
AMPLIFICATION DE SIGNAUX

Niveau

Commentaires du jury

- 2017 : L'amplificateur opérationnel (AO) permet l'étude de systèmes d'amplification dans le contexte de l'instrumentation, dont l'étude peut être envisagée dans ce montage. Ce dernier comporte néanmoins de nombreux circuits internes de compensation, résultant en des limitations techniques qu'il faut connaître; ainsi si l'étude de circuits àAO pour l'amplification de signaux peut être abordée dans ce montage, d'autres circuits simples à bases de transistor(s) peuvent être également envisagés. D'autre part, de nombreux aspects des amplificateurs sont éludés, comme la distorsion, les impédances caractéristiques et le rendement. Commentaire de C. Cabart : on appréciera le revirement du jury, qui après avoir dit pendant 7 ans "l'AO n'est pas idéal", dit cette fois qu'il peut être abordé.
- 2015, 2016 : 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.

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

—

Table des matières

1	Caractéristique d'un transistor NPN (2N2222A)	2
1.1	$I_c = f(V_{CE})$	3
1.2	Tracé de la caractéristique : $I_C = f(I_B)$	4
1.3	Tracé de la caractéristique : $I_B = f(V_{BE})$	4
1.4	Petit signaux (a sauter?)	4
2	Montage a émetteur commun	4
2.1	Motivation	4
2.2	Gain	6
2.3	Impédances d'entrée et de sortie	6
2.4	Distorsion des signaux	7
3	Montage Push-pull	7
3.1	Optionnel : Correction de la distortion... voir TP	8
3.2	Bilan	8

Introduction

L'amplification de signaux est nécessaire dans beaucoup de situations du quotidien, notamment dans le traitement d'un signal issu d'un capteur. Prenons l'exemple d'un micro : le son entraîne un signal d'amplitude de l'ordre de la dizaine de millivolt, ce qui est insuffisant pour alimenter un haut parleur.

On introduit ce fil conducteur en alimentant un haut parleur par un GBF délivrant un signal de fréquence 500 Hz et d'amplitude 40 Vpp pour modéliser un micro... On entend rien....

Impédance : L'impédance d'un dipôle compare en régime sinusoïdal forcé l'intensité du courant qui traverse ce dipôle et la tension à ses bornes : $Z = \frac{u}{i}$ Pour un quadripôle (comme c'est le cas pour un amplificateur) il y

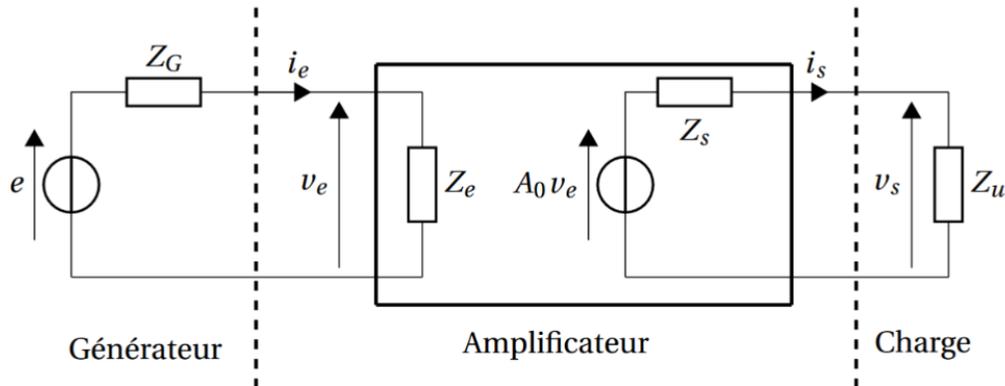


FIGURE 1 – Amplification : les caractéristiques. Si ce schéma est montré (ce qui aide pas mal pour comprendre quand même, il faut passer très vite dessus, le montage est long)

a deux impédances à prendre en compte : l'impédance d'entrée et de sortie. On a en plus un gain qui caractérise notre amplification.

1 Caractéristique d'un transistor NPN (2N2222A)

Dans son mode de fonctionnement linéaire, le transistor se comporte comme une source de courant I_C commandée par le courant I_B

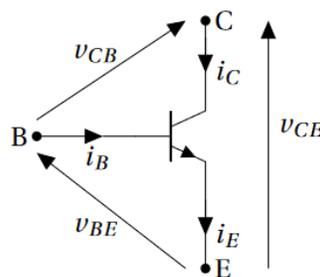


FIGURE 2 – Notre ami le transistor

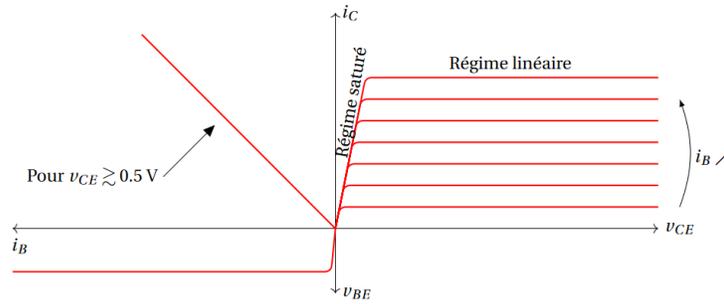


FIGURE 3 – Caractéristique : la pente vaut β dans le quadrant i_c i_b

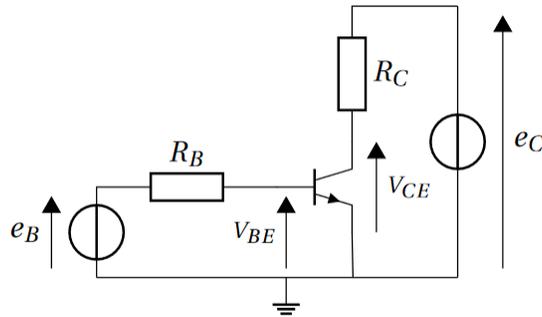


FIGURE 4 – Montage pour $I_c = f(V_{CE})$: $R_B = 100k$ et $R_C = 200\Omega$

1.1 $I_c = f(V_{CE})$

Facicule de TP page 33 :

On fait l'acquisition de plusieurs caractéristiques avec Latis pro $I_c = f(V_{CE})$.

Principe : On fixe e_B , cela fixe i_B car V_{BE} est une constante (on voit cela en observant la caractéristique dans le cadran bas gauche). On envoie ensuite une rampe de tension en e_C . On acquiert directement V_{CE} et on déduit $I_c = (e_C - V_{CE})/R_C$.

On peut faire cela une fois pour montrer le principe.

On automatise tout cela sur Latis pro : en imposant des paliers successifs de e_B et toujours des rampes de e_C "Eb=1+INT(100*rampe(0,10))" et "Ec=10*(100*rampe(0,10)-INT(100*rampe(0,10)))". Dans l'acquisition il faut également relever I_B via la résistance R_B .

Protocole pour que ça marche :

- écrire les commandes dans la feuille de calcul.
- Aller dans le menu des sorties de Latis-pro. Rendre les sorties inactives.
- Lancer une acquisition (1000 points pendant 1s) : cela initialise la liste Temps.
- Rendre les sorties actives dans le menu des sorties. Et décocher le mode GBF
- Relancer l'acquisition.

ON a donc un réseau de caractéristique

Effet Early : on observe que les paliers I_C en fonction de V_{CE} sont en fait légèrement croissants. C'est lié au fait que V_{CE} modifie l'épaisseur effective de la base, ce qui a pour effet d'augmenter le courant I_C

1.2 Tracé de la caractéristique : $I_C = f(I_B)$

On relève I_c pour chaque plateau des caractéristiques. Et on les traces en fonction des I_B correspondants. Ca c'est le principe. Concrètement on trace I_C en fonction de I_B sur latis pro, on observe des droites verticales qui s'arrêtent à une certaine hauteur. On relève la hauteur de chaque segment. L'incertitude est donné par l'épaisseur de la fin du segment.

On relève les points en les faisant passer sur regressi et une pente : c'est β .

1.3 Tracé de la caractéristique : $I_B = f(V_{BE})$

NON on ne fait pas cela. Dans le domaine étudié on observe globalement un constante (peut être l'égerment incliné... Mais peut d'intérêt ici car on ne polarise pas le transistor comme pour l'émetteur commun donc on ne remonte pas facilement à h_{11}

1.4 Petit signaux (a sauter ?)

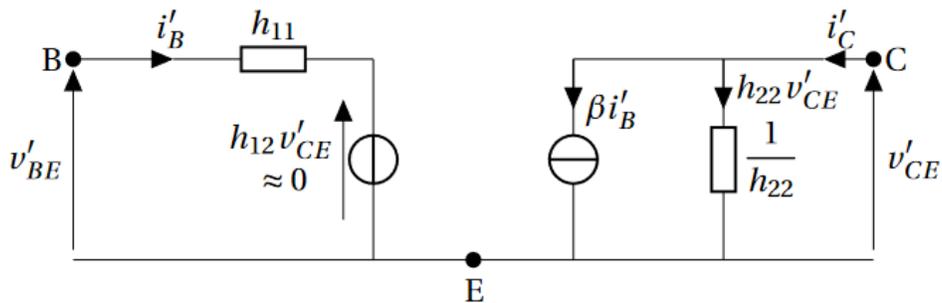


FIGURE 5 – Modèle petit signaux

Autour d'un point de polarisation, on peut, on a $x = X + \delta x$ avec X la valeur défini par le point de polarisation et δx les variations autour de ce points. On peut écrire :

$$\begin{pmatrix} \delta v_{BE} \\ \delta i_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ \beta & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta i_B \\ \delta v_{CE} \end{pmatrix} \quad (1)$$

En pratique, $1/h_{22}$ est grande devant la résistance de charge et elle n'intervient pas dans les montages courants. De plus le coefficient de réaction de la sortie sur l'entrée est négligeable. Aussi on réduit le système à :

$$\delta v_{BE} = h_{11} \delta v_B \quad \text{et} \quad \delta v_c = \beta \delta i_B$$

L'idée est la suivante, un signale en V_{BE} est convertit en courant i_B amplifié d'un facteur h_{11} convertie en i_c amplifié d'un facteur β puis converti en V_{CE} autour du point de polarisation.

On a caractérisé le transistor. On va l'insérer à présent dans le montage d'amplification le plus simple possible : le montage à émetteur commun.

2 Montage a émetteur commun

2.1 Motivation

On polarise le transistor grâce aux résistances. L'intérêt de polariser le transistor et que l'on fixe pour une tension d'entrée nulle la valeur de la tension moyenne en sortie (pont diviseur entre R_C et R_E). De plus les fluctuations

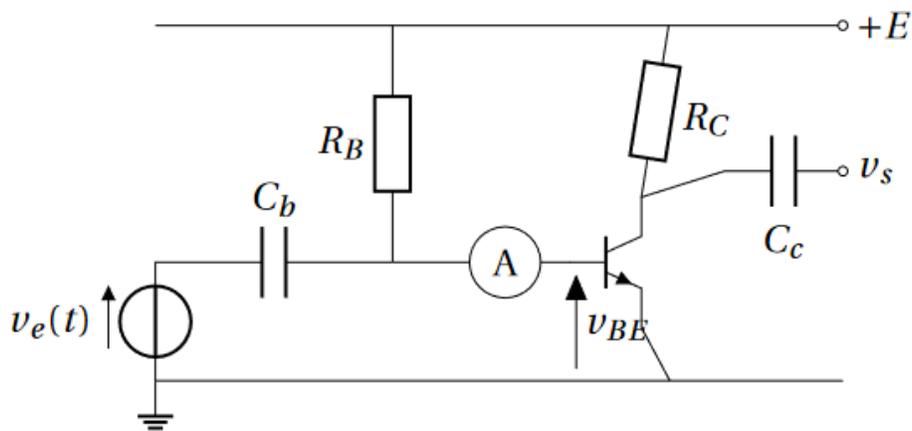


FIGURE 6 – Détermination de h_{11} autour du point de fonctionnement du systèmes suivant. $C_B = C_C = 10 \mu\text{F}$, $v_e < 60 \text{mV}$ à 1kHz et R_B tel que sans les capa et le générateur, $V_{CE} = 5\text{V}$ $R_c = 1\text{k}\Omega$ et $E = 10\text{V}$

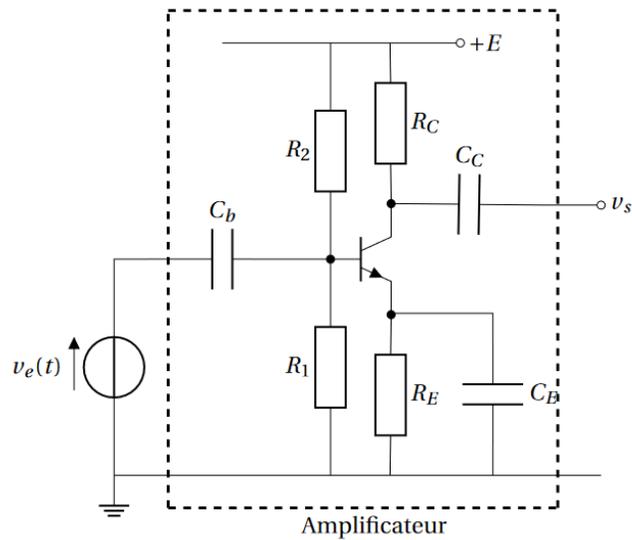


FIGURE 7 – Amplificateur emmeteur commun : ATTENTION!!! Utilisation de condensateurs électrochimiques, LE SENS EST IMPORTANT : Borne + du côté des tensions continues les plus élevées (ici du côté du transistor)!!!

autour de la tension d'entrées se traduiront par des fluctuations autour de la tension moyenne de sortie. Aussi en choisissant un point de polarisation autour de 5V pour V_{CE} on sait que l'on aura le maximum de variations possible. De plus ce montage particulier de 4 résistances permet de fixer entièrement le point de polarisation qui est alors moins sensible aux fluctuations thermiques.

Les capacités servent à découpler les tensions d'entrée et de sortie des tensions et courants de polarisation. La capacité C_b permet de ne pas prendre en compte la composante continue du GBF. C'est le cas si $\frac{1}{C_b\omega} \ll Z_e$. La capacité C_c sert à ce que seule la composante alternative ne sorte. Cela est vrai si $\frac{1}{C_c\omega} \ll Z_s$. La capacité C_e sert à faire disparaître la résistance R_e en signaux alternatif. En effet, R_e sert à polariser, mais dans le schéma petit signaux on veut l'enlever pour considérer l'émetteur à la masse. Cela est vrai si $\frac{1}{C_e\omega} \ll \frac{h_{11}}{\beta}$

On vérifie que les valeurs de V_{CE} et V_{BE} correspondent aux valeurs théoriques. Les formules sont dans le fascicule, les résistances à prendre aussi. On vérifie qu'on est bien sur une droite de charge dans les caractéristiques qu'on a tracé. On peut tracer la droite de charge dans le réseau de caractéristique pour montre

2.2 Gain

On a enfin un amplificateur, on va le caractériser.

On mesure le gain pour un signal de $f = 1\text{kHz}$ d'amplitude inférieure à 50 mV
 $G_0 = -\frac{R_C\beta}{h_{11}}$ On réalise ensuite un diagramme de Bode en amplitude : on relève le gain pour des fréquences d'entrées entre 1 Hz et quelques MHz)

On peut relever la bande passante à -3 dB. On attend un comportement passe bande à cause de :

- les capacités qu'on a rajouté font un filtrage passe haut.
- Le transistor est limité aux hautes fréquences. *Seule explication trouvée : la base se comporte comme un condensateur avec les ZCE et l'émetteur et le collecteur. Ca donne un comportement passe-base d'ordre 1 à haute fréquence. Source : ce lien.*

2.3 Impédances d'entrée et de sortie

Le principe est que de façon générale, si on délivre une tension u avec une résistance de sortie Z_s sur une charge R , alors la tension v au borne de la résistance est :

$$v = \frac{R}{R + Z_s} u$$

Impédance d'entrée : Méthode de la tension moitié :

On mesure la tension d'entrée avec et sans résistance supplémentaire en série du générateur. La résistance d'entrée est $R = R_{GBF} + Z_e$, alors $v_e = v_{e0}/2$

Résistance de sortie :

Même méthode : quand la tension est divisée par 2 on a $R = Z_s$

On remarque que l'on ne peut toujours pas alimenter notre haut parleur : c'est parce que la résistance de sortie de l'amplificateur est trop grande par rapport à la résistance de charge. En effet pour avoir une bonne transmission il faut que le facteur de transmission T soit proche de 1 :

$$T = \frac{P_{HP}}{P_{Ampli}} = \frac{V_{HP}^2/Z_{HP}}{V_S^2/Z_s}$$

On a déterminé le gain, les tensions d'entrée et de sortie : On a tout fait ? NON, il y a de la distorsion.

2.4 Distorsion des signaux

On fait la TF du signal de sortie et on constate qu'il y a des harmoniques supplémentaires. On peut se donner un critère en fonction de notre utilisation de distorsion adaptable ou non, par exemple en comparant l'intensité du fondamentale aux premières harmoniques. La formule du taux de distorsion est dans le fascicule.

Transition : On a vu que les transistors permettaient d'amplifier les courants (d'un facteur β) mais ceux uniquement si la tension est supérieure à 0.6V. Mais maintenant avec notre émetteur commun on a un signal de plus grande amplitude. Il ne reste plus qu'à adapter l'impédance en augmentant le gain en intensité.

3 Montage Push-pull

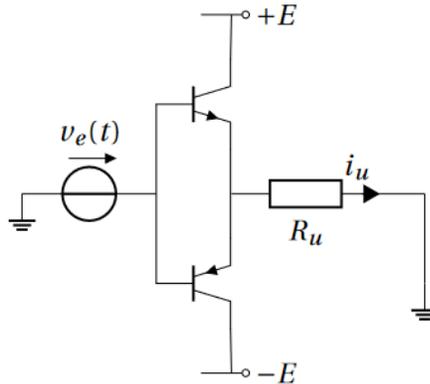


FIGURE 8 – Montage push pull R_u Utiliser un rhéostat

Pour comprendre le montage il faut considérer un demi pushpull :

- Si la tension d'entrée est inférieure à 0.6V toute les sorties sont nulles. C'est du au fait que l'intersection entre la droite de charge et la caractéristique $V_{BE} = f(I_B)$ donne un courant quasi nul.
- Si la la tension d'entrée est supérieure à 0.6V, le montage se comporte comme un ampli de gain 1 .
- Si la la tension d'entrée est trop grande ($>E-1V$). Le signal est coupé au dessus de cette valeur. Cela est du au fait que V_s est toujours inférieure à E.

On attends une impédance de sortie de $R_{GBF}/(\beta + 1)$, environ 2 ohms. Pourquoi c'est RGBF??

Rendement du Push pull : La puissance envoyée dans le système est :

$$P_{signal} + P_{alimentation} \simeq P_{alimentation} = 2EI_{moy}$$

La puissance utile délivrée est (lorsque $R_u = Z_s$) :

$$P_u = R_u I_u^2$$

On a donc un rendement de :

$$\eta = \frac{P_u}{P_{alimentation}}$$

On a $\eta_{max} = 78\%$

3.1 Optionnel : Correction de la distortion... voir TP

3.2 Bilan

Câbler le micro suivi de l'émetteur commun, suivie du haut parleur.