

TURBO 40

Amplificateur linéaire mono-bande 40m à Mosfets *** 30 à 40 Watts HF sous 13.8 Volts**

par F6BCU Bernard MOUROT -- Radio club de la Ligne bleue des Vosges
en collaboration avec F5HD M. Raymond KNAUB, Radio-club F6KFT
du Bassin Houiller de Lorraine



PHOTOGRAPHIE N° 1 : l'amplificateur TURBO 40

Vouloir trafiquer sur la bande des 40m avec un transceiver QRP SSB qui délivre de 1 à 4 watts HF est parfaitement possible. Nous avons fait de nombreux QSO sur cette bande en QRP avec notre BINGO 40 SSB Home made mono-bande qui sort 2 watts HF (il sera décrit prochainement dans la revue Mégahertz), mais certains jours c'est impossible. Aussi nous fallait-il trouver une solution élégante QRP ou QRO à volonté. Actuellement le marché du commerce de France rend disponible quelques transistors bipolaires émission d'origine CB de fabrication japonaise encore bons marchés, mais pas assez puissants à notre goût. Quant à la série émission des MRF 454, 455 etc... le prix en est exorbitant ; nous n'avons pas parlé des risques de destruction et du coût de remplacement.

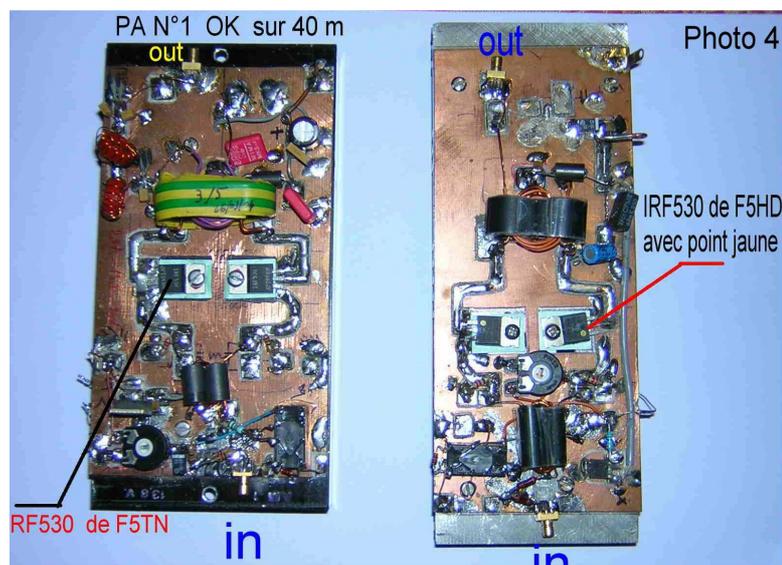
Néanmoins existe encore un type de transistor peu coûteux à ce jour, le **Mosfet de puissance** à vocation industrielle dans la technique de la commutation rapide de haute puissance. Très peu connu dans la littérature radioamateur française, car les quelques rares montages décrits dans le domaine de l'amplification linéaire HF, n'ont jamais été à la hauteur des performances réelles à obtenir. On retrouve actuellement par le biais d'Internet son utilisation relativement timide dans les pays d'Europe centrale, du Nord et aux U.S.A. pour les moyennes puissances ; quant aux fortes puissances 300 à 500 watts en classe linéaire il existe quelques rares constructions OM. Pour être bien clair, il s'agit seulement des constructions d'amplificateurs linéaires HF utilisant des Mosfets bons marchés à vocation industrielle de commutation rapide de puissance et non de Mosfets spéciaux d'émission encore très onéreux et d'un approvisionnement difficile en France.

Dès 2002 nous avons fait une étude expérimentale en amplification HF sur un type de Mosfet (IRF530) que nous avait conseillé F5HD M. KNAUB. Dans ses constructions et expérimentations

personnelles, F5HD avait déjà construit antérieurement à 2002 un amplificateur HF de puissance classe C avec un seul IRF 530 et sortait sous 30 volts 40 Watts HF avec en excitation d'entrée 1 watt HF. L'origine de ses constructions trouve sa source dans la revue allemande « Amateur Funktechnik » et un article « VMOSFET sous la plume de DK7ZB martin Steyer.

Nous avons consigné en 2003 sur un CD nos travaux sur les amplificateurs linéaires avec le Mosfet IRF530 ; la base de nos travaux était articulée sur la construction de WA2EBY qui avait décrit dans le journal QST édition 2000 de l'ARRL un amplificateur à Mosfets IRF510, repris dans le Handbook édition 2001 de l'ARRL. Cet amplificateur linéaire couvrait de 1 à 30 MHz toutes les bandes radioamateurs et sortait en moyenne 50 watt HF par bande sous 24 volts avec 1 watt HF d'excitation. Il serait souhaitable que la revue Mégahertz diffuse les 2 articles (avec schéma, photos en couleurs) relatifs à nos 2 amplificateurs fonctionnant sur 14MHz. L'un avec un seul IRF 530 et l'autre avec un push pull d'IRF 530

A titre indicatif le push pull sortait déjà plus de 10 watts HF avec 500 mW d'excitation sous 14 volts et plus de 25 Watts sous 24 volts.



PHOTOGRAPHIE N°2 : les 2 premiers prototypes de P.A. IRF 530 construits en 2005, précurseurs du Turbo 40 dont l'un fonctionne aussi sur 80 m.

Nous avons tenu au refroidissement maximum gros radiateur en 2 parties et un ventilateur récupéré sur un ordinateur de Ø 12 cm alimenté sous 10 à 15 volts.

SCHÉMA DU TURBO 40 (dessin figure 1)

La première remarque est la symétrie des composants ; un véritable montage push pull des IRF R30 avec des enroulements de transformateurs large bande TR1 et TR2 à point milieu et une économie substantielle de tores en ferrite.

Commutation E/R

Sur l'entrée HF **in** de l'amplificateur une dérivation capacitive de 3.3 pF véhicule une infime partie de la HF délivrée par le transceiver QRP et active la commande par VOX HF T3, T4, de tous les relais pour le passage automatique émission réception. La constante de temps de commutation est réglable par la résistance ajustable de 1 MΩ en dérivation de la base de T3 et la masse.

Circuit d'entrée (excitation du P.A.)

Les Mosfets de puissance sont drivés par des signaux HF relativement faibles, et supportent très mal toute rupture de l'impédance d'entrée des Gates. Côté entrée **in** l'impédance est forcée sous 50Ω par un atténuateur à -3 dB en T qui va naturellement ramener à 1 Watt HF utile les 2 watts HF générés par le transceiver QRP.

Le transformateur symétrique TR1 fait un rapport de 4/1 ce qui fait travailler l'ensemble des Gates du push pull sous une impédance globale 10 à 12Ω et qui ramène l'impédance nominale de chaque Gate autour de 5 à 6Ω .

La polarisation des Gates est dérivée sur le point milieu Pr du transformateur TR1, découplé à la masse. Elle sera expliquée dans la suite de l'article.

**** Par précaution dans le but de forcer l'impédance de chaque Gate et d'éviter la naissance de toute auto-oscillation HF parasite qui pourrait par emballement thermique abrégier la vie du Mosfet, dans chaque branche des Gates se trouve insérée une résistance de 12Ω en série avec un condensateur à la masse.

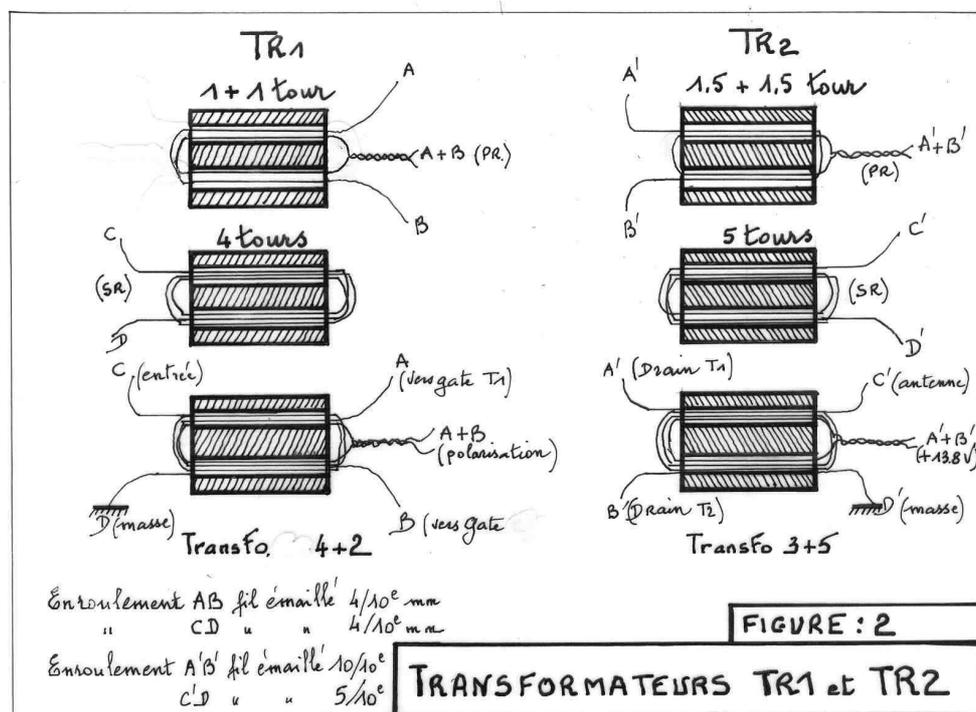
Circuit de sortie du P.A.

L'alimentation du P.A. se fait de base sous 13.5 à 13.8 volts le courant global des Drains dépasse un peu 5 ampères. L'impédance moyenne globale des Drains en charge varie de 5 à 10Ω , pour un rapport de transformation flottant de 3 à 10 en fonction de la puissance variable et de l'impédance moyenne de sortie.

A ce niveau, seule l'expérimentation est probante et le nombre de tours de fil déterminé au primaire et au secondaire du transformateur TR2 a été fait tour par tour jusqu'aux meilleurs résultats, prenant en considération : adaptation d'impédance, puissance de sortie, intensité mesurée et rendement. Les résultats de l'adaptation 50Ω sur différentes antennes à la sortie du filtre passe bas : Center-feed, W3DZZ, dipôle et boîte de couplage confèrent un R.O.S de $1/1$ de 13.8 à 24 volts.

Le primaire de TR2 est à point milieu alimenté en $13.5 / 13.8$ volts. découplé à la masse. Par précaution une VK200 (SCH) élimine tout résiduel de HF et un 2^{ème} découplage de $22\mu\text{F}$ et $0.1\mu\text{F}$ rendent ce point d'attaque du $+ 13.5 / 13.8$ V neutre et bien à la masse.

Consulter la figure 2 pour les détails des enroulements TR1 et TR2



Sur l'enroulement secondaire de TR2 d'impédance 50Ω nous retrouvons le traditionnel filtre passe-bas coupe harmoniques C1,L1,C2,L2,C3 et la sortie 50Ω **out** (valeurs tirées du Hand book ARRL).

Valeurs des composants du filtre passe-bas 40 mètres :
: C1 = C2 = 470 pf, C3 = 1nF (condensateurs disque céramique)
L1 = L2 = 13 tours de fil émaillé 4/10^{ème} sur Tore Amidon T-50/2 rouge

Circuit de polarisation

Si le transistor Mosfet a sa Gate rendue positive d'une certaine valeur de tension, par exemple + 8 volts il devient conducteur et peut débiter des ampères dans la jonction Drain Source. Ce phénomène est celui de la commutation rapide à des fins industrielles.

Si la Gate est au potentiel de la masse seule une tension positive débloque le transistor cette fonction est utilisée en CW QRP avec 500 mW HF d'excitation un IRF530 ou IR510 sort de 4 à 6 Watts de HF en régime CW sous une tension se 11 à 14 volts.

Nous pouvons aussi atteindre d'autres classes comme la D et la E typiques de puissances élevées avec de fortes tensions Drain de 40 à 60 volts pour des amplificateurs HF de forte puissance à moduler en AM. : 300 à 800 watts HF.

Pour fonctionner en amplificateur linéaire nous allons nous contenter d'une tension régulée réglable de 3 volts à 4.5 volts. Il faut impérativement pour un push pull, des transistors Mosfets identiques de la même marque, car la disparité de la polarisation est énorme et va de 3.3 volts à 4 volts selon la marque de fabrication.

Fonction linéaire :

Le courant de repos est fixé à 150 mA par transistor sous 13.5 /13.8 V ce qui fait un total de 300 mA pour les 2 Mosfets IRF530. Il sera à ajuster en tournant doucement la commande de P résistance ajustable de 220Ω . Le passage de l'alimentation à 24 Volts et plus oblige à réajuster le courant de repos.

Remarque

Le circuit de polarisation est pour bien des constructeurs de P.A. ou d'expérimentateurs de Mosfets la source de problèmes de claquage du ou des Mosfets.

- Une première règle quelque soit le fonctionnement la polarisation doit toujours être maintenue, seule la tension de drain + 13.5 à 24 volts sera commutée : activée en émission, désactivée en réception.
- Eliminer tout système tendant à commuter par un relais la polarisation à la masse en position réception le temps de passage si rapide soit-il n'exclue pas l'emballement du transistor et sa destruction en position de polarisation flottante en une fraction de seconde.
- L'emballement thermique doit être évité par tout moyens, sur-dimensionner les radiateurs, utiliser une soufflerie, se servir d'un système de régulation thermique.

A propos de la régulation thermique de la polarisation :

Nous ouvrons ici une parenthèse car il faut parler de ce phénomène d'emballement du courant Drain avec à la clef la destruction de la jonction Drain Source. Il est en effet très rare de trouver un auteur qui s'aventure sur la valeur réelle du courant de repos dans la construction d'un amplificateur

linéaire. Pour notre part nous avons fixé la valeur à 150 mA pour chaque IRF 530, mais nous avons introduit un système de protection contre l'emballement thermique des Mosfets.

Un exemple par hypothèse :

- dissipation thermique insuffisante
- pas de protection thermique.

Au point de départ le courant Drain de repos mesuré est de 300 mA.

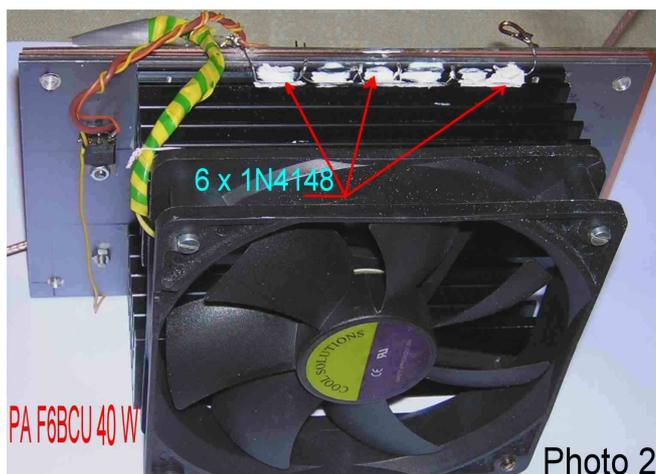
Nous passons en émission quelques minutes, le courant de repos monte à 400 mA.

Après plusieurs passages en émission le courant de repos monte à 1 ampère, le radiateur chauffe de plus en plus. il faut s'arrêter car nous courrons à la catastrophe (certains reconnaîtront leurs manipulations personnelles)

Pour conclure :

Protection et régulation thermique de la polarisation sont incontournables. Certains auteurs allemands utilisent le système Thermistance NTC mais l'approvisionnement en France de ce composant est difficile. D'autres, notamment les Anglais, préfèrent le système par diodes silicium, système identique à la régulation thermique par contact sur les transistors bipolaire NPN de puissance émission des amplificateurs linéaires HF.

Nous avons retenu le 2ème système par diodes, utilisé avec succès comme base de régulation thermique sur un ampli linéaire Mosfets de 500 w HF. Cette construction d'origine anglaise est identifiable par moteur de recherche Internet sous le nom de « **The Watt** ».



Application des diodes 1N4148 en régulation thermique de la polarisation Photo 2 et 3

Sur la figure 1 du schéma général la polarisation part d'un régulateur 5 volts (78L05) qui charge sur une résistance de 56 Ω en série avec 6 diodes 1N4148 reliées à la masse. Ces diodes sont en contact thermique avec le radiateur du P.A. une bonne couche de graisse silicone parfait le contact. Les résultats sont très significatifs de l'efficacité du système. Lorsque le radiateur chauffe, par effet, thermo-électrique le courant de repos diminue, plus ça chauffe plus ça diminue et il s'institue un équilibre, mais le système est aussi pervers le courant de repos peut trop diminuer.

Aussi faut-il conjuguer tous les facteurs de l'équilibrage thermique : gros radiateurs, soufflerie, protection thermique par diodes ; le résultat ça marche, mais ça ne casse pas.

LES TORES LARGE BANDE

La question principale qui se pose à celui qui désire construire est de posséder la source d'approvisionnement des composants utilisés dans la description. Personnellement nous avons eu de

nombreuses difficultés au début de nos expérimentations et constructions à nous approvisionner en Tores de grosses dimensions. Depuis que l'informatique est présente à toutes les portes vous remarquerez que les cordons de clavier, de prise USB et autres commandes sont garnis de grosses ferrites traversées par le cordon. A l'usage de divers essais, ses gros Tores ferrite fonctionnent sur le spectre de 1 à 30 MHz donc en couverture des bandes radioamateurs décamétriques. Certains pourront en récupérer chez les revendeurs en informatique qui garnissent leurs poubelles de cordons usagers et défectueux.

Nous préférons la solution commerciale car nous avons choisi deux types de Tores un petit et un gros pour notre Turbo 40 qui fonctionne fort bien. Est retenu sur le catalogue de CONRAD ELECTRONIC édition 2006 page 469 :

- le petit Tore (il en faut 2 en parallèle) fait un \varnothing extérieur de 11mm, \varnothing intérieur de 6mm, épaisseur de 9 mm sous le N° 50 79 97-82
- le gros Tore (il en faut 2x2 en parallèle) fait un \varnothing extérieur de 16 mm, \varnothing intérieur de 8mm, épaisseur de 13 mm sous le N° 50 80 47-82

Quant au prix pratiqué il est raisonnable par rapport aux prix exorbitants découverts chez certains autres revendeurs de composants pour des Tores Amidon d'origine U.S.A. vendus en Allemagne le quart du prix TTC.

Détail des enroulements des transformateurs TR1 et TR2 (dessin figure 2)

Les enroulements réalisés doivent s'inspirer des dessins de la figure 2 ; le rendement et les résultats obtenus sont inhérents à ces enroulements fruits d'un long et patient travail d'expérimentation.

Assemblage des tores TR1 et TR2 (photographies 8 Bis et 9 page 12)

Les tores composant TR1 ou TR2 sont chaque fois au nombre de 2 disposés parallèlement en se touchant sans aucun problème et immobilisés par du ruban adhésif, une autre méthode consiste à les immobiliser avec de la colle cyanocrylate (Glue 3 ou Super Glue).

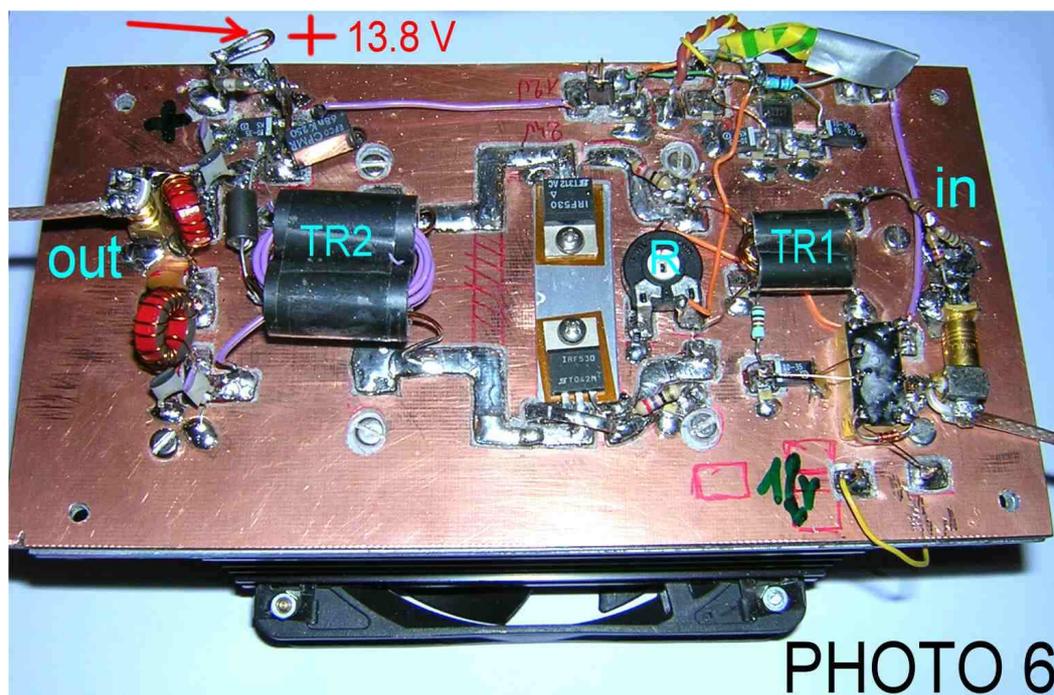
CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES

Nous pouvons parler du gain de l'amplificateur linéaire TURBO 40 sous 13.8 volts le gain est voisin de 15/16 dB et en fonction des sources d'approvisionnement des transistors Mosfets IRF 530, vous obtiendrez une puissance comprise entre 30 et 40 Watts HF. Vous pouvez parfaire vos essais sous 24 volts, il suffit de prendre la partie 24 volts non régulé de votre alimentation 13.8 volts. Impérativement vous devrez re-calibrer le courant de repos à 150 mA par transistor ou 300 mA pour le courant de repos total. Le nouveau courant drain sera de 5/6 Ampères en charge maximum et la puissance de sortie dépasser les 70 watts HF voir même 80 Watts HF. Attention la soufflerie fonctionnera sous 12 volts comme la polarisation et tous les relais de commutation ; ne pas oublier d'ajouter un régulateur 12 volts 1 ampère et son radiateur.

Puissance de Sortie Pour le transformateur de sortie TR2 nous utilisons 4 tores de chez Conrad \varnothing 16 mm la longueur total de deux tores bout à bout est de 26 mm(2 X 13 mm) avec ce bloc de 4 tores vous sortez environ 40 watts HF sous 13 .8 volts les tores sont tièdes, si vous prenez seulement 2 tores en parallèle vous n'excéderez pas 20 watts de puissance HF, vous consommerez 5 A, les tores seront brûlants, le % de rendement très mauvais. On néglige trop souvent le volume du transformateur TR2, et l'on oublie aussi que le rapport de transformation primaire /secondaire est très critique, s'ajuste à la demi spire.

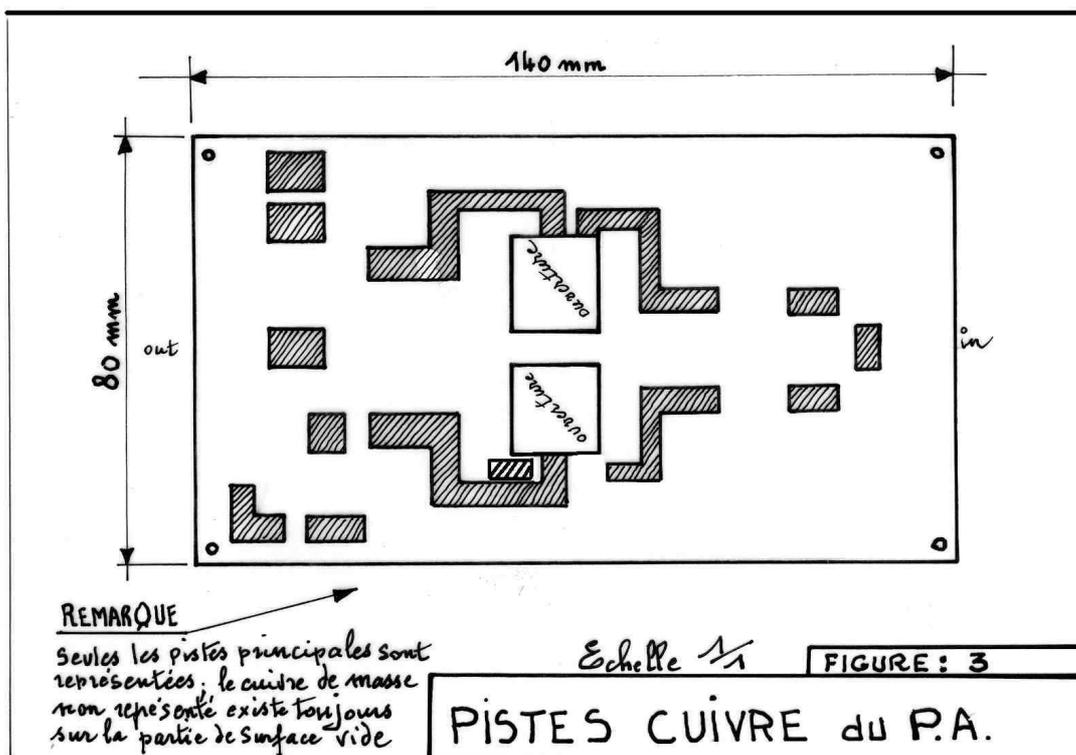
A propos d'autres transistors Mosfets : IRF 510, IRF 520, vous devriez obtenir des résultats identiques en gain HF et puissance de sortie. Mais il existe aussi le IRF 640 dont une paire utilisée en push pull sous 40 volts génère 250 Watts HF et le IRF 730 bon marché, utilisé par certains OM allemands. Deux paires d'IRF730 en // et en push pull sous 40 volts délivrent 400 watts HF. Les prix de tous ces transistors Mosfets y compris le IRF 530, tous largement disponibles varient de 1.50 à 3 Euros.

CONSTRUCTION DU TURBO 40 (photographie N°6)

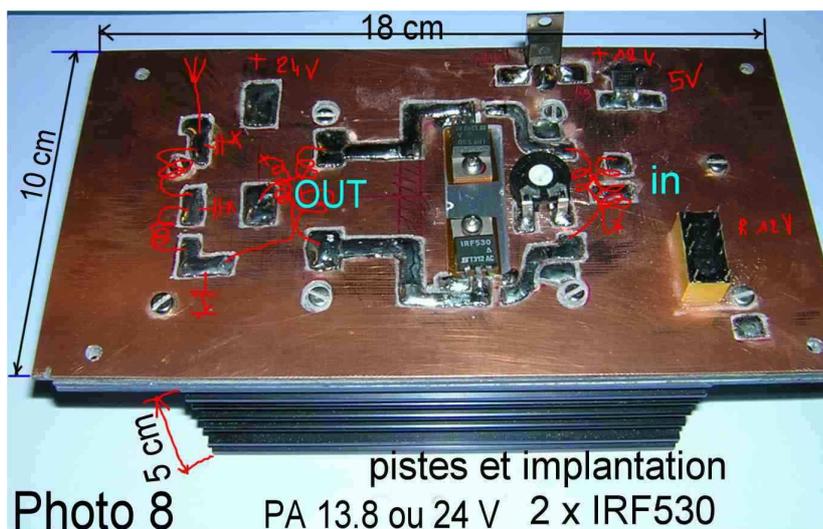
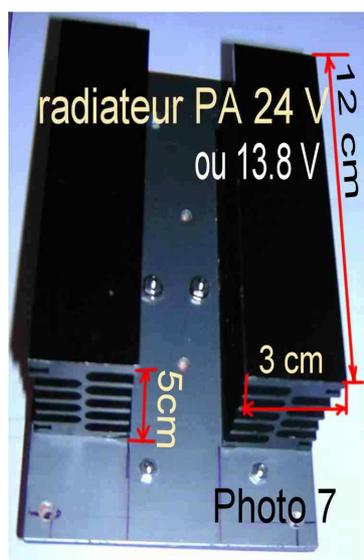


Circuit de base : (dessin figure 3)

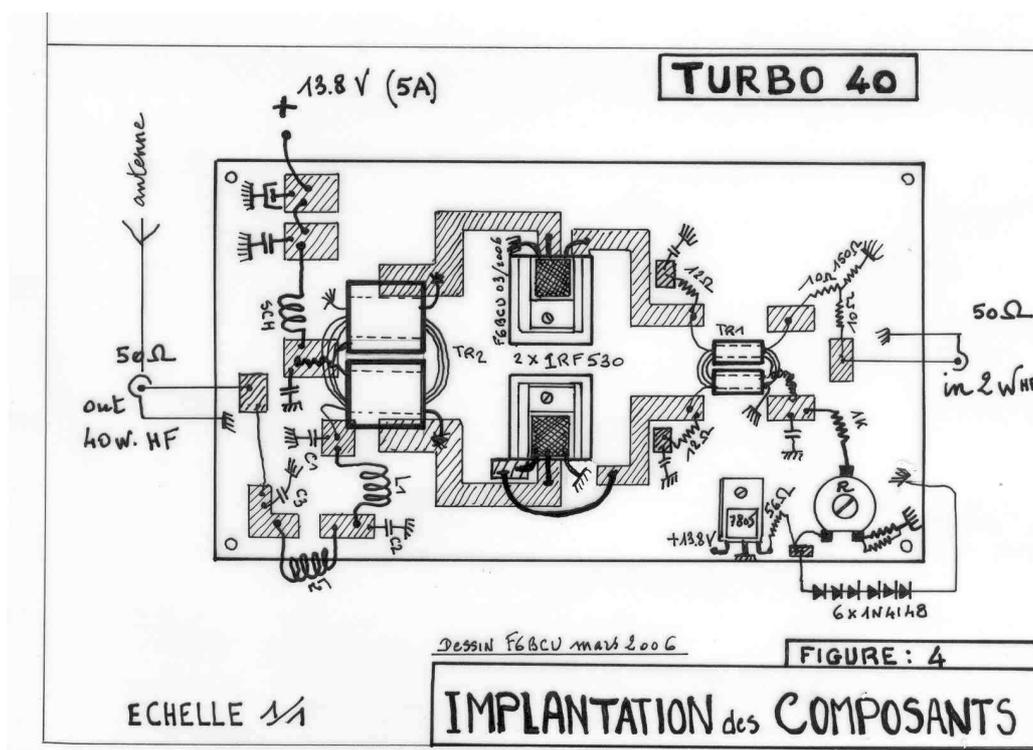
nous utilisons une plaque en époxy cuivrée double face aux dimensions de 80 x 140 mm.
Deux lumières (ouverture) sont pratiquées dans la plaque pour le passage des transistors Mosfets.
Qui sont ensuite vissés sur le radiateur (prévoir un kit d'isolation).
Les pistes principales sont détournées avec un Dremel et fraises ad hoc disponibles dans les magasins de bricolage.



Le circuit de base est ensuite vissé sur le radiateur (Photographie N°7)



Implantation des composants partie A (platine de base partie supérieure) :
(dessin figure 4 et photographie complémentaire N°8)

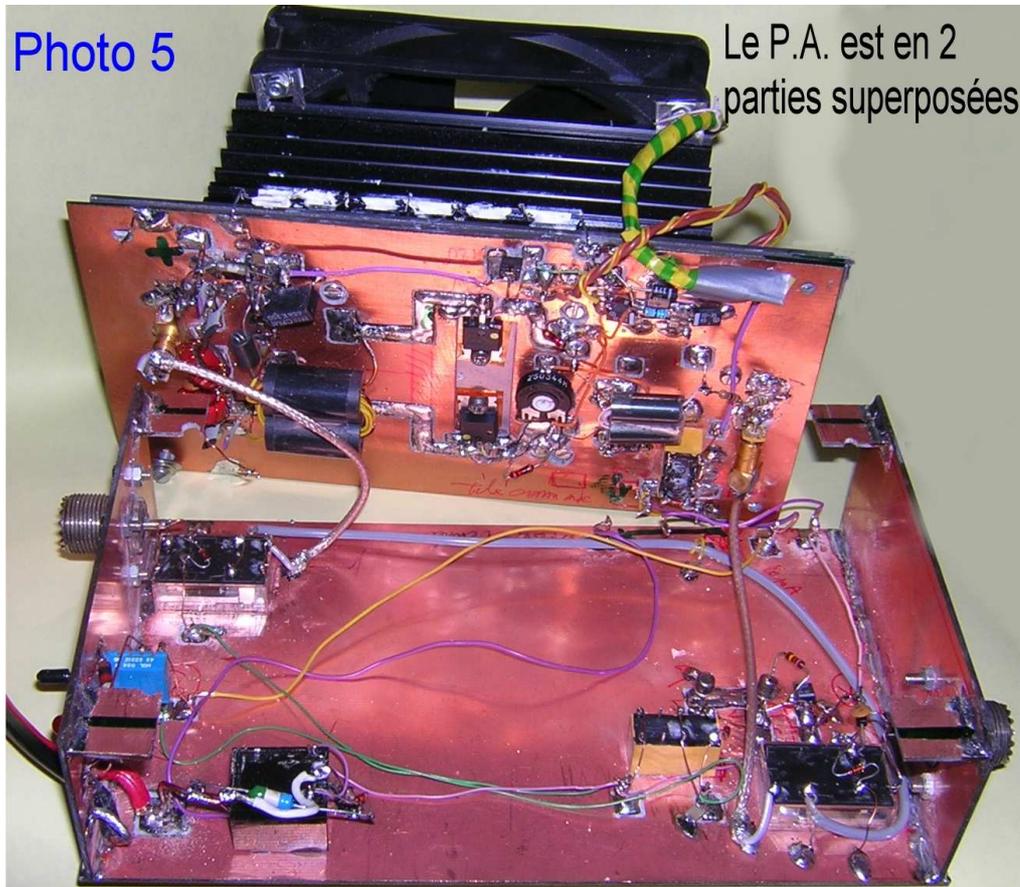


L'implantation des composants est très aérée ; bien se repaier sur les photographies 6 et 8 qui sont les meilleurs guides ; bien plus qu'une multitude d'explications bien souvent inutiles. Ne pas oublier de souder un strap ou pontage entre Gate d'un des IRF 530 et l'une des branches du circuit d'entrée (transistor du bas de la figure 4) à l'aide d'un petit feuillard de cuivre de 4mm de large et de 15 mm de long.

Dans l'éventualité d'une piste manquante ou de la nécessité d'avoir un îlot isolé, il suffit de le détourner à vue sur le circuit de base.

Ne pas oublier d'établir un contact électrique aux 4 coins du plan cuivré supérieur et celui de dessous avec des petits morceaux de feuillard soudés. Ce système évite bien souvent des auto-oscillations. Eventuellement monter un ventilateur 12 V dont le démarrage se synchronise sur l'enclenchement du VOX HF.

Implantation des composants partie B (platine fond de boîte partie inférieure) :
(Photographie N° 5)



La partie inférieure de l'amplificateur aux dimensions de 12 x 20 cm en époxy cuivré double face contient :

- Tous les relais de commutation antenne,
- La commutation alimentation des Drains du P.A.
- La platine du VOX HF,
- Un interrupteur A/M activation du P.A.
- Les 2 prises S0239 de façade
- Un voyant Leed de contrôle
- Un fusible 7 ampères
- Possibilité de commuter les circuits pour le passage 13.8 à 24 volts.
- Le cordon d'alimentation de forte section pour passer 10 Ampères.

MESURES ET RÉGLAGES

Il faut disposer d'une charge fictive pouvant dissiper 100 watts HF, un wattmètre/ Ros mètre, un contrôleur universel, des rallonges en câble coaxial, d'une excitation HF sur 7 MHz de 1 à 2 watts. Ultérieurement l'antenne de la station.

1° Base de travail : platine supérieure partie **A** (figure 4 photographies 6 et 8)

1. S'assurer du bon montage des IRF 530 et de leur isolation.
2. Régler la polarisation à $150 + 150 \text{ mA} = 300 \text{ mA}$, l'alimentation est de 13.8 V.
3. Brancher une charge fictive et un Wattmètre à la sortie **out** du filtre passe-bas du P.A.,
4. Injecter à l'entrée **in** du P.A. environ 1 watt HF de 7 MHz ou siffler dans le micro.
5. Vous devez constater une forte poussée de puissance sur le Wattmètre plus de 15 watts HF.
6. L'intensité drain monte à 2.5 A sous 13.8 Volts.

A ce stade des mesures et réglages vous pouvez envisager le branchement d'un aérien, un dipôle par exemple ; le ROS mesuré est voisin de 1/1

2° Base de travail : fond de la boîte partie **B**

1. s'assurer du fonctionnement du VOX HF sur un coup de sifflet notre bingo 40 SSB QRP supporte la manœuvre en circuit ouvert car son étage de sortie travaille seulement à 50 % de ses réelles possibilités, ceci par précaution de toute désadaptation d'impédance.
2. ajuster la résistance ajustable de $1 \text{ M}\Omega$ du Vox de T3 sur une constante de temps correcte.
3. Vérifier les relais de commutation et leurs fonctions spécifiques.
4. Vérifier la fonction arrêt / marche et l'illumination de la diode Leed de contrôle.
5. Si tout fonctionne correctement on peut envisager de finaliser le montage, assembler les 2 parties du PA.
6. Reprendre certaines mesures : isolation, courant de repos 300 mA, enclenchement de la soufflerie au rythme du Vox HF.
7. raccorder transceiver QRP, TURBO 40 et brancher la charge fictive + Wattmètre ; sur un coup de sifflet la puissance doit monter vers 30 à 40 watts HF et l'intensité Drain totale afficher 5 ampères et plus.

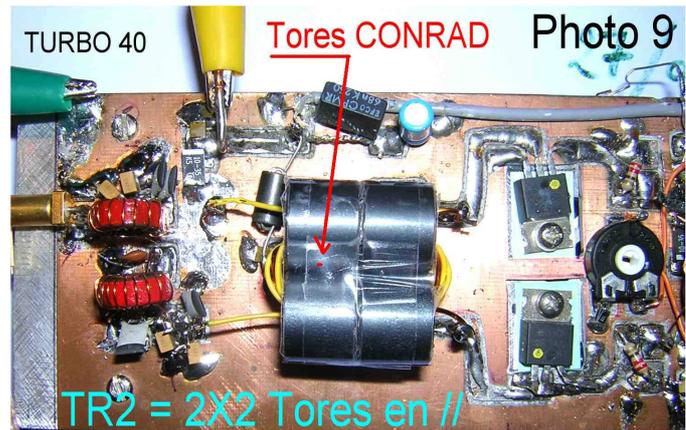
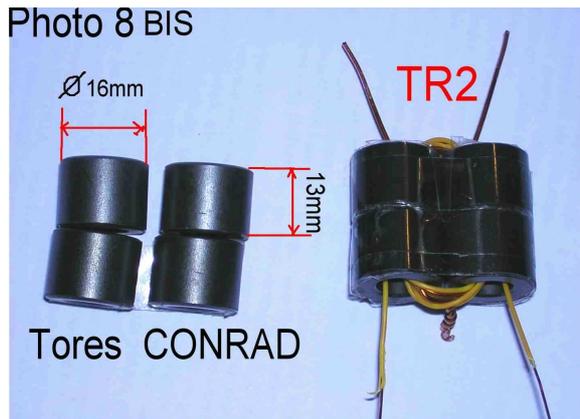
Dans cette dernière phase d'essais il faut maintenant essayer sur antenne ; la grande aventure commence.

Commentaires techniques :

Accord d'antenne : Les réglages d'accord d'antenne avec une boîte de coupage se font toujours en QRP : sortie 2 watts HF ; le P.A. du Bingo 40 SSB supporte le temps des réglages sans problèmes. Les réglages d'accord au ROS de 1/1 étant terminés, il suffit de mettre sous tension le TURBO 40 et émettre en puissance QRO.

Puissance disponible en portable : Si vous travaillez en portable avec une batterie, à 12 volts le TURBO 40 sort encore 25 à 30 Watts HF puissance plus que suffisante pour bien trafiquer.

Valeur de l'excitation HF correcte pour driver le P.A. Ce qu'il faut admettre c'est que la valeur conseillée pour exciter le P.A. aux bornes de TR1 ne doit pas dépasser 1 watt HF. Sur cette considération l'atténuateur en T précédent TR1 sous condition de restituer 1 Watt HF peut avoir la valeur désirée. Dans notre cas particulier nous bénéficions d'un transceiver QRP SSB qui délivre 2 Watts HF avec l'atténuateur en T à -3dB nous restituons 1 watt HF ; si nous utilisons un atténuateur en T à -6dB avec 4 Watts HF nous restituons 1 watt HF. En fonction de la puissance de sortie du transceiver vous pouvez au choix de l'atténuateur adapter tous les QRP !



CONCLUSION

D'une construction simple et attractive, le TURBO 40 avec ses excellentes performances sur 40m peut s'adapter facilement à d'autres bandes de fréquences notamment le 20 et le 15 mètres. La perte de puissance sur des fréquences plus élevées n'excède pas 10% sur 20 m et 20% sur 15 mètres par rapport à la puissance nominale générée sur 40 m. L'intérêt d'un tel montage est son utilisation dans la plage de 12 à 13.8 volts. La centaine d'essais faits en QRP avec le passage instantané en QRO (40 w) confirment que la qualité de la modulation SSB est toujours la même, elle est excellente de l'avis de tous les radioamateurs contactés pendant le mois de février 2006.

Avec un gain de 15 à 16 dB le TURBO 40 encourage la construction Home made qui devient plus facile. Avec les quelques watts HF d'un transceiver QRP SSB ou CW il est désormais possible avec un push pull de Mosfets IRF530, de trafiquer avec l'efficacité d'une station traditionnelle de 50 à 100 watts HF. La différence marquée par ½ point au S/mètre, ou une différence de puissance mesurée de 3 dB passe quasiment inaperçue.

Article écrit par F6BCU Bernard MOUROT –Radio-Club de la Ligne bleue des VOSGES
REMOMEIX –ST DIE DES VOSGES