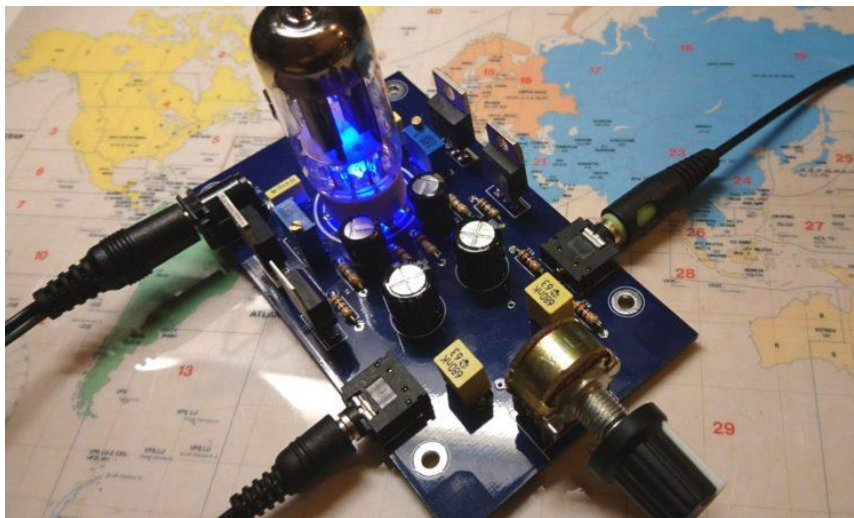




Fonctionnement et test du kit amplificateur à lampe F6KFA

Alain BERTOUT, Rueil-Malmaison le 14 novembre 2020

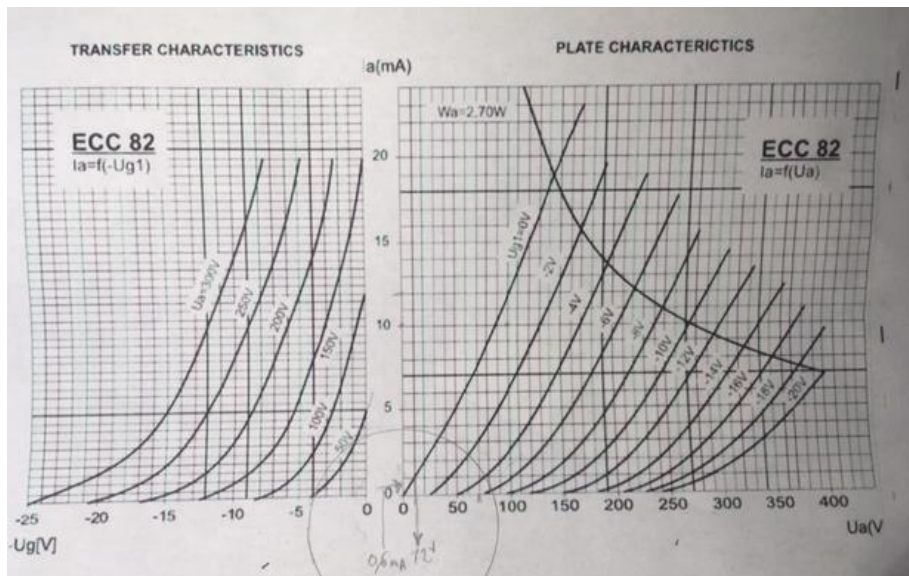


Les composants utilisés dans l'amplificateur

Le montage amplificateur est constitué d'un étage d'entrée utilisant une lampe (tube électronique) qui apporte du gain et d'un étage de sortie à transistor MOSFET qui n'apporte pas de gain mais qui apporte une faible impédance de sortie.

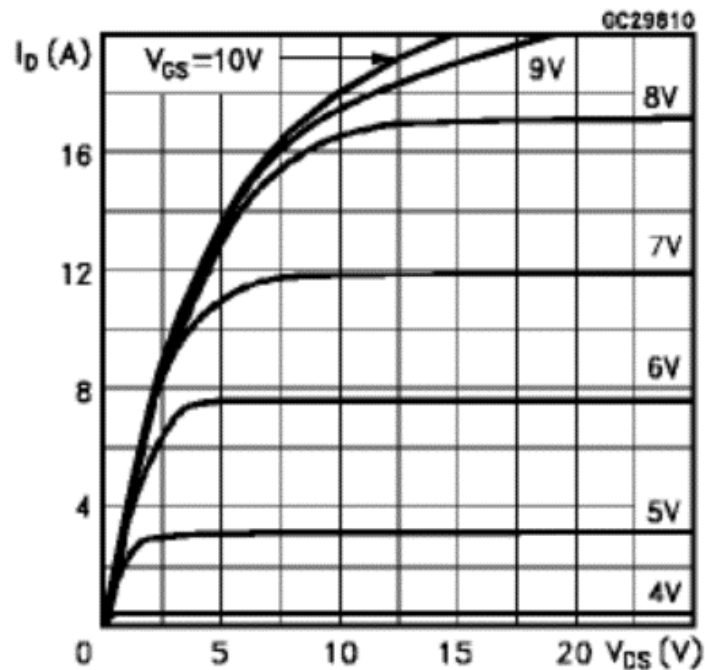
La lampe utilisée ECC82 (ou 12AU7) est normalement destinée pour travailler dans une plage de tension entre 150 et 400V pour des courants entre 5 et 15 mA.

Dans le montage considéré, la tension d'anode (ou plaque) est faible ($< 12\text{ V}$) et le courant d'anode est faible ($< 1\text{ mA}$), ce qui impose de polariser avec des tensions de grille très faiblement négative. Voir les caractéristiques courant/tension de la lampe ECC82.



Caractéristiques du tube ECC82

Le composant utilisé pour l'étage de sortie est un transistor MOSFET destiné à de commutation rapide de courant conçu normalement pour fonctionner jusqu'à 10A pour des tensions élevées (< 100V). Dans notre cas, il travaille en dehors de ses spécifications : il fonctionne en mode linéaire à basse fréquence, à faible courant et à basse tension. Son rôle est uniquement de fournir une très haute impédance d'entrée qui ne perturbe pas le signal sur l'anode de la lampe, et une faible impédance de sortie ($R_{on} < 0.27 \text{ Ohm}$) compatible des écouteurs utilisés.



Caractéristiques courant tension de l'IRF520
(courant I_d constant à V_{GS} constant)



Résultats de test :

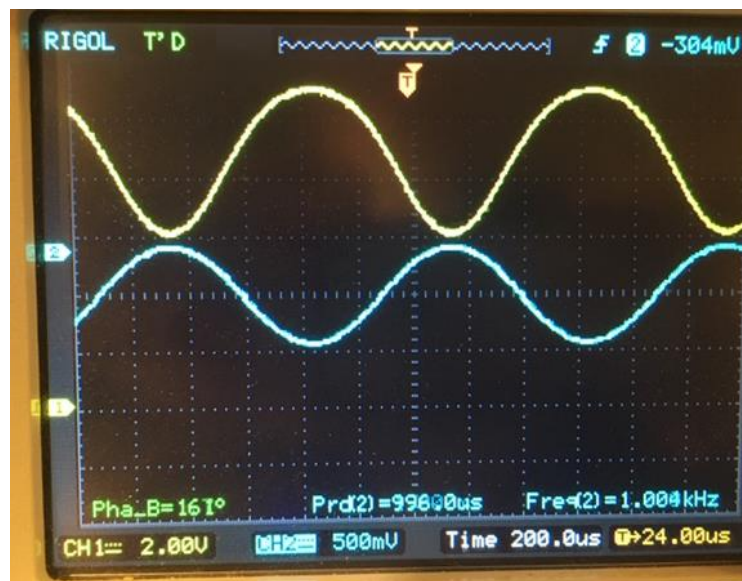
L'amplification se produit entre la grille de la lampe (ou l'entrée INPUT avec le potentiomètre tourné à fond) et la tension de sortie sur l'anode (points de test TP3 ou TP4).

En réglant la résistance variable R5/R6 à 20 kOhm¹ on obtient une tension d'anode de 8 Volt (TP3 et TP4), on mesure alors un courant d'anode I_a de l'ordre de 0.20 mA. (tension de 4 V / 20 kOhm = 0.20 mA)

La tension de polarisation automatique sur la cathode se mesure au borne de la résistance R4/R7 de 150 Ohm, elle devrait être de 30 mV, c'est ce qu'on appelle la tension de recul de grille. Elle sert à créer une polarisation négative entre Vgrille et Vcathode. La tension de grille Vgrille devrait être à 0V (courant de grille quasi nul à travers une résistance R3/R8 de 100k Ohm). Le recul de grille théorique serait alors autour de -30 mV.

On constate en réalité une tension de -200mV sur Vgrille et une tension de + 50mV sur Vcathode. Ce réglage semble cependant bien fonctionner (recul de grille de -150 mV).

Une amplification avec un gain entre 6 ou 7 est mesurée entre l'entrée (INPUT) avec le potentiomètre R1 au maximum et la sortie TP3 ou TP4 de la lampe.



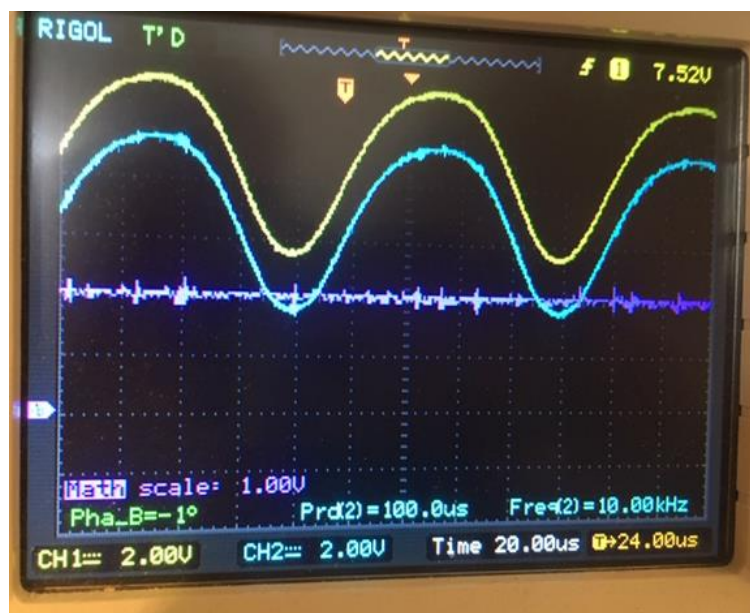
Gain de 6 à 7 entre l'entrée (bleu) et la sortie (jaune)

On constate un fonctionnement correct sans distorsion pour des niveaux d'entrée de $V_e=0,5$ V crête, la sinusoïde sur la sortie $V_{TP3/TP4} = 3.5$ V crête n'est pas déformée. A partir de $V_e = 0,8$ V crête, la sinusoïde en sortie de la lampe est fortement distordue (ceci est due à la non linéarité de la courbe courant/tension I_a / U_g de la lampe). On ne peut donc pas espérer une large dynamique en sortie de ce type d'étage amplificateur.

¹ Cette valeur doit certainement pouvoir varier d'un tube à l'autre

L'étage en sortie utilise un transistor MOSFET IRF520 monté en drain commun et en source suiveuse. Pour être un étage suiveur, il importe que la tension entre la grille et la source (V_{gs}) reste constante. Dans un MOS FET, cette condition est obtenue lorsque le courant I_{ds} traversant le transistor entre le Drain et la Source est constant (voir la courbe de caractéristique courant tension de l'IRF520). Cette exigence est satisfaite en alimentant le transistor MOSFET à travers un montage régulateur de courant LM317. Le courant I_{ds} est réglé par la résistance de 10 Ohm placée en parallèle de la sortie régulée de 1.25V. Cela garantit un courant I_{ds} constant de 125mA pour des tensions de sortie du MOSFET variant entre 4,25V et 10V. En effet le régulateur de courant LM317 à besoin de 4,25 Volt entre V_{in} et V_{adj} pour travailler correctement.

On observe bien une tension V_{gs} de 2V. La sortie source du drain est donc au repos à 6V, ce qui est bien centré entre 0 et 12V. Le signal sur la plaque du tube est translaté de 2 V vers le bas sur la source du MOSFET.



Etage amplificateur suiveur MOSFET avec le décalage de 2V
(en jaune la grille, en bleu la source et en violet la tension V_{gs} constante)

L'étage de sortie est bien adapté pour des charges à moyenne impédance comme des écouteurs (32 ohms). Pour des impédances plus faibles comme des haut-parleurs (4 Ohm), le montage actuel sature par manque de courant fourni par le régulateur. Il faudrait alors augmenter ce courant mais alors le régulateur et le MOSFET devraient être obligatoirement être équipés de radiateurs.

Conclusions

Le montage est intéressant car il utilise une ancienne technologie à base de lampe que l'on fait travailler à basse tension (12V). L'étage à lampe ne fournissant pas une sortie à basse impédance, il est donc indispensable de le compléter d'un étage suiveur à transistor MOSFET de puissance. Le montage en générateur de courant constant LM317 est bien utile pour garantir un gain constant.

Il semble difficile d'augmenter le gain de ce montage à cause de la faible dynamique linéaire de la lampe utilisé (3,5 Volt), mais aussi à cause de l'étage de sortie qui est limité entre 4 et 10 V.



Notes :

Il serait intéressant d'étudier les performances de gain de ce montage avec une tension d'alimentation plus élevée (par exemple 24V).

Un changement des valeurs des résistances R4/R7 devrait normalement être effectué pour éviter de modifier la tension de recul de grille quand on règle le courant de plaque par les résistances ajustables R6/R6.

L'affaiblissement à 3dB apparait en basse fréquence vers 20Hz principalement à cause du couplage capacitif en sortie (470 microFarad x 30 Ohm de d'écouteur). L'affaiblissement à 3dB apparait en haute fréquence vers 160kHz principalement à cause de l'étage d'entrée à tube.