
6GEI620 - Électronique II

Laboratoire #2

Conception des amplificateurs Émetteur-Commun

Hiver 2008

1. Objectifs

- Apprendre, dans un environnement pratique, à concevoir des circuits avec des transistors bipolaires en configuration émetteur-commun
- Comprendre la dépendance qui existe entre la valeur des composantes et les différents paramètres de l'amplificateur

2. Méthodologie

Le but du laboratoire est de vous familiariser la configuration d'amplificateurs bipolaires à émetteur commun. Pour ce faire, il sera question d'utiliser l'outil *Multisim* pour simuler les circuits et de faire des prototypes sur les plaquettes de test. Vous aurez à polariser des circuits et par la suite, d'appliquer un petit signal à amplifier. Vous aurez la chance d'ajuster la valeur des composantes afin d'en voir les effets.

Il est facile de développer la mauvaise habitude d'ajuster aléatoirement les paramètres en espérant avoir la réponse désirée. Essayez plutôt de raisonner et de justifier vos décisions avec ce que vous connaissez de ces transistors.

3. Travail demandé

a) **Multisim**

La configuration d'amplificateur que vous allez explorer dans ce laboratoire est l'émetteur commun. Pour commencer, vous ferez un simple circuit de polarisation. Le but est que vous compreniez comment la valeur des différentes composantes qui peuvent affecter le circuit.

Le circuit de polarisation est montré à la figure 1.

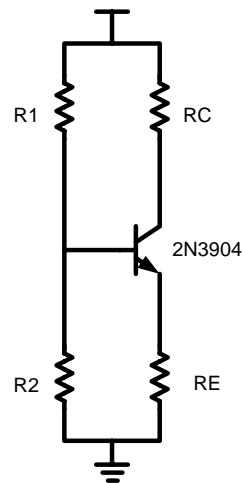


Figure 1. Circuit de polarisation simple

Ce circuit sert à polariser le transistor et lui assigner des conditions DC qui lui permettront de fonctionner en tant qu'amplificateur.

Nous allons commencer par ouvrir le logiciel. Double-cliquez sur l'icône qui est sur le poste de travail de l'ordinateur. Si il n'est pas là, allez dans

Démarrer→Programmes→Multisim 8→Multisim8

Vous verrez une interface graphique assez typique de Windows. Il y a 3 sections importantes à distinguer ici : la barre de droite contient des instruments de mesures virtuelles, la section en haut contient tous les menus et la section au milieu est là pour vous permettre de dessiner vos circuits.

Les étapes que nous allons suivre sont assez simples. Le but est de faire les choses suivantes :

- Trouver les composants et les placer dans la fenêtre du centre
- Connecter les composants
- Ajouter et connecter les sources et la masse
- Inclure, au besoin, les instruments de mesures
- Démarrer la simulation

Pour commencer, allons dans le menu principal dans la section PLACER→COMPOSANT. Une fenêtre devrait apparaître. Il y a plusieurs choses à voir dans cette fenêtre.

Dans la section GROUPE, vous choisissez le genre de composants que vous avez besoin. Une fois que c'est choisi, vous sélectionnez la FAMILLE. La colonne du milieu vous donne les valeurs. Les termes deviendront clairs quand vous l'aurez fait quelques fois. En ce qui concerne le reste, vous pouvez ignorer pour l'instant.

Pour l'instant, nous allons sélectionner des résistances.

Allez dans GROUP : BASIC, FAMILLE : RESISTOR et sortez 4 résistances ayant des valeurs de 1K, 1K, 5.1K et 5.1K. Cliquez sur ces éléments avec votre bouton de droite pour avoir accès aux fonctions pour renverser et tourner vos éléments. Ca vous permettra d'avoir un circuit plus facile à déboguer et plus plaisant à regarder. Utilisez les résistances de 1K pour R1 et R2 et les résistances 5.1K pour R_C et R_E.

Ajoutez maintenant un transistor NPN de type 2N3904. Pour ce faire, encore une fois, entrez dans la section PLACER→COMPOSANT. Maintenant, choisissez le groupe transistors, dans la famille BJT_NPN et trouvez le composant 2N3904.

Déplacez vos composants jusqu'à ce que ca ressemble a peu près a la figure 1. Tout ce qui manque maintenant, c'est la source et la masse.

Entrez dans la section PLACER→COMPOSANT. Dans le GROUPE, sélectionnez SOURCES, dans la FAMILLE, sélectionnez POWER_SOURCE et dans la section COMPOSANT, sélectionnez DC_POWER.

Vous ne reconnaissez probablement pas cet élément dans la figure 1. Cet élément, au fond, remplace le petit « T » que vous voyez au-dessus de R_C et R1. Connectez donc le + à ce nœud et le - au noeud de la masse. En passant, le + est le côté avec la longue barre horizontale. Changez la valeur de la tension en double-cliquant sur l'élément et en modifiant la valeur de tension à une valeur de 5V.

Nous avons presque fini. Il faut encore ajouter la masse. Revenez dans la section PLACER→COMPOSANT. Revenez encore dans le GROUPE POWER_SOURCE mais cette fois-ci, sélectionnez GROUND. Placez ce composant au noeud - de la source de tension.

Vous devriez obtenir quelque chose qui ressemble à la figure 2.

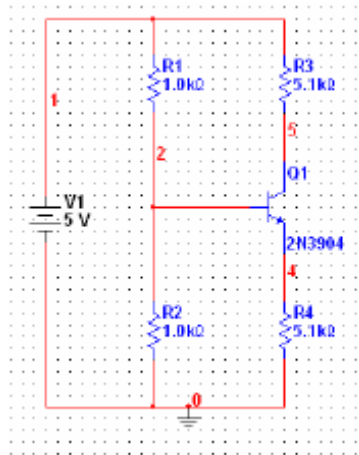


Figure 2. Circuit de polarisation sur *Multisim*

Nous pouvons commencer à simuler et obtenir des résultats préliminaires. Allez dans SIMULER→ANALYSES→POINT DE FONCTIONNEMENT CC. À gauche, vous allez voir tous les noeuds que vous avez dans votre circuit et à droite, ça va vous montrer les signaux que vous allez mesurer. Si il y a quelque chose dans la colonne de droite, effacez-le en cliquant dessus et en cliquant SUPPRIMER. Maintenant, ajoutez les noeuds qui vous intéressent. Les deux questions suivantes devraient vous aider à décider quelles tensions mesurer. Au cas où vous ne l'avez pas encore déduit, chaque nœud est représenté par un chiffre sur votre circuit. Dans la fenêtre d'analyse, le numéro assigné à chaque nœud est précédé d'un signe de dollar (\$).

1. Trouvez la valeur des tensions a la base, au collecteur et a l'émetteur?
2. Dans quelle région fonctionne ce transistor? Faites-en la preuve en montrant la polarisation des deux jonctions PN.
3. Nous savons que, pour augmenter le gain, on peut augmenter R_C . Cependant, il y a une limite après laquelle le gain n'augmente plus. Quelle cette valeur « limite » de R_C ? Quand cette limite est atteinte, qu'est-ce qui fait que le gain n'augmente plus?

Gardez votre résistance R_C à la valeur où le gain est a son maximum. Vous avez donc réussi à polariser un amplificateur en configuration émetteur commun. Tout ce qui reste a faire, c'est d'appliquer un signal et le voir amplifié à la sortie.

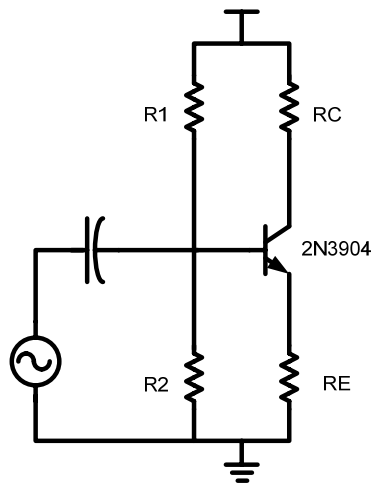


Figure 3. Circuit polarisé et stimulé

Pour ce laboratoire, vous allez utiliser un signal sinusoïdal de $20\mu\text{V}$ oscillant a 100KHz . Pour ajouter ce composant, allez (encore une fois) dans PLACER→COMPOSANT. Entrez ensuite dans SOURCES, SIGNAL VOLTAGE et AC_VOLTAGE. En même temps, ajoutez les capacités de couplage de $10\mu\text{F}$ a l'entrée. PLACER→COMPOSANT.

Dans le groupe BASIC, sélectionnez la FAMILLE CAPACITOR et la valeur de $10\mu\text{F}$. Connectez le entre la source petit signal et la base du transistor.

N'oubliez pas de changer la valeur du signal sinusoïdal en double cliquant dessus et en changeant la valeur de la tension a $10\mu\text{V}$ ($10\mu\text{V}$ pk veut dire que le signal va osciller de $-10\mu\text{V}$ a $+10\mu\text{V}$ pour une valeur totale de $20\mu\text{V}$) et en changeant la fréquence a 100KHz . Vous devriez obtenir un circuit qui ressemble à la figure 4.

4. Est-ce les valeurs de condensateurs de couplage et de découplage sont adéquats ? Justifiez.

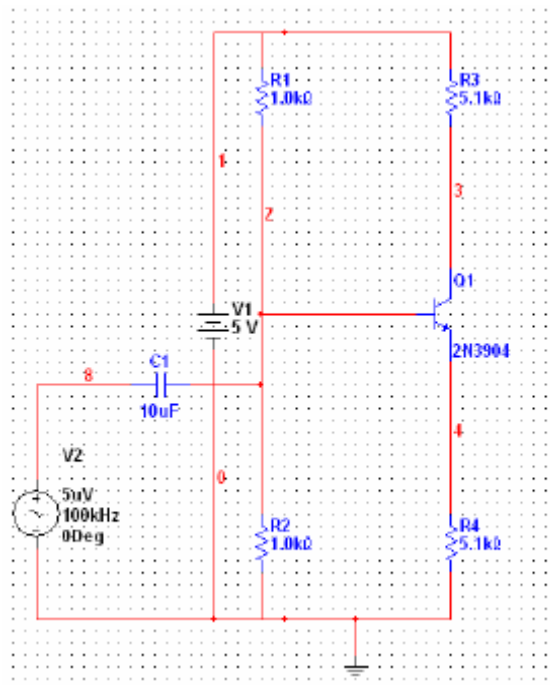


Figure 4. Circuit polarise et stimule dans Multisim

Il y a plusieurs façons d'observer les signaux. La méthode choisie pour le laboratoire est d'utiliser les oscilloscopes virtuels. Personnellement, je préfère celui de Tektronix (le dernier en bas à droite de la page). Pour s'en servir, il faut connecter les lignes 1, 2, 3 et/ou 4 aux tensions qu'on veut observer. Ensuite, il faut démarrer la simulation en sélectionnant SIMULER→EXÉCUTER. Pendant que ça roule, double-cliquez sur l'oscilloscope. Evidemment, il faut allumer l'oscilloscope (en bas à gauche) et lui donner une configuration de base en pesant sur « auto set » (en haut à droite). Ensuite, c'est à vous d'ajuster le VOLTAGE PAR DIVISION et les SECONDE PAR DIVISION. Je vous conseille aussi d'utiliser le couplage AC : cliquez sur le bouton MENU du canal que vous utilisez. Par exemple, celui du canal 1 est en jaune. Vous allez voir à gauche un genre de menu qui apparait. Dans la section COUPLAGE, par défaut, il est marqué CC. Changez-le à CA. Cette configuration vous permettra d'observer le signal sans vous préoccuper du niveau DC. La raison est que sans le couplage AC, si vous avez un grand

niveau DC, vous ne pourrez pas observer les petits changements qui se produisent. Ce n'est peut-être pas clair pour l'instant, mais quand vous aurez la chance de jouer avec, j'espère que vous comprendrez.

5. Observez le signal en sortie et estimez une valeur approximative du gain (le signal en entrée est de $20\mu\text{V}$). Si l'amplitude du signal est plus petite que la résolution de la fenêtre, vous ne pourrez pas le mesurer. Dans ce cas, indiquez-le-moi.

Observez la tension à l'émetteur du transistor.

6. Quel genre de signal voyez-vous? (forme et amplitude)

Ajoutez la capacité de découplage de $10\mu\text{F}$ entre l'émetteur et la masse et refaites la simulation. Observez encore une fois les signaux d'entrée et de sortie. Observez maintenant la tension à l'émetteur.

7. Quel est le nouveau gain? Comparez le signal que vous observez à l'émetteur avec le signal observé à la question 6. Si l'amplitude du signal est plus petite que la résolution de la fenêtre, indiquez-le simplement.

Changez maintenant l'amplitude du signal à l'entrée.

Mettez l'amplitude à 5mV et faites l'analyse transitoire. Vous devriez voir que votre signal ressemble beaucoup à un sinus. Allons examiner la qualité du signal en faisant un peu d'analyse en fréquences.

Entrez dans Simuler -> Analyses -> Analyse de Fourier

A côté de Résolution en Fréquences, cliquez sur Estimation.

A côté de TSTOP, cliquez sur Estimation.

Choisissez le nœud de sortie et commencez l'analyse. Dans les résultats, notez la valeur du Total Harmonic Distortion (THD). Ce pourcentage vous donne une idée du contenu harmonique qui se trouve dans votre signal. Rappelez-vous qu'un sinus idéal ne devrait pas avoir d'harmonique.

Refaites ces mêmes étapes pour des amplitudes du sinus de 10mV et de 50mV .

8. Quelles sont les valeurs de THD que vous avez obtenues?
9. Quelle conclusion peut-on tirer de cette expérience? « Si la tension à l'entrée est trop élevée, ... »

Vous savez que le gain de cette configuration est limité à cause de la valeur de R_C . En effet, le gain est presque proportionnel à la valeur de R_C . Pour augmenter ce gain, nous avons vu qu'il est possible de remplacer R_C avec une source de courant. Cette source, qui

idéalement a une résistance de sortie infinie, peut aider à augmenter le gain de l'amplificateur jusqu'à un maximum de r_o .

Remplacez la résistance R_C avec le miroir de courant montre à la figure 5. Pour ce miroir, utilisez le transistor PNP de type 2N3906. Le circuit final obtenu avec *Multisim* devrait ressembler à la figure 6.

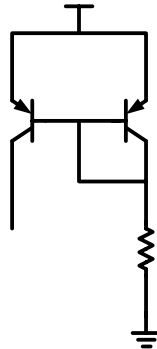


Figure 5. Miroir de courant simple avec transistors PNP

Nous voulons que le courant au collecteur avec ce miroir de courant soit égal au courant avec une charge résistive.

10. Quel est la valeur de ce courant? Déterminez la valeur de la résistance requise pour obtenir ce courant.
11. Trouvez le gain approximatif obtenu en utilisant cette méthode.

Faites bien attention. Le gain obtenu avec la charge active dépend de la région d'opération du transistor NPN et du transistor PNP. Il faut donc s'assurer que les deux transistors fonctionnent dans la région voulue.

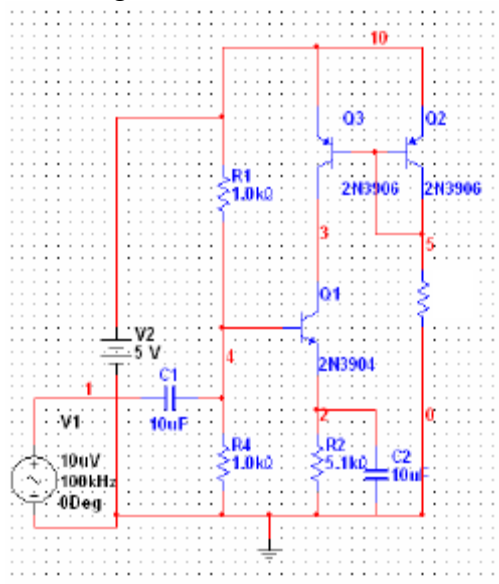


Figure 6. Montage avec miroir de courant

b) Prototypage

Pour cette deuxième partie du laboratoire, nous allons monter un prototype sur une plaquette de test. Le circuit à monter est présenté à la Figure 7.

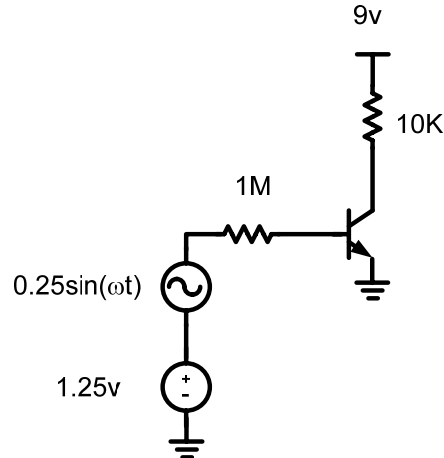


Figure 7. Circuit de l'amplificateur à prototyper

Commençons par faire l'analyse de ce circuit pour prédire comment il va se comporter.

Faites l'analyse DC de cette structure en utilisant $\beta=300$.

12. Trouvez V_C et I_C et assurez-vous que c'est dans la bonne région d'opération.
13. Calculez les paramètres petit-signal.
14. Trouvez le gain théorique de cette structure.
15. Quel nom donne-t-on à cette configuration d'amplificateur?

Montez ce circuit sur une plaquette de prototypage et mettez le sinus à 1KHz. Je vous encourage fortement à aller voir la fiche technique, ou « datasheet », des transistors. Vous trouverez beaucoup d'informations utiles incluant la description des pattes, le β (h_{fe}), le V_{be} , le V_{cesat} , les tensions et courants maximaux, etc. Ces fiches techniques se trouvent un peu partout sur Internet et une simple recherche Google pour 2N3904 ou 2N3906 vous amènera sûrement aux bons documents.

Pour accélérer vos démarches, voici la description des pattes qui est applicable pour les 2 transistors utilisés dans ce laboratoire :

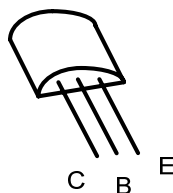


Figure 8. Description des pattes pour 2N3904 et 2N3906

16. Mesurez l'amplitude de sortie et comparez avec la valeur théorique.
17. Mesurez aussi le courant I_C et le courant I_B .
18. Avec ces valeurs, calculez la valeur « expérimentale » de β et comparez ca à la valeur de 300 que je vous ai dit de prendre.

On avait trouve dans le cours que l'amplitude du gain « intrinsèque » de l'amplificateur était de $g_m R_C$. Ca voudrait dire que, doubler la valeur du R_C nous donnerait un signal dont l'amplitude serait le double.

19. Mettez remplacez la résistance R_C par une résistance de 20K. Quelle est l'amplitude de sortie?

On a aussi dit au cours qu'on pouvait avoir un gain très élevé en remplaçant R_C par une source de courant. On va maintenant tenter de faire ca. Concevez un miroir de courant avec des PNP. Prenez la valeur de R dans ce miroir pour avoir le même courant que celui que vous aviez mesure précédemment.

20. Quelle est cette valeur de R?
21. Observez le signal de sortie et expliquez ce que vous voyez.

4. Rapport

Répondez aux questions qui ont été posées tout au long du document de laboratoire. Ajoutez quelques phrases, au besoin, pour justifier vos réponses. Ajoutez une section intitulée « Conclusions » a la fin de votre rapport. Dans cette section, vous devez expliquer le lien entre les différents aspects que nous avons explore dans le laboratoire. Expliquez la raison d'être des expériences qui vous ont été proposes (« On nous a demande d'ajouter X au circuit pour pouvoir augmenter Y puisque ca affecte Z de telle manière»). Dans la même section, je vous demanderais de me faire part de vos commentaires. N'hésitez pas a me faire des reproches : ca ne comptera pas dans la note.

5. Barème

| | |
|--|-----|
| 2 Points par question | /42 |
| 3 Points pour la section « Conclusions » | /3 |

6. Notes

- Les rapports de laboratoire devraient être moins de 3 pages (si possible).
- Même si elle ne compte que pour 3 points, j'aimerais que vous portiez une attention particulière à la conclusion. Demandez-vous pourquoi le document de

laboratoire a été rédigé de cette façon. Demandez-vous pourquoi on vous a demandé de faire certaines mesures et de faire certaines observations.