

MP22 – Amplification de signaux.

Grégoire MARTOUZET & Antoine VOLTE

Correcteur: Jean-Baptiste DESMOULINS

9/11/2017

Rapport de jury 2016-2014 : L'amplificateur opérationnel, comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. On peut, au contraire, envisager des circuits simples à base de transistor(s). D'autre part, de nombreux aspects des amplificateurs sont éludés, comme la distorsion, les impédances caractéristiques et le rendement.

1 Contenu du Montage

1.1 Introduction

On branche le microphone directement sur le haut-parleur, on entend rien. Dans une salle de concert, il faut obligatoirement amplifier le signal audio, mais comment faire ?

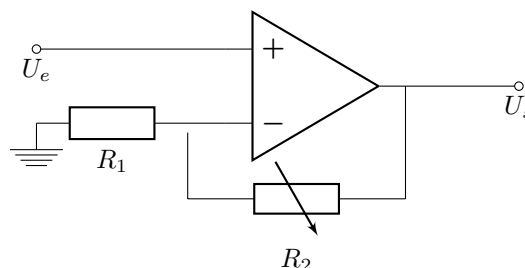
On n'entend rien pour plusieurs raisons, le micro ne délivre qu'une tension de quelques millivolts et il y a un problème d'adaptation d'impédance.

Dans la suite, le haut-parleur sera remplacé par une charge équivalente, et le microphone par un GBF : on évite ainsi du bruit inutile.

1.2 Amplificateur de tension

Utilisation d'un montage amplificateur non-inverseur avec un AO puisqu'il a une grande impédance d'entrée. Deux résistances : $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ et R_2 un potentiomètre de $0.1\text{ k}\Omega$ à $99.9\text{ k}\Omega$. Justification des résistances : pas trop faible pour pas avoir de courant trop grand, ni trop haute. Pour rappel, en électronique, on n'utilise que des résistances de $1\text{ k}\Omega$ à $1\text{ M}\Omega$.

Montage :



Exp.1 Mise en évidence le caractère passe-bas d'un tel montage en traçant la fonction de transfert avec la macro Igor. Pour rendre la manip encore plus "belle", on se place en real time et on modifie le potentiomètre.

On constate que le montage agit comme un passe-bas, mais que la fréquence de coupure dépend du gain : compromis gain/bande passante. Pour un système dont le but est de restituer un signal à l'identique, il est important de caractériser cela.

Exp.2 Mesure du gain statique et la fréquence de coupure pour différentes valeurs de R_2 . Prise en direct d'un point pour compléter la dizaine prise en préparation. Le graph $G_0 = f(1/F_c)$ est une droite de pente GBW (produit gain-bande. La valeur obtenue doit être comparée avec la valeur du constructeur. En principe, on trouve le bon ordre de grandeur et c'est suffisant, la valeur est unique à chaque AO et peu précise. Il est normal de trouver un facteur 2 (voir 10 pour certains AO) entre sa valeur et le constructeur.

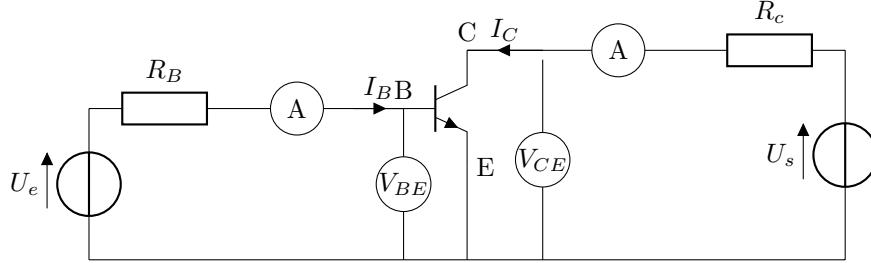
A présent que l'on a amplifié en tension, on va amplifier en puissance puisqu'il en faut pour alimenter un haut-parleur.

1.3 Caractéristiques de transistor NPN

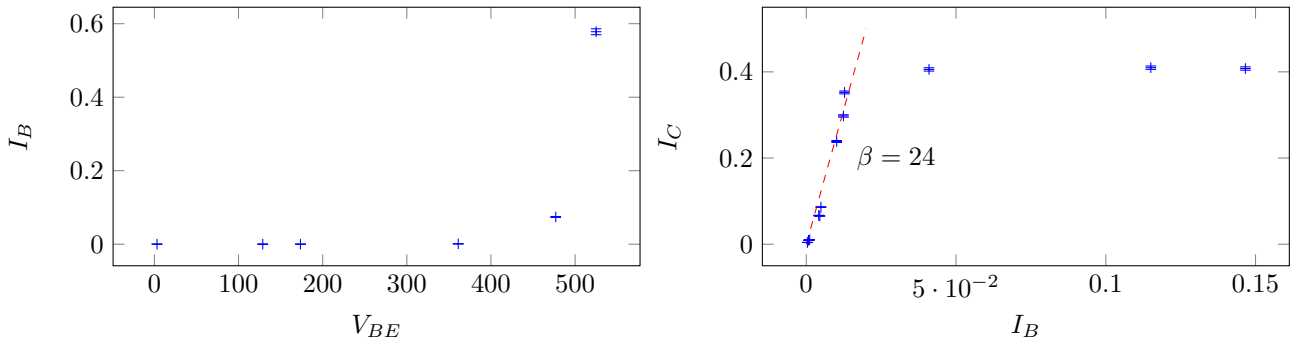
Pour amplifier en puissance (en courant surtout), on réalise un montage à transistor, mais pour cela on va tout d'abord les caractériser.

Je commence par un brève explication sur les transistors : c'est deux jonctions PN collées, etc... *cf tout bon livre d'électronique, wikipedia et autre pour plus d'information*).

Montage :



Exp.3 Caractéristiques $I_B = f(V_{BE})$ et $I_C = f(I_B)$.



Les deux sources U_e et U_s sont des alimentations stabilisées réglables. On fait varier finement la tension délivrée et on mesure les grandeurs I_B , I_C et V_{BE} à l'aide de multimètre.

La courbe $I_B = f(V_{BE})$ met en évidence une tension de seuil de la jonction PN (comme une diode). La courbe $I_C = f(I_B)$ permet de déterminer deux régimes de fonctionnement : un régime linéaire où $I_C = \beta \cdot I_B$ et un régime saturé où I_C est constante. β correspond au gain en intensité du transistor. Il ne faut pas travailler dans le régime de saturation (c'est dans ce régime que le transistor travaille en interrupteur commandé comme dans un hacheur par exemple).

Le gain obtenu est $\beta = 24.35 \pm 0.09$ ($\beta_{th} \approx 25$). On peut remarquer que ce gain est faible par rapport à d'autre type de transistor (on peut monter jusqu'à 100). C'est un choix du département de physique d'avoir acheté des transistor de faible gain. Il y a une raison technique aussi : on utilise dans la suite un PNP qui doit avoir le même gain, or ils ont usuellement un gain plus faible que les NPN.

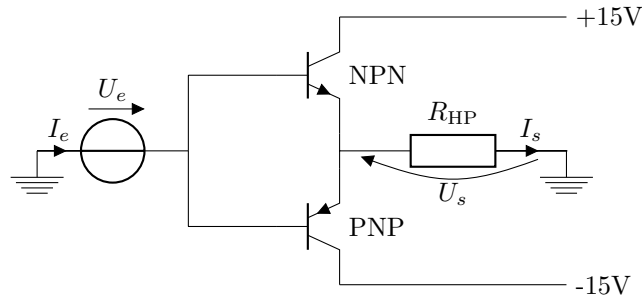
Une autre courbe possible, mais non présentée, est $I_C = f(V_{CE})$ pour différentes valeurs de I_B est elle cependant plus longue à effectuer. Cette courbe est plus usuelle, mais mon choix était de mettre en évidence le gain β (et surtout de déterminer sa valeur) en un temps réduit.

On peut finir cette partie en observant un signal sinusoïdal : seules les parties positives du signal sont amplifiées : on va dans la suite utiliser un PNP pour amplifier les parties négatives du signal.

1.4 Amplificateur de puissance

1.4.1 Montage push-pull

Montage : U_e est une sinusoïdale de fréquence $f = 300$ Hz (ordre de grandeur d'un signal sonore), $R_{HP} = 4 \Omega$. R_{HP} est une grosse résistance marron que l'on trouve dans la boîte du push-pull : elle résiste à de forte intensité et ont le même ordre de grandeur que l'impédance sur haut-parleur.



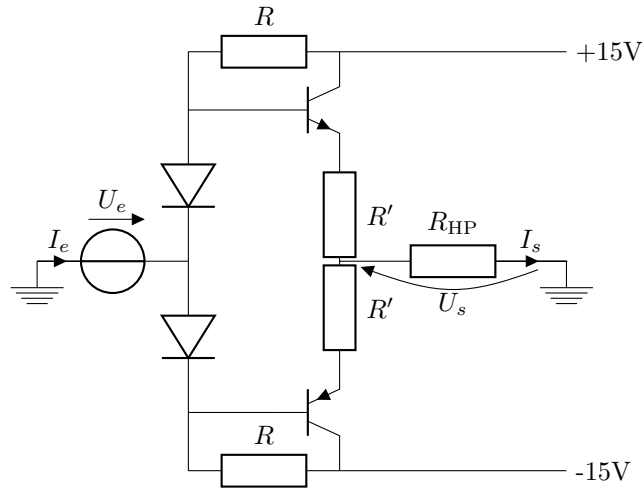
Exp.4 Les tensions U_e et U_s sont observées à l'oscilloscope. On constate que le signal est amplifié. Cependant la tension de seuil pose problème, il y a de la distorsion de croisement. Lorsque $|U_e| < U_{\text{seuil}}$, on a $U_s = 0$.

Mesure du taux de distorsion avec la macro Igor de puissance : acquisition du signal puis mesure de la puissance contenu dans la première harmonique.

$$D = \frac{\sum_{n>1} |c_n|^2}{|c_1|^2} \approx 19.2\%$$

1.4.2 Push-pull amélioré

Montage :



Exp.5 Même chose que pour la partie précédente : mesure du taux de distorsion et en principe il est plus faible.

Les diodes ont une tension de seuil identique à celle des transistors, elle impose la tension sur la base du collecteur à $U_e \pm 0.6$ ce qui permet de faire travailler les transistors au-delà de la tension de seuil et cela même pour U_e faible. Les résistances R' permettent de limiter le courant dans les transistors : à cause des diodes ils sont potentiellement toujours passant et donc chauffent si l'intensité est trop importante ; si ils chauffent, leur gain augmente et donc l'intensité aussi, etc, jusqu'à destruction. Prendre $R' = 1 \Omega$ est suffisant en pratique.

La distorsion de croisement observée dans le montage précédent est éliminée ici mais il y a une distorsion possible de saturation. Jouer sur les résistances R permet de choisir le niveau de saturation. J'ai choisi $R = 6 \text{ k}\Omega$, un peu au pif mais ça semblait être un bon compromis pour ne pas trop saturer (le Duffait conseille $10 \text{ k}\Omega$).

Mesurer le rendement du système est très intéressant aussi (en théorie). Pour ma part ça ne marchait pas du tout, j'en ai donc pas parlé ce qui rends cette partie un peu vide. Il faudrait plus insister sur le compromis entre distorsion et rendement, mais encore faut-il que le rendement soit exploitable. Dans l'idée, il faut mesurer la tension aux bornes de la charge (puissance : U^2/R) et l'intensité délivrée par l'alimentation symétrique avec un sonde de courant par exemple et comparer les deux.

1.5 Conclusion

Expérience finale : On relie le micro, l'ampli de tension, le montage push-pull et le haut-parleur, on parle dans le micro et ça marche ! On peut même faire varier le gain de l'AO pour "modifier le volume".

2 Questions

- Pourquoi il y a un problème d'impédance si l'on branche le microphone directement sur le haut-parleur ? Comment modélise-t-on un micro ?
Un microphone peut être modélisé par une source de tension et d'une résistance d'environ 600Ω en série. Si l'on branche directement sur un haut-parleur, qui a une résistance de 4Ω on a une forte division de tension : on réalise un diviseur de tension.
- Comment est réalisé le diagramme de Bode avec Igor ?
Igor prend le signal d'entrée et de sortie, FFT des deux et rapport, cela donne directement le diagramme de Bode de la fonction de transfert.
Pour les paramètres de la macro :
temps d'acquisition = $1/\text{précision spectrale}$
temps du pulse = $1/\text{fréquence maximale}$
On choisit un sinus cardinal pour le pulse d'une part pour avoir un rectangle en domaine fréquentiel, l'amplitude est choisie pour éviter la saturation mais aussi pour éviter une pente trop importante et l'apparition de slew-rate.
- Comment est effectuée la mesure de distorsion ? Comment fonctionne la macro Igor pour cela ? Pourquoi le bruit ne gêne pas ?
La distorsion correspond au rapport de la puissance contenue dans les harmoniques avec la puissance du fondamental. La macro Igor prend la FT du signal et élève chaque point au carré (la puissance est proportionnelle à l'amplitude carrée), elle intègre ensuite entre les curseurs et fait le rapport avec la puissance totale (intégration sur toutes les fréquences acquises). Le rapport donne donc la part de puissance contenue entre les curseurs ce qui par définition est le taux de distorsion.
Le bruit est très faible et n'intervient pas : il est à -60dB voir -80dB .
Il faut placer les curseurs dans le bruit autour du fondamental et pas juste au pied du pic, sinon on peut rater un peu de puissance.
Voir le poly de JBD pour plus d'information sur le fonctionnement de la macro.

3 Remarques du correcteur

- Pour l'observation du GBW en real-time : il faut fixer les axes sinon ils bougent en temps réel et c'est moins parlant. Ne pas utiliser la macro si on ne sait pas expliquer son fonctionnement. La justification des paramètres d'acquisition est important et rends cette expérience quantitative.
- En principe le produit GBW n'est plus vérifié pour des faibles gains, le modèle passe-bas d'ordre un n'est plus valable. Pourtant lors de ce montage c'était bon... dans le doute il faut mieux éviter d'avoir des gains trop faible (et donc travailler à trop haute fréquence).
- Pour la mesure de GBW, c'est facile à faire, il faut donc être très propre : utilisation de toute la dynamique d'affichage, afficher qu'une période et moyenner, se mettre en mode AC pour éviter un offset. Dans ces conditions, faire une mesure automatique à l'oscillo est acceptable.
- On ne parle pas de valeurs théoriques pour les composants, mais de valeurs typiques ou de données constructeurs.
- Pour mesurer des tensions et des courants pour tracer une caractéristique : utiliser les gros multimètres et pas les petits portatifs (d'autant plus que certains avaient les fusibles morts ce qui complique un peu).
- Il faut éviter d'avoir tout câblé à l'avance. recâblé en direct (si c'est bien fait) est un bon point.
- Garder peut-être que le push-pull amélioré pour plus parler du compromis entre rendement et distorsion. Parler du montage "simple" en expliquant à l'oral ses limites sans faire de mesures.
- L'un des montages le plus vieux de la liste, pas très original ce qui est présenté mais pas d'autre choix avec le matériel à disposition.

4 Remarques personnelles

- On utilise des éléments de puissance pour le montage à transistor, il ne faut donc pas prendre les n'importe quels composants : ceux fournis avec le push-pull sont parfaits pour supporter de fortes intensités, si on en veut d'autres il faut vérifier leurs limites.
- Si l'on traite les incertitudes en même temps que les mesures, on gagne beaucoup de temps.
- Avec de la motivation, on peut remplacer l'amplificateur de tension avec l'AO (cf rapports de jury) par un montage à transistor. On pourrait par exemple réaliser un montage à transistor "émetteur commun".

- Durant ma préparation (avec les AO montés en novembre 2017), les gain mesurés sont les suivant : plaquette 1 $GBW = 0.7\text{ MHz}$, plaquette 5 $GBW = 2.2\text{ MHz}$. J'ai présenté avec la plaquette 5 puisque c'est la plus proche (sur les deux testées) du constructeur ($GBW = 4\text{ MHz}$).
- Tracer les caractéristiques du transistor ne marche pas toujours, souvent le problème vient des multimètres qui ont les fusibles grillés. Les calibres 200mA ne supporte que des faibles intensités qui sont rapidement dépassées dans ce montage. Ma solution était de mesurer la tension aux bornes de résistance, il y en a beaucoup dans le circuit donc même pas besoin d'en rajouter (l'autre solution est d'utiliser des vrais multimètres à alimentation externe). J'ai essayé de tracer la caractéristique en mode XY avec un oscillo et un GBF, mais pas terrible et n'apporte rien. Il est plus rapide de choisir quelques points bien choisis pour obtenir les courbes.
- Ne pas hésiter à mettre des post-it avec le nom de ce que chaque multimètre mesure, sinon on ne s'en sort plus.

4.1 Documents utilisés

- Duffait, **Agrégation de sciences physiques, Expériences d'électronique.**, Bréal.
Montage pour déterminer la caractéristique d'un transistor bipolaire ainsi que plein de choses intéressantes (p.65).
Montage Push-Pull simple puis amélioré, (p.129).
- <http://www.physique.ens-cachan.fr/laboratoire/materiel/show?id=211&action=show>.
Explication de la plaquette pour le montage Push-Pull.
- <http://www.physique.ens-cachan.fr/laboratoire/experiences/fichiers/pushpull.pdf>.
Un peu de théorie sur le montage Push-Pull.
- <http://www.physique.ens-cachan.fr/laboratoire/experiences/fichiers/transistor.pdf>.
Un poly sur les transistors.
- Wikipedia et tout autre site internet pouvant aider à comprendre les transistors (explications des différents types, domaine d'utilisation, etc...)