

Bootstrap (Cathode follower / cathodyne améliorée)

Introduction

Le bootstrap est une technique de réinjection de signal dans une cathode follower, ayant pour conséquences:

- L'augmentation du gain en sortie d'étage
- Augmentation de la charge d'anode sur la première triode, permettant de réduire les résistances de charge de la cathode follower / cathodyne
- Augmentation du swing de sortie
- Augmentation de la compression fournie par la cathode follower
- Supprime l'influence du vieillissement des tubes sur le gain et la tonalité (enfin jusqu'à un certain point).

Ce type de construction n'est quasiment jamais vu chez les lampes, mais est un système de base en transistors. Dans bien des cas, un tel montage peut s'avérer utile pour régler quelques soucis, surtout en cathodyne.

Bootstrap : cathode follower

Comme décrit précédemment, le bootstrap est une réinjection de signal. En effet, on splitte en 2 la charge de l'anode de V1, on récupère le signal et on le réinjecte à la sortie de la cathode follower. Cette pratique est faisable dû à la différence importante entre la charge de V1 et celle de V2.

Il s'agit bien d'un système à réaction positive, mais comme le gain de V2 est toujours inférieur à 1, il n'y a pas de risque d'oscillation.

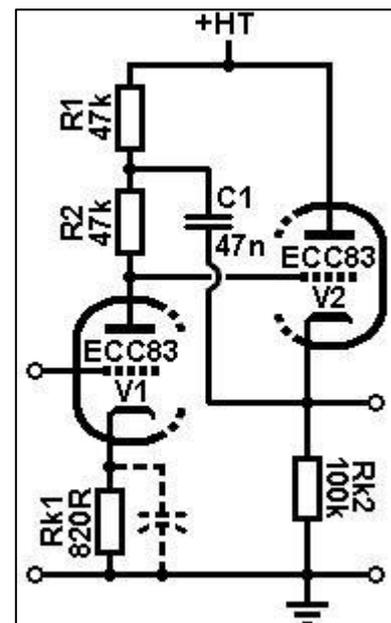
Le gain de l'étage total est :

- Si découplage de la cathode de V1 :

$$G = \frac{\mu \left(R1 + \frac{R2}{1-A} \right)}{ra + R1 + \frac{R2}{1-A}}$$

- Si pas de découplage de la cathode de V1 :

$$G = \frac{\mu \left(R1 + \frac{R2}{1-A} \right)}{ra + R1 + \frac{R2}{1-A} + Rk(\mu + 1)}$$



On peut aussi utiliser des pentodes, mais le gain obtenu serait inutilisable (quoique, faire la saturation d'un mesa avec une seule ECF82 peut être drôle... je sors...).

Pour l'ajustement du condensateur C1, qui forme un passe-haut, la fréquence de coupure est la suivante : $f = \frac{1}{2\pi * C1 * R1 || (R2 + ra)}$.

Dans le schéma donné en exemple, G = 90, et f = 100 Hz.

Enfin, petite règle pour maintenir un certain équilibre des charges : $R1 + R2 \leq 2 * Rk2$.

Bootstrap : cathodyne

Pas de gros changement par rapport au montage précédent, si ce n'est que l'ajout de la résistance R. Pour obtenir un montage cathodyne équilibré, il faut avant tout que R soit égal à la charge AC de la cathode de V2 (et non purement égal à Rk2).

Sans le bootstrap, ce n'est pas très difficile, cette charge étant pratiquement égale à Rk2 si les charges en sorties d'étages sont équivalentes. Mais avec, il faut revoir cette charge. On obtient alors :

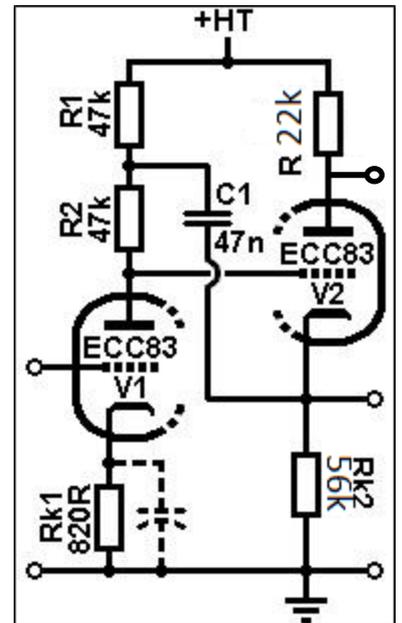
$$R = Rk2 || R1 || (R2 + ra)$$

Dans l'exemple présenté, on obtient $R \approx 20k$ (on prend 22k comme valeur la plus proche).

Les formules de gain et de fréquence de coupure sont les mêmes que pour la cathode follower.

Dès lors, une question se pose : pourquoi ce circuit diminue les problèmes d'intermodulation ? On constate que le bootstrap permet d'augmenter la charge sur l'anode de V1, ce qui diminue les fluctuations de tension à l'anode de V1 selon le courant passant par la grille de V2. Dès lors, la stabilité du montage est améliorée, réduisant l'intermodulation et le déséquilibre entre chaque sortie. Pour un résultat optimal, rajouter une résistance de 100k à 220k entre l'anode de V1 et la grille de V2. Il n'y a pas de perte en tonalité, vu la faible capacité d'entrée de V2 (gain unitaire).

Attention, augmenter la résistance de grille entre V1a et V2g a pour effet d'amener plus rapidement à saturation la cathodyne, en augmentant la compression sur l'alternance positive. Cet effet réduit aussi l'amplitude du signal de sortie.



Bibliographie

- M. Blencowe, *Designing Valve Préamp*, 2009