

LP 22 : Amplification de signaux

Clarisse Guichardant et Amélie Creux

29/11/13

Rapports de jury :

2013 : Il y a de trop nombreux aspects des amplificateurs qui sont étudiés : distorsion, impédance, rendement, en particulier. D'autre part, l'amplificateur opérationnel, comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. Un circuit simple à transistors pourrait être plus illustratif.

2012 : De nombreux aspects des amplificateurs sont étudiés : distorsion, impédance, rendement, en particulier.

2011 : De nombreux aspects des amplificateurs sont étudiés : distorsion, impédance, rendement, en particulier. D'autre part, l'amplificateur opérationnel, comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. Un circuit simple à transistors pourrait être plus illustratif.

2010 : De trop nombreux aspects des amplificateurs sont étudiés : distorsion, impédance, rendement, en particulier. D'autre part, l'amplificateur opérationnel, comportant de nombreux circuits internes de compensation, n'est pas l'objet idéal pour aborder ce montage. Un circuit simple à transistors pourrait être plus illustratif.

2009 : Les notions d'impédance et de rendement sont trop souvent étudiées.

Bibliographie :

Expériences d'électronique, R. Duffait J.P. Lievre

Introduction à l'électronique, J-M Donnini, L. Quaranta

Table des matières

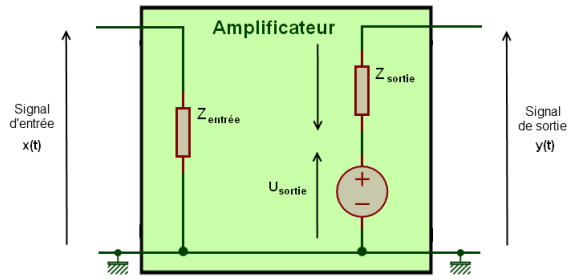
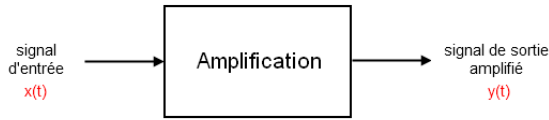
1	Le transistor bipolaire	2
1.1	Tracé des caractéristiques	2
1.1.1	$I_C = f(V_{CE})$ à I_B fixé	3
1.1.2	$I_C = f(I_B)$ à V_{CE} fixé	3
1.1.3	$I_B = f(V_{BE})$ à V_{CE} fixé	4
1.2	Caractéristiques du transistor	4
2	Montage émetteur commun	5
2.1	Point de fonctionnement	5
2.2	Amplification	6
3	montage push pull	7
3.1	Montage de base	7
3.2	Correction de la distorsion : diodes de polarisation	8

Introduction

Avant de commencer ce montage, nous devons tout d'abord définir ce qu'est l'amplification. Un amplificateur est en général modélisé par un quadripôle dans lequel entre un signal à amplifier et qui transmet un signal amplifié. On peut amplifier en tension ou en courant, et on fait alors une amplification en puissance. Pour avoir un bon amplificateur, il faut que l'impédance d'entrée soit grande afin de ne pas perdre de la puissance ($P_e = \frac{V_e^2}{Z_e}$), et que

l'impédance de sortie soit petite puisque nous souhaitons obtenir un signal amplifié ($P_s = \frac{V_s^2}{Z_s}$).

Un amplificateur est caractérisé par les valeurs des amplifications :



- en tension : $\underline{A_v} = \frac{\underline{V_S}}{\underline{V_E}}$

- en courant : $\underline{A_i} = \frac{\underline{I_S}}{\underline{I_E}}$

- en puissance : $\underline{A_P} = \frac{Re(\underline{V_S I_S})}{Re(\underline{V_E I_E})}$

qui donnent les gains correspondant $G_V = 20\log|\underline{A_V}|$, $G_I = 20\log|\underline{A_I}|$ et $G_P = 10\log A_P$

Je vais commencer ce montage avec l'expérience suivante : j'ai relié un microphone à un haut-parleur, et on aimerait obtenir le son de ma voix à la sortie du haut parleur. Ici aucun son ne sort. Ceci illustre la nécessité d'amplifier le signal avant de l'envoyer dans le haut parleur.

Expérience introductive : micro + haut parleur : aucun signal

Outre cet exemple, l'amplification est employée couramment dans la vie de tous les jours, que ce soit dans l'utilisation d'un home cinéma, ou en téléphonie. Les signaux électriques recueillis par les capteurs sont généralement de faibles tension et puissance, il est donc nécessaire de les amplifier avant la sortie de la chaîne électronique.

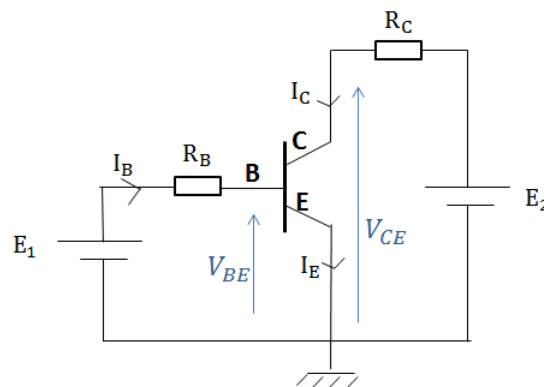
L'objectif de ce montage est l'étude de l'amplification avec les transistors bipolaires. A travers ces composants, nous verrons comment il est possible d'amplifier en tension ou en courant.

1 Le transistor bipolaire

Ce composant est la base de l'amplification et sera utilisé tout au long de ce montage, nous allons alors commencer par étudier ses caractéristiques (ie comment varient les courants et les tensions) qui nous seront utiles pour la suite.

1.1 Tracé des caractéristiques

On réalise le montage suivant :



transistor utilisé : 2N2222 (NPN) , $P = 0.5 \text{ W}$ (doc)

pour E_1 ou E_2 : module HAMEG 0-20V ou rampe de la carte d'acquisition (suivant la caractéristique voulue)

$R_B = 20 \text{ k}\Omega$ (mesure précise avec un multimètre : $R_B = 20.71 \pm 0.01 \text{ k}\Omega$)

$R_C = 200 \text{ k}\Omega$ (mesure précise avec un multimètre : $R_C = 227.8 \pm 0.2 \Omega$)

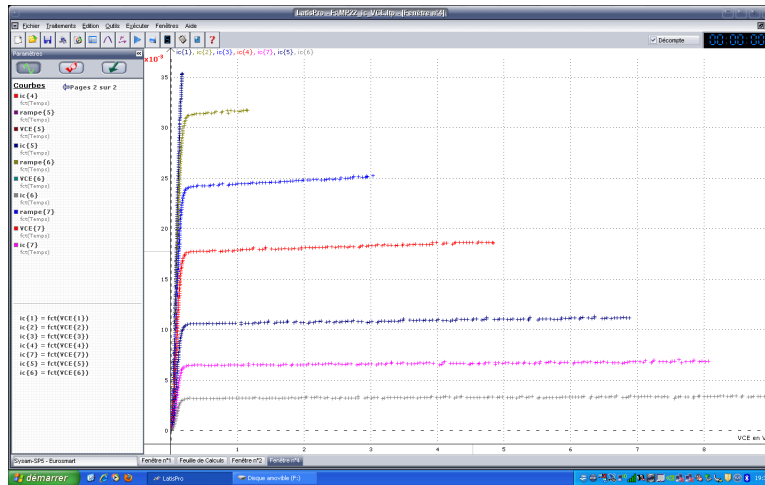
1.1.1 $I_C = f(V_{CE})$ à I_B fixé

Rampe sur E_2 et module HAMEG pour E_1

On fixe la valeur de E_1 (donc on fixe la valeur de I_B) et on note le courant correspondant I_B en plaçant un voltmètre aux bornes de R_B .

On mesure sur la carte d'acquisition (latis pro) V_{CE} et E_2 et on trace $I_C = \frac{U_{R_C}}{R_C} = \frac{E_2 - V_{CE}}{R_C}$ en fonction de V_{CE} (on mesure E_2 et non pas V_{R_C} pour obtenir I_2 pour respecter la masse).

On a répété l'opération pour d'autres valeurs de I_B (donc en changeant la valeur de E_1) et on obtient les caractéristiques suivante :



Sur latis pro : sortie active, rampe (0-10V), fréquence 1

acquisition : 200 points, $T_e = 5 \text{ ms}$ et $total = 1 \text{ s}$

tracer une caractéristique en direct : $E_1 = 2.5 \text{ V}$ mesurer $U_{R_B} = \pm V$ et $I_B = \pm \mu A$

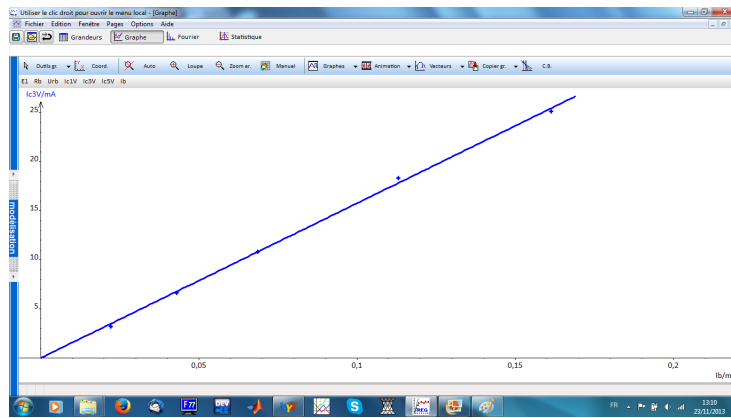
On remarque sur ces caractéristiques différents régimes : le régime saturé, le régime bloqué et le régime linéaire.

1.1.2 $I_C = f(I_B)$ à V_{CE} fixé

A partir des caractéristiques précédentes, on peut associer une valeur de I_C et une valeur de I_B à V_{CE} constant : ceci donnerait une autre courbe caractéristique à V_{CE} constant. On remarque sur le tracé des caractéristiques la présence d'un plateau, la pente étant quasiment nulle, on peut considérer que la valeur de I_C associée à une valeur de I_B est la même quelque soit la valeur de V_{CE} contenue dans le plateau.

A partir de la caractéristique précédente, dont le I_B a été déterminé, on prend les valeurs extrêmes du plateau, on obtient $I_C = \pm \text{mA}$.

Pour l'ensemble des courbes, la caractéristique obtenue est représentée dans la figure suivante :



Un ajustement linéaire nous donne la valeur de β tel que $I_C = \beta I_B$: $\beta = 153 \pm 4$

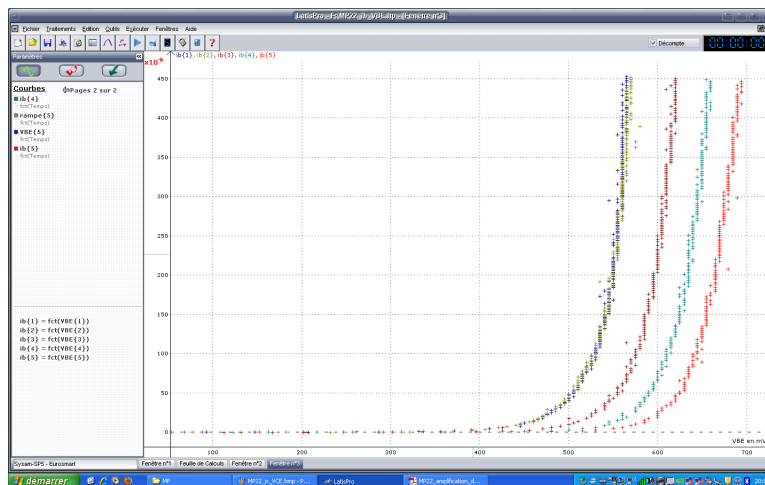
1.1.3 $I_B = f(V_{BE})$ à V_{CE} fixé

Rampe sur E_1 et module HAMEG pour E_2 .

On cherche à avoir V_{CE} fixé. Lorsque E_1 varie, I_B varie, donc I_C également, ainsi on observe une variation de U_{RB} et donc de V_{CE} . Pour obtenir V_{CE} fixe, on enlève la résistance R_C . La valeur de V_{CE} est alors imposée par E_2 .

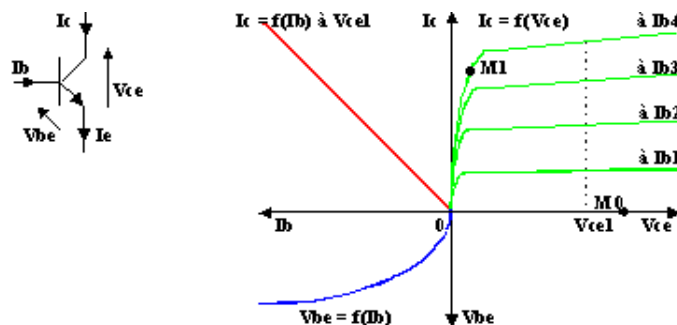
On fixe alors la valeur de E_2 et on mesure les tensions V_{BE} et E_1 . I_B est alors obtenu par la relation : $I_B = \frac{U_{RB}}{R_B} = \frac{E_1 - V_{BE}}{R_B}$

Les courbes obtenues pour différentes valeurs de E_2 (donc de V_{CE}) sont les suivantes :

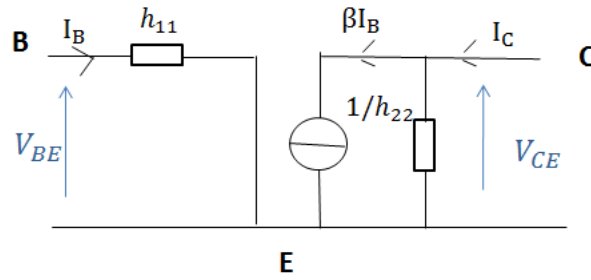


1.2 Caractéristiques du transistor

On a alors les caractéristiques du transistor qui peuvent être représentées de la façon suivante :



On peut alors représenter le transistor bipolaire par un schéma équivalent :



Les paramètres hybrides du transistor sont définis comme $h_{11} = \frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B}$ et $h_{22} = \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}}$ et correspondent donc aux pentes de $V_{BE} = f(I_B)$ et $I_C = f(V_{CE})$. Ces paramètres dépendent du point de fonctionnement considéré. Il faut alors déterminer le point de fonctionnement dans lequel le transistor sera utilisé, pour ensuite déterminer la valeur de ces paramètres.

Transition : On a mesuré les différentes caractéristiques du transistor 2N2222. On va maintenant l'utiliser dans un montage amplificateur : le montage émetteur commun.

2 Montage émetteur commun

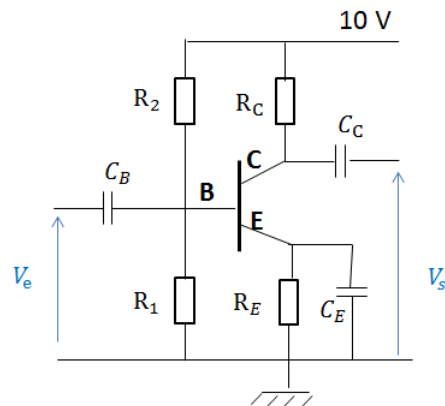
Émetteur Commun = potentiel fixe au niveau de l'émetteur

Le montage émetteur commun permet d'avoir un gain en tension élevé.

2.1 Point de fonctionnement

Il s'agit tout d'abord de polariser le transistor et choisir un point de fonctionnement. Ce dernier est obtenu seulement avec l'alimentation continue (sans appliquer le signal sinusoïdal à amplifier) et définit la classe de l'amplification. Pour un amplificateur de classe A, le point de fonctionnement est choisi sur la droite de charge, de façon à ce qu'il n'atteigne pas le régime saturé ou bloqué du transistor. Le point de fonctionnement doit donc être choisi dans le régime linéaire du transistor. C'est ce que nous cherchons à obtenir dans cette partie. Les composants ont été choisis de façon à se trouver dans le régime linéaire du transistor, tout en permettant l'amplification et en respectant la limitation maximale du transistor en puissance.

Le montage suivant permet d'avoir un point de fonctionnement stable, notamment une bonne stabilisation thermique (montage résistance d'émetteur découplé et pont de base) :



valeur des composants :

$$R_1 = 2.028 \pm 0.003 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 8.163 \pm 0.006 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = 207.3 \pm 0.2 \text{ }\Omega$$

$$R_C = 801 \pm 2 \text{ }\Omega$$

$$C_B = 95 \pm 1 \mu F$$

$$C_C = 5.0 \pm 0.1 \mu F$$

$$C_E = 985 \pm 15 \mu F$$

On trouve alors le point de fonctionnement sans appliquer de tension V_e mais seulement la tension continue de 10 V.

$$i_C = 6.29 \pm 0.02 \text{ mA (dans la branche de } R_C \text{)}$$

$$V_{CE} = 3.71 \pm 0.03 \text{ V.}$$

D'après les caractéristiques du transistor obtenues dans la partie précédente, on est bien dans le régime statique du transistor. on valide donc ce point de fonctionnement pour la suite. On se trouve bien en classe A.

Le point de polarisation étant maintenant défini, on peut donner les valeurs de h_{11} et h_{22} en mesurant les pentes des courbes sur ce point de fonctionnement :

On trouve :

$$h_{11} = 770 \pm 30 \Omega$$

$$h_{22} = (50 \pm 15) \times 10^{-6} \Omega^{-1}$$

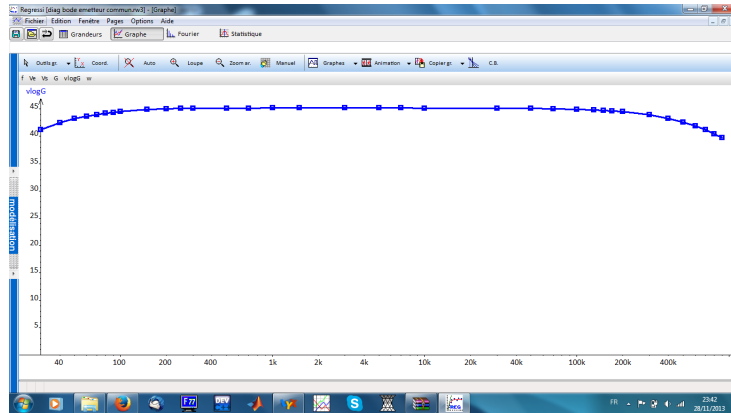
2.2 Amplification

On met un signal sinusoïdal de 1kHz en entrée et on observe V_e et V_s sur l'oscilloscope. Le signal d'entrée doit être de très faible amplitude (20mV) pour avoir une tension de sortie sinusoïdale amplifiée (600mV). En petits signaux on observe donc bien une amplification. En grands signaux, le signal de sortie est déformé : c'est la distorsion. Le transistor est alors en saturation et n'est plus linéaire.

manip : observer la distorsion et le régime linéaire

Gain

On peut étudier l'amplification obtenue plus précisément en mesurant le gain, $G = \frac{V_s}{V_e}$, en fonction de la fréquence du signal d'entrée. On se place en petits signaux de façon à se trouver dans le régime linéaire du transistor. On obtient le graphique suivant :



Ce montage d'amplification se comporte comme un filtre passe bande. Sur le plateau $20\log G = 45.14 \pm 0.02 \text{ dB}$ (ajustement avec fonction constante), soit $G = 181 \pm 1$.

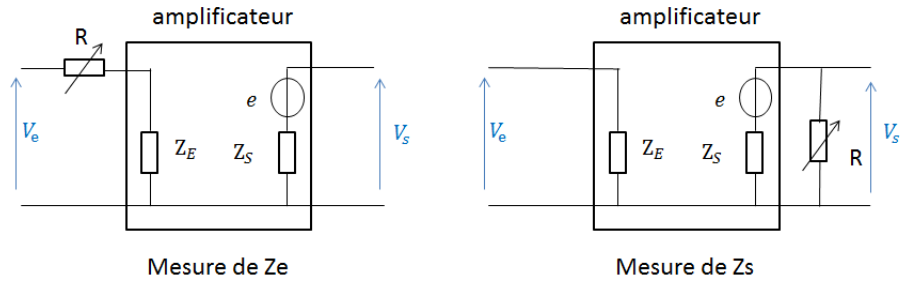
Théoriquement, on a $|G_{th}| = \frac{\beta R_C}{h_{11}} = 159$ et $\Delta G_{th} = G_{th} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \beta}{\beta}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_C}{R_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h_{11}}{h_{11}}\right)^2} = 7$

La bande passante est l'ensemble des pulsations tel que $G(\omega) \geq \frac{G_{max}}{\sqrt{2}}$, ce qui correspond sur l'échelle logarithmique $G_{dB} \geq G_{max,dB} - 3\text{dB}$.

Quand l'égalité est atteinte, on obtient les fréquences de coupure. Dans notre cas, on a $f_{c1} = 36.715 \pm 0.135 \text{ Hz}$ et $f_{c2} = 601.35 \pm 2.45 \text{ kHz}$ (avec le réticule)

manip : se placer à 20kHz, par exemple, et mesurer V_e , V_s , G et les deux fréquences de coupure.

Impédances d'entrée et de sortie



Pour mesurer Z_e , on place une résistance variable à l'entrée de l'amplification. On mesure tout d'abord V_s lorsque $R=0$: $V_{s0} = 3.25 \pm 0.03$. On fait varier la valeur de la résistance, lorsque $V_s = \frac{V_{s0}}{2} = 1.625$, la valeur de R nous donne la valeur de l'impédance d'entrée à la résistance du générateur près : $R + R_g = Z_e = 645 \pm 50 \pm 5 \Omega = 695 \pm 5 \Omega$.

Pour mesurer Z_s , on place la résistance variable à la sortie de l'amplification. On mesure tout d'abord V_s lorsque $R=\infty$: $V_{s\infty} = 3.22 \pm 0.03$. On fait varier la valeur de la résistance, lorsque $V_s = \frac{V_{s\infty}}{2} = 1.61$, la valeur de R nous donne la valeur de l'impédance de sortie : $R = Z_s = 755 \pm 5 \Omega$.

Les valeurs théoriques sont $Z_{e,th} = h_{11} \parallel R_1 \parallel R_2 = \frac{h_{11}R_1R_2}{R_1R_2 + h_{11}R_2 + h_{11}R_1} = 703$ et $Z_{s,th} = R_C \parallel \frac{1}{h_{22}} = \frac{R_C}{1 + h_{22}R_C} = 770$. On retrouve donc bien le bon ordre de grandeur.

manip : Mesurer Z_e et Z_s

manip : on branche le micro + le montage émetteur commun sur le haut parleur : ça ne fonctionne toujours pas !

Transition : L'amplification ne peut toujours pas être faite à ce stade. En fait l'impédance de sortie de l'émetteur commun est trop élevée et ne permet pas une amplification en puissance. Il ne peut pas être utilisé comme étage de puissance final (impédance d'entrée du haut parleur : quelques ohms).

On va alors passer au montage push pull qui a aussi la fonction d'amplifier en puissance et qui a une impédance de sortie plus faible.

3 montage push pull

amplification en puissance + adaptation d'impédances

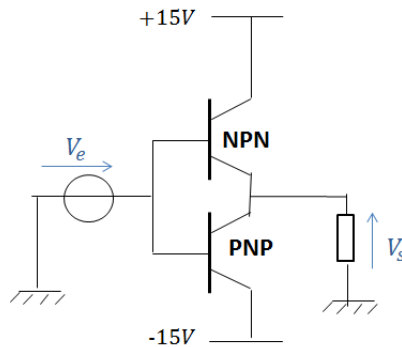
Le montage push pull consiste en l'utilisation de deux transistors NPN et PNP qui fonctionnent de façon alternée.

3.1 Montage de base

On réalise le montage suivant (plaquette, déjà montée), que l'on alimente en $\pm 15V$. On fait entrer une tension sinusoïdale (environ 3V) et on observe le signal en sortie aux bornes d'une ampoule ($U=6V$, $I=0.45A$, vérifier qu'on ne dépasse pas trop ces valeurs avec l'oscilloscope et un ampèremètre). Il est à noter, que le gain en tension est d'environ 1 (en réalité $V_s = V_e - 0.6V$) mais que l'amplification en courant est importante. Nous nous situons à la sortie d'une chaîne d'amplification, il faut donc faire attention aux valeurs des puissances atteintes et ne pas dépasser les limites des appareils et composants. À l'oscilloscope, on observe une distorsion du signal de sortie. On peut remarquer que lorsque la tension d'entrée est comprise entre -0.6 et +0.6V, la tension en sortie est nulle, chaque transistor est bloqué. Au delà, lorsqu'un transistor est passant, l'autre est bloqué, ce qui donne un bon rendement à ce montage. Cet amplificateur est en classe C.

On peut baisser la fréquence de la tension d'entrée (quelques Hertz) et observer l'éclairement et l'extinction de l'ampoule, en accord avec le signal observé à l'oscilloscope.

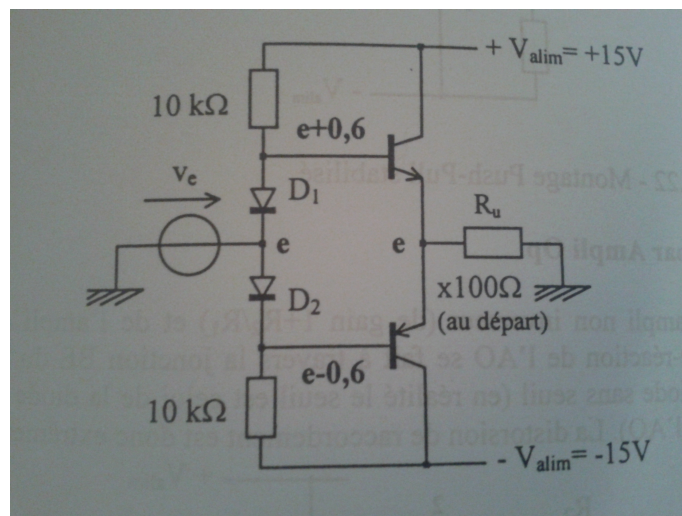
manip : observer les distorsions, observer l'éclairement de l'ampoule à plus faible fréquence.



Nous pouvons alors retenter notre expérience d'amplification avec le micro et le haut parleur, en passant par les montages émetteur commun et push pull. On entend bien un signal amplifié, mais pas très "propre" : c'est l'effet des distorsions.

3.2 Correction de la distorsion : diodes de polarisation

Pour corriger l'effet des distorsions, on utilise le montage de polarisation par diodes (plaquette, déjà montée), on est alors dans un montage de classe B. Il ne faut pas dépasser 2V pour l'amplitude du signal d'entrée (se mettre vers 1.8 et ne pas mettre de résistances supplémentaires sur la boîte mais un fil). A l'oscilloscope, les distorsions ont diminué et le son est beaucoup plus net.



Conclusion

Nous avons vu à travers ce montage deux types d'amplification : une amplification en tension avec le montage émetteur commun suivi d'une amplification en puissance avec le montage push pull.

Nous avons discuté plusieurs aspects de l'amplification : le gain, les impédances d'entrée et de sortie, la distorsion ...

Les transistors sont également utilisés dans des montages plus complexes et créant ainsi des composants comme l'amplificateur opérationnel.