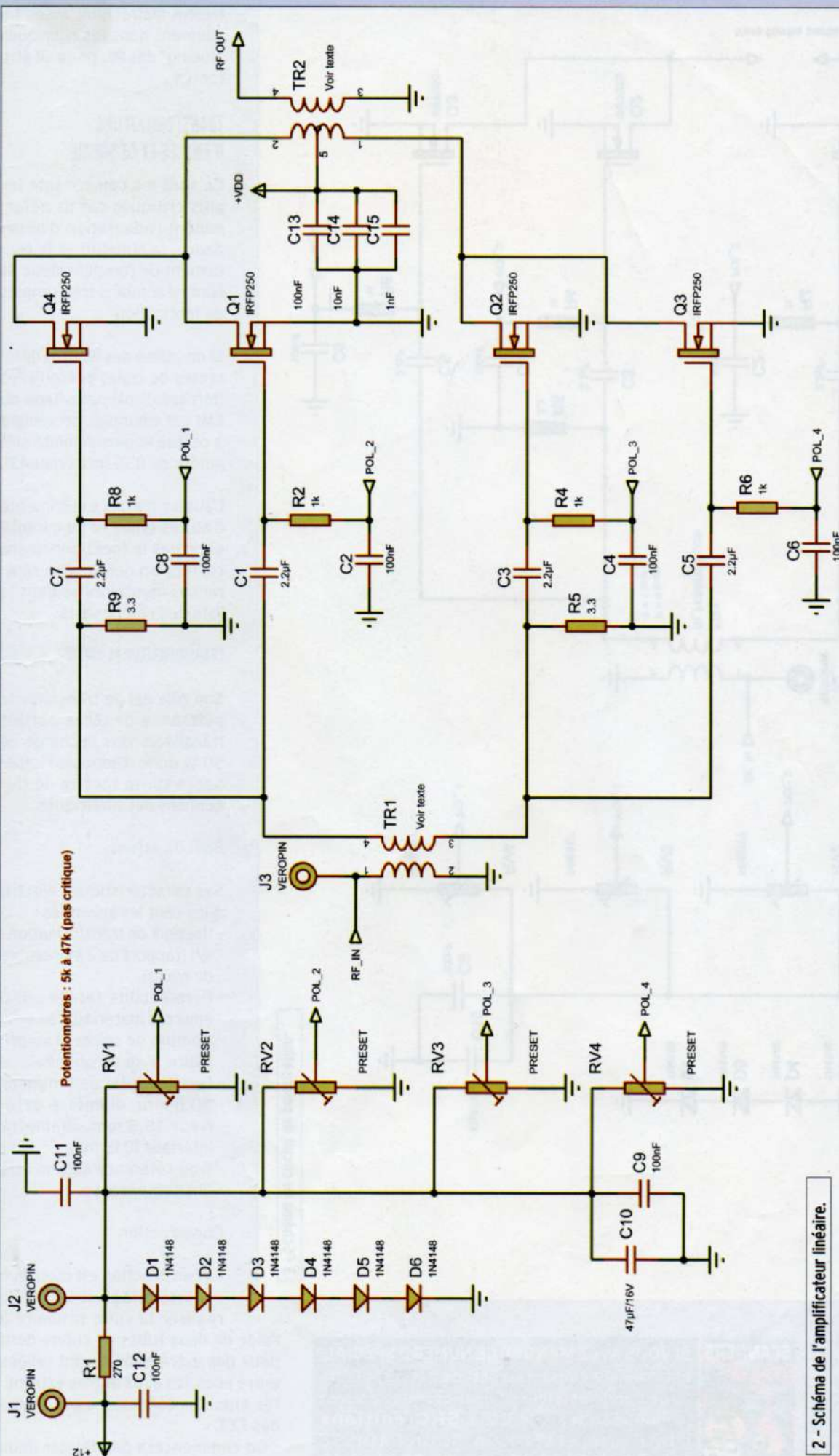
En fonction de l'utilisation qui sera faite de l'amplificateur, c'est-à-dire régime continu (RTTY, AM) ou impulsionnelle (SSB, CW), ainsi que suivant la fréquence de travail, la puissance à dissiper pourra varier du simple au double.

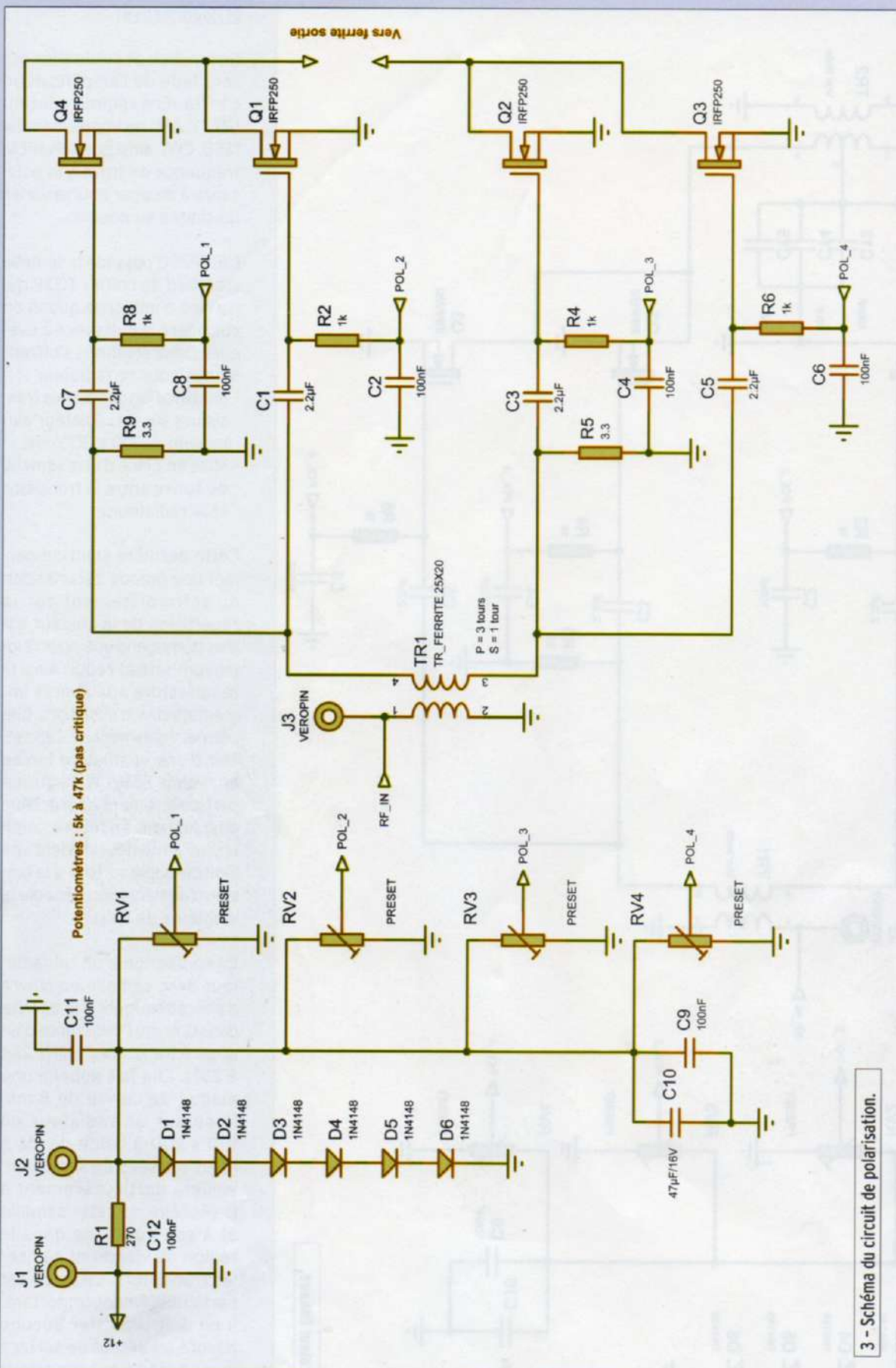
L'IRFP250 possède la semelle standard du boîtier TO3P qui n'a rien d'immense quand on considère la puissance à évacuer. Deux solutions s'offrent à nous pour ce radiateur :

- Implantation directe des transistors sur un radiateur aluminium de 100 x 200 mm.
- Mise en place d'une semelle de cuivre entre le transistor et le radiateur.

Cette dernière solution permet une grande sécurisation du refroidissement car la répartition de la chaleur est plus homogène que pour l'aluminium seul et réduit ainsi la température aux abords immédiats des transistors. Elle permet également de s'affranchir d'une ventilation forcée en régime SSB/CW, ce qui est particulièrement appréciable pour le trafic. En régime continu, un ventilateur devient vite indispensable surtout si la tension d'alimentation dépasse la vingtaine de volts.

La confection d'un tel radiateur avec semelle en cuivre a précédemment été décrite dans la revue ("Naissance d'un ampli à transistors", MHz 234 à 237). Elle fait appel à une plaque de cuivre de 8 mm fixée sur un radiateur de 100 x 200 à l'aide de vis à têtes fraisées de 4 mm. On veillera particulièrement à la planéité de cette semelle et à son polissage dans la région où viendront se fixer les transistors. Ce point est particulièrement important. Il ne doit subsister aucune bavure ou défaut de surface aux endroits qui recevront les transistors. L'auteur en a fait les frais en claquant systématiquement le même FET à plusieurs reprises. Claquer est ici un euphémisme car il s'agit davantage d'une explosion que d'un simple claquage !





trouve maintenant assez facilement dans les rubriques "tuning" des PC, pourrait être tentée...

TRANSFORMATEURS D'ENTRÉE ET DE SORTIE

Ce sont les composants les plus critiques car ils déterminent l'adaptation d'impédance, la stabilité et le rendement de l'amplificateur. Ils sont néanmoins très simples de fabrication.

Si on utilise des ferrites différentes de celles préconisées (ferrites d'anti-parasitage ou EMI par exemple), on veillera à ce que la perméabilité soit autour de 850 (matériau 43).

L'auteur n'a pas expérimenté d'autres types et ne garantit donc pas le fonctionnement correct en dehors des références mentionnées dans la liste des composants.

TRANSFORMATEUR DE SORTIE

Son rôle est de transférer la puissance générée par les transistors vers la charge de 50 Ω donc d'adapter l'impédance sur le spectre de fréquences décimétriques.

Spécifications

Ses caractéristiques électriques sont les suivantes :

- Rapport de transformation : 4/1 (rapport de 2 en nombre de tours).
- Perméabilité ferrite : 850 environ, matériau 43.
- Nombre de spires : 1 au primaire, 2 au secondaire.
- Ferrite : tube de longueur 50,8 mm, diamètre extérieur 18,5 mm, diamètre intérieur 10,15 mm. (voir référence dans la liste des composants).

Construction

La construction est classique et possède la particularité de réaliser la spire primaire à l'aide de deux tubes de cuivre dont deux des extrémités seront reliées entre elles, les deux autres extrémités étant les connexions aux drains des FET.

- On commencera par débiter deux morceaux de tube de cuivre de

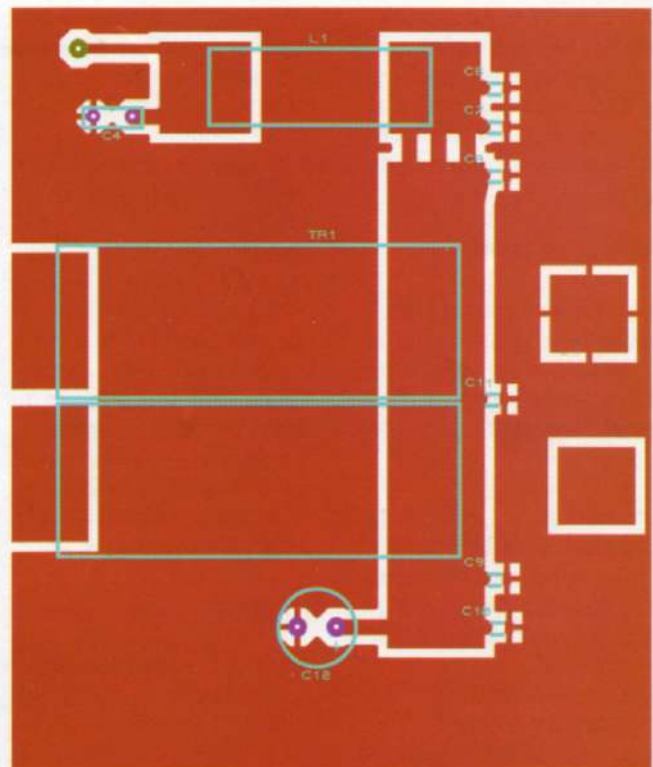
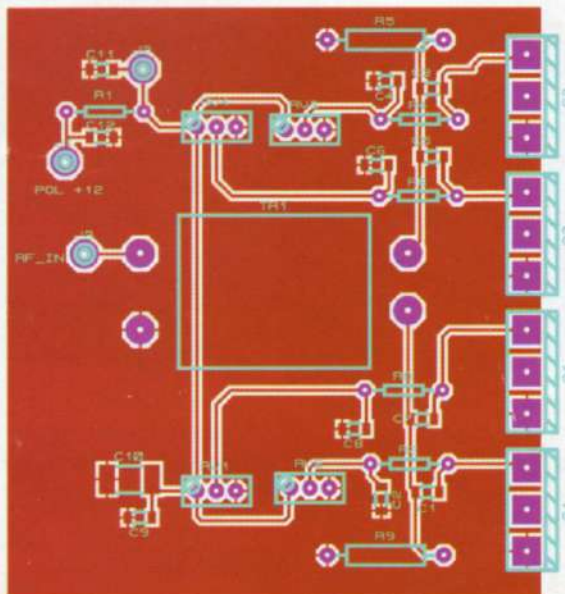
Bien évidemment il sera possible d'utiliser tout autre type de radiateur selon la disponibilité et les goûts de chacun. Une expérimentation avec les systèmes à refroidissement par fluide, que l'on



SI VOUS AVEZ MANQUÉ CE NUMÉRO SPÉCIAL, entièrement consacré à l'étude des récepteurs large bande et à leur utilisation, vous pouvez le commander sur CD à **SRC éditions** 1 tr. Boyer - 13720 LA BOUILLADISSE Tél.: 04 42 62 35 99 - Fax: 08 25 41 03 63

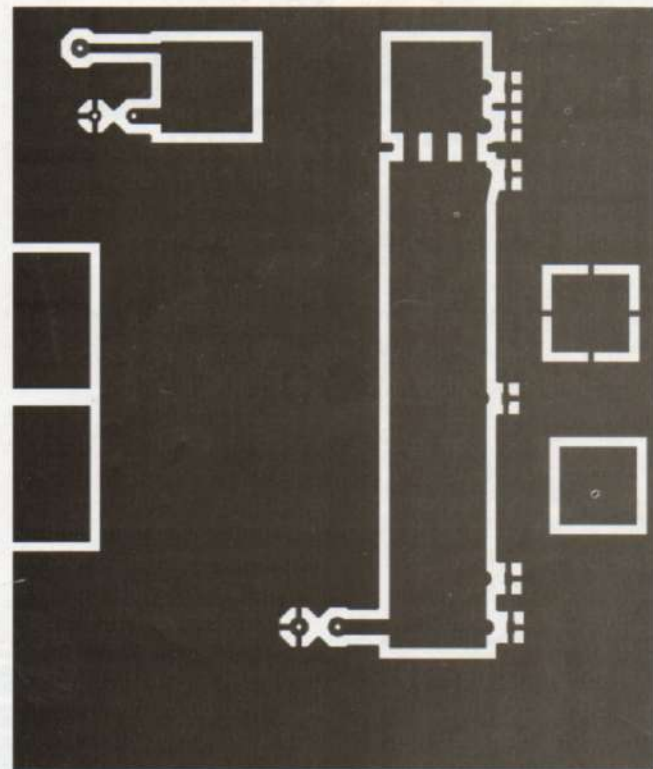
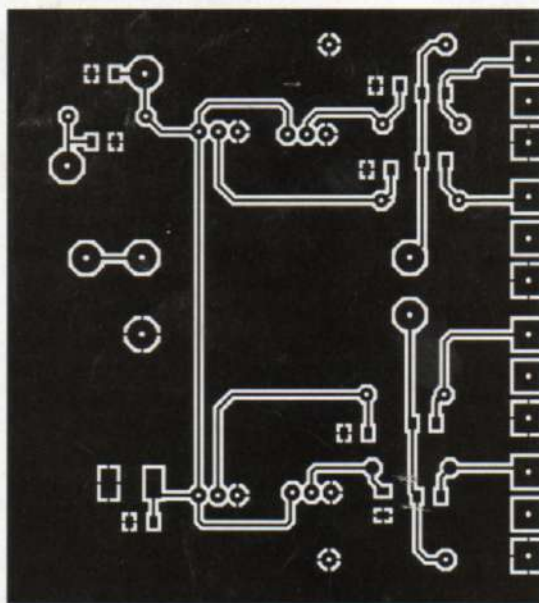
4a - Implantation des composants circuit amplificateur.

4b - Implantation des composants circuit de polarisation.



5a - Circuit imprimé amplificateur.

5b - Circuit imprimé circuit de polarisation.



8 x 10 d'une longueur de 52 mm.

Ces deux éléments seront correctement ébavurés et désoxydés.

- Découper deux morceaux de circuit imprimé simple face de 20 x 40 mm.
- Percer deux trous de 10 mm d'entre axe 20 mm.
- Aléser si nécessaire les trous obtenus au diamètre du cuivre sans jeu excessif.

- Donner un trait de scie sur l'UN des deux morceaux de circuits imprimé pour enlever le cuivre entre les deux trous (voir photo de l'ensemble avant assemblage).
- Assembler les deux ferrites, les deux tubes de cuivre et les deux morceaux de CI.
- Souder l'extrémité des tubes aux morceaux de circuits imprimés avec un fer de 100 W.

La température atteinte par l'ensemble est élevée car le cuivre est bon conducteur de la chaleur...

- Laisser refroidir !
- Prendre 20 cm de fil isolé téflon de diamètre extérieur 8/10 mm.

Bobiner 2 tours en passant dans les tubes de cuivre comme indiqué ci-dessous :

- Introduire une des extrémi-

tés du fil téflon dans un des deux tubes COTE OUVERT du CI (côté trait de scie) en le laissant dépasser de 2 cm.

- Prendre l'autre extrémité du fil (la plus longue) et la passer dans l'autre tube, toujours côté ouvert du CI.
- Ressortir de ce tube et insérer dans l'autre (où l'extrémité de 2 cm dépasse).
- Renouveler l'opération pour

obtenir une spire visible COTE OUVERT et 2 spires visibles de l'autre côté.

- Laisser dépasser de 2 cm le fil sortant du tube. Cet enroulement est le secondaire du transformateur de sortie.

TRANSFORMATEUR D'ENTRÉE

Il permet à la fois la transmission de la puissance issue du transceiver et l'adaptation d'impédance entre ce dernier et l'entrée de l'amplificateur.

Afin de réduire l'effet de la capacité d'entrée des FET (3 nF environ !), une résistance de faible valeur (3,3 Ω) est placée en parallèle sur l'entrée de chaque branche. Cette résistance détermine l'impédance d'entrée de l'amplificateur qui est ici égale à 6,6 Ω.

Le transformateur présente donc un rapport de transformation de 1/3, soit un rapport 1/9 pour les impédances afin d'être au plus près des 50 Ω requis.

Une ferrite double (matériau 43) est mise en œuvre. Le primaire comprend 3 tours et le secondaire un seul tour de fil téflon.

Les résistances de charge devront être dimensionnées pour tenir la puissance d'entrée. Ont été utilisées ici des résistances céramiques de 10 W.

Construction

La construction ne pose pas de problème particulier et est simplifiée par l'emploi de la ferrite double.

- Prendre 20 cm de fil isolé téflon de diamètre extérieur 8/10 mm.
- Bobiner en passant dans les tubes de cuivre comme indiqué précédemment.
- Laisser dépasser de 2 cm le fil sortant du tube. Cet enroulement est le primaire du transformateur d'entrée.
- Le secondaire sera réalisé en formant une seule spire dont les extrémités aboutiront côté transistors.

SELF DE CHOC

La self de choc est réalisée sur un tube ferrite de perméabilité de 850 environ (matériau 43), le nombre de spires n'est pas critique, j'en ai mis 4.

CIRCUITS IMPRIMÉS

Deux circuits imprimés sont nécessaires. Ceci permet d'éviter les découpes nécessaires au passage des transistors.

CIRCUIT IMPRIMÉ DE SORTIE

Le premier circuit imprimé supporte les composants suivants :

- transformateur de sortie
- self de choc
- condensateurs de découplage
- coaxial de sortie.

Autant dire qu'il est réduit à

LISTE DES PRINCIPAUX COMPOSANTS

Transistors :

4 IRFP250 Tous revendeurs

Diodes :

6 x 1N4148 Tous revendeurs

Résistances :

2 x 3R3 10 W céramique film BPC10 RS 239-2525 Radiospares
4 potentiomètres 10 t 5 k à 47 k (pas critique)

Ferrites :

2 tubes ferrite 50,8 x 19 x 10,15 FAIR-RITE 2643626502

RS 303-0004 Radiospares

1 ferrite 25,4 x 19,2 x 9,5 FAIR-RITE 2843010302

RS 467-3602 Radiospares

1 tube ferrite 25,4 x 19,2 Récupération

Divers :

12 cm tube de cuivre 8 x 10

Radiateur 100 x 200 mm SELECTRONIC

Plaque de cuivre 100 x 200 x 8 mm

sa plus simple expression et il pourra fort bien être réalisé à la fraise par création "d'îlots" chers à nos amis britanniques.

Le circuit imprimé est double face et tous les composants seront montés en surface. Sa fixation est directe sur la semelle de cuivre ou le radiateur par 4 vis de 3 mm.

CIRCUIT IMPRIMÉ D'ENTRÉE

Ce CI supporte les composants suivants :

- transformateur d'entrée
- circuit de polarisation comprenant les 4 potentiomètres de réglage polarisation et les diodes,
- condensateur de découplage et de couplage
- coaxial d'entrée.

Il permet de se raccorder aux gates des FET.

Le CI est également double face et fixé directement sur la semelle de cuivre ou le radiateur par vis de 3 mm.

ASSEMBLAGE

On commencera par souder les différents composants sur les deux circuits imprimés qui seront ensuite fixés sur la semelle ou le radiateur par vis de 3 mm.

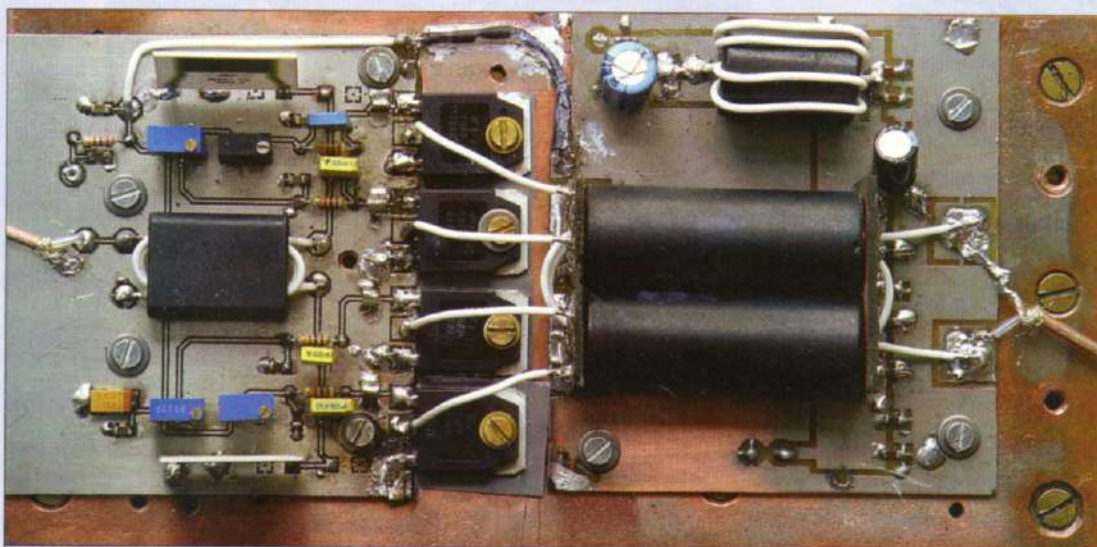
Tous les composants sont montés en surface, aucun trou n'est à prévoir dans ces deux circuits imprimés.

MISE EN PLACE DES FET

- On s'assurera d'être à la terre par les moyens habituels (bracelet de masse ou contact direct d'une main avec la terre).
- Appliquer une MINCE couche de graisse thermique sur la semelle de chaque transistor.
- Intercaler l'isolant.
- Serrer MODÉRÉMENT (au tournevis).
- Sectionner les pattes des FET pour venir en face des îlots prévus pour leurs connexions.
- Souder (fer isolé).
- Couper 4 longueurs de 3 cm de fil téflon pour le raccordement deux à deux des drains au primaire du transformateur de sortie.

MISE EN PLACE DES DIODES 1N4148

- Réduire les fils de connexion des diodes 1N4148 à une longueur de 10 mm.



6 - Vu de dessus de l'amplificateur en fin de montage.

- Monter les 6 diodes en série en les soudant bout à bout.
- Passer un morceau de gaine thermo sur l'ensemble pour les isoler et les solidariser.
- Courber l'ensemble afin de pouvoir le loger entre les deux circuits imprimés (photo 6).
- Souder les deux extrémités en respectant le sens.

ESSAIS

On s'assurera, avant tout, que les potentiomètres de réglage de la polarisation ont leur curseur vers la masse.

- Vérifier la tension de l'alimentation de puissance. Celle-ci ne doit pas dépasser 50 V à vide.
- Connecter un ampèremètre en série avec l'alimentation de puissance (calibre 30 A minimum).
- Connecter le transceiver à l'entrée, une charge 50 Ω en sortie, un wattmètre en série.
- Connecter l'alimentation à l'amplificateur ainsi que le +12 du circuit de polarisation.

- Le courant mesuré doit être nul.
- Régler (**doucement**) un des 4 potentiomètres de polarisation (au choix) pour obtenir 50 mA sur l'ampèremètre.
- Régler (**doucement**) le potentiomètre du second FET pour obtenir 100 mA sur l'ampèremètre.
- Faire de même avec les 3e et 4e pour obtenir respectivement 150 et 200 mA.
- La tension sur les gates doit alors être autour de 3,5 V.
- Appliquer progressivement un signal SSB deux tons à 7 MHz à l'entrée (**progressivement...**)
- La puissance de sortie monte rapidement, ne plus augmenter le niveau dès apparition de l'écrêtage.
- Passer en mode 1 ton (CW). Les puissances mesurées sont directement liées à la tension d'alimentation et à la

fréquence comme le montre le petit tableau ci-dessous :

	13,6 V	20 V	40 V
3,6 MHz	100 W	240 W	700 W
7 MHz	80 W	220 W	550 W

Un essai sur 1,8 MHz sous 40 V a fourni plus de 900 W...

En fonctionnement, il est normal que le transformateur de sortie chauffe, ce qui justifie l'emploi de fil isolé téflon.

MISE EN SERVICE

Bien évidemment, l'utilisation dans l'état de cet amplificateur est fortement déconseillée. Un jeu de filtres passe-bas pour 3,5 et 7 MHz est indispensable pour satisfaire aux exigences de pureté spectrale.

Ce circuit pourra éventuellement supporter les relais émission/réception.

Un circuit d'ALC couplé à une mesure de puissance directe et réfléchi sera bien utile pour éviter la saturation et l'écrêtage... et les splatters sur la fréquence. Pensez aux autres utilisateurs de la bande !

On pourra se référer aux nombreux schémas et montages existants pour construire ces différents circuits ; pour les filtres, il faudra ne pas oublier de dimensionner les tores en fonction de la puissance de sortie.

CONCLUSION

Je pense qu'il est difficile de faire plus simple en matière d'amplificateur de puissance, le montage se réduisant ici à une vingtaine de composants.

Je ne peux qu'encourager ceux qui se lanceraient dans cette petite aventure permettant de disposer d'une puissance raisonnable, à partir d'un transceiver QRP. Alors, à vos fers !

COURS DE TÉLÉGRAPHIE
Cours audio de **TÉLÉGRAPHIE** disponible sur 2 CD
Bon de cde p. 65

Apprendre et pratiquer la télégraphie
Livre de D. Bonomo F6GKQ
Bon de cde p. 65

BONNE ANNEE 2008

AOR

CUSHCRAFT

flexaYagi

FRIEDEL

BEKQ
ELEKTRONIK

SIRIO
antennas

F9FT

hy-gain

DIAMOND
ANTENNA

JRC
Japan Radio Co., Ltd.

SCHURR
MORSETASTEN

etōn
re_inventing radio

YUPITERU

SANGAN

DAIWA

ICOM

WiMo

KENWOOD

Et bien d'autres marques ...

YAESU
Vertex Standard

TOKYO HY-POWER

Vente par correspondance ou en magasin

BATIMA
ELECTRONIC

BATIMA ELECTRONIC
118 Rue Maréchal FOCH
67380 LINGOLSHEIM
Tél. : 03 88 78 00 12
Télécopie : 03 88 6 17 97
Courriel : batima.electronic@orange.fr
www.batima-electronic.com

Horaires d'ouverture :
Du lundi au vendredi de 9h à 12h et de 13h30 à 17h30
Le samedi de 9h30 à 11h30

Venez nombreux découvrir notre nouveau site ...