

MP 25 Amplification de signaux

Nelly ICETA et Thibault HAUVER

Bibliographie :

- Duffait : Exp. d'elec
- Donnemi et Quenanta : introducⁿ à l'elec
- Aubert : dictionnaire de physique expérimentale (III)

Plan : I] Transistor bipolaire

- 1) Tracé de $I_c = f(V_{ce})$
- 2) Tracé de $I_c = f(I_B)$
- 3) Tracé de $V_{BE} = f(I_B)$
- 4) Détermination des paramètres hybrides

II] Le montage émetteur commun

- 1) Linéarité de l'amplification à "petits signaux"
- 2) Mesure des paramètres hybrides au point de fonctionnement
- 3) Gain en tension
- 4) Impédances d'entrée et de sortie
- 5) Rendement

III] Le montage push pull

- 1) Montage aux distorsions
- 2) Push Pull corrigé
- 3) Montage Recul partiel

15.7.1 Commentaires extraits des rapports de jury

[2010] "De trop nombreux aspects des amplificateurs sont éludés : 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 éludées."

[2008] "La limite de linéarité de l'amplificateur opérationnel n'a pas pour seule origine la saturation en tension."

[2007] "La notion d'impédance d'entrée et d'impédance de sortie des amplificateurs doit être abordée."

Intro : Que ce soit dans l'air, avec une onde sonore, dans une fibre optique avec un signal lumineux ou dans un câble électrique, les signaux envoyés subissent des pertes. Il est donc nécessaire, pour ne pas perdre l'information envoyée, d'amplifier ces signaux.

Mais l'impédance d'un instrument peut également nécessiter l'amplification du signal qui lui est envoyé. C'est ce à quoi nous nous intéressons dans ce montage, avec le système micro + haut-parleur.

MANIP 1 : micro branché directement sur le haut-parleur
 → aucun signal

⇒ nécessité d'amplifier le signal du micro avant de l'envoyer dans le haut-parleur.

⚠ Les micros avec les boutons ON/OFF possèdent 1 pile et ont donc déjà un système amplificateur.

I] Le transistor bipolaire

Le transistor bipolaire est à la base de l'amplification. Nous allons tout d'abord étudier ses caractéristiques par paires :

- le polariser convenablement par la suite
- disposer de grandeurs caractéristiques que l'on pourra utiliser pour comparer les valeurs théoriques et les mesures faites par la suite.

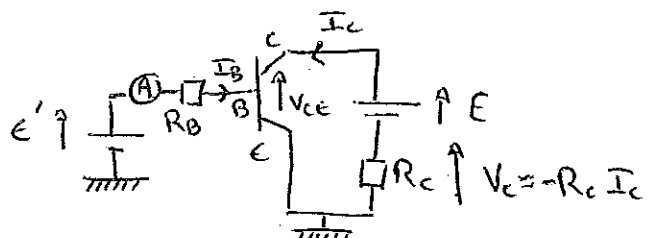
E et E' : modules HAMEG 0-20V

1.) Tracé de $I_C = f(V_{CE})$

$$R_B = 20 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 200 \Omega$$

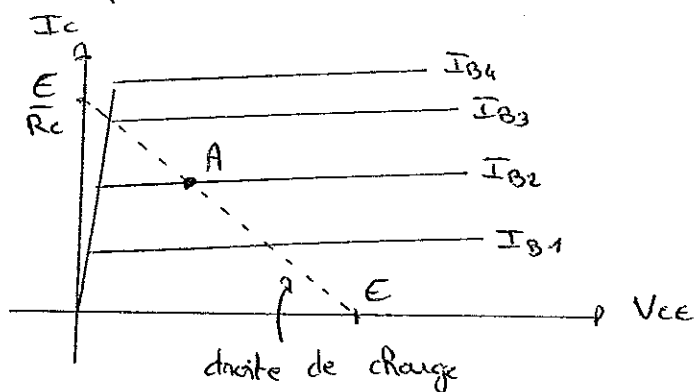
Transistor 2N2222 (NPN)



- On fixe E' (qui fixe I_B)
- À I_B constant, on fait varier E pour faire varier V_{CE} / I_C
- en SYNCHRONIE on enregistre V_{CE} et $V_C = -R_C I_C$
et on trace $I_C = -V_C / R_C$ en fonction de V_{CE} ,
pour plusieurs valeurs de I_B (typique⁺ entre $0 - 200 \mu A$)

⚠ Bien relever I_B à l'ampèremètre à chaque fois

⚠ SYNCHRONIE saturée à $10V$ donc il ne faut pas trop augmenter E pour pas que V_{CE} dépasse $10V$
(sinon il faut faire 1 pg pour éliminer les points qui n'ont pas de sens...)



A = point de fonctionnement

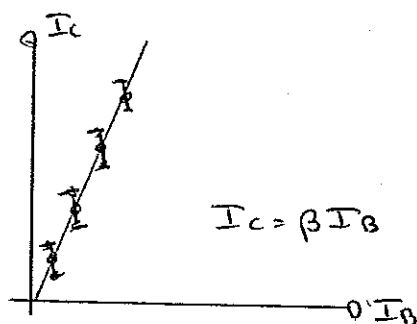
à I_B fixé (ex I_{B2}), le point A balaye la courbe $I_C = f(V_{CE})$
lorsque E varie

↳ à faire en préparation

2.) Tracé de $I_C = f(I_B)$

Pour chaque I_B du graphique précédent, on relève "la" valeur de plateau correspondant et on trace $I_C = f(I_B)$

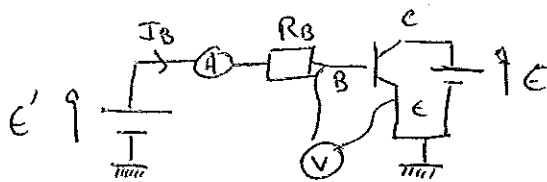
Rq: Le fait que le plateau ait 1 pente peut permettre de donner des incertitudes à nos mesures.



on trace

$\beta =$

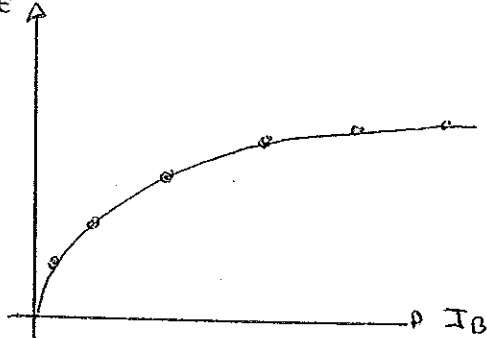
3.) Tracé de $V_{BE} = f(I_B)$



on a enlevé R_C pour fixer
 $V_{CE} = E$

(A) à ne pas quitter le transistor)

on faisant varier E' , on relève point par point I_B et V_{BE}



(à faire en préparation aussi)

4.) Détermination des paramètres hybrides

Pour déterminer $R_{11} = \frac{\partial V_{BE}}{\partial I_B}$ et $R_{22} = \frac{\partial V_{CE}}{\partial I_C}$, il faut

connaître le point de fonctionnement du montage, pour savoir où calculer la tangente.

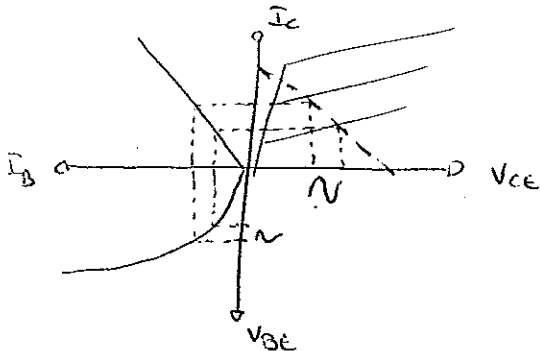
→ on fera donc cette mesure après avoir polarisé le montage émetteur commun

CP: intérêt du transistor pour amplifier

→ on passe de V_{BE} à V_{CE} en multipliant à 1 moment par β

on $\beta \sim 100$ à 200

⇒ fort "gain"

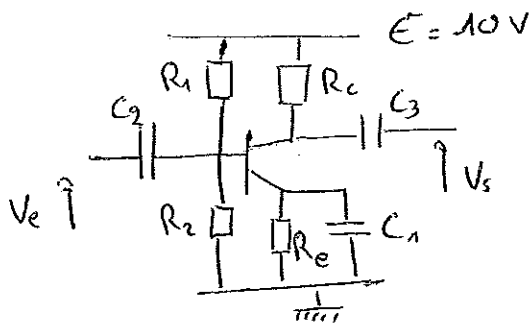


De plus, la charge a un coefficient < 0

→ déphasage de π induit

II] Le montage émetteur commun

(5)



$$\begin{aligned} R_1 &= 8,2 \text{ k}\Omega & R_2 &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_c &= 820 \Omega & R_e &= 200 \Omega \\ C_1 &= 1 \text{ mF} & C_2 &= 1 \text{ mF} \\ C_3 &= 1 \mu\text{F} \end{aligned}$$

garder le même transistor que précédemment !

Le montage émetteur commun est 1 amplificateur de classe A

(Le point de repos est choisi sur la droite de charge de sorte qu'en régime variable, le point de fonctionnement instantané n'atteigne ni le blocage, ni la saturation du transistor)

1) Linéarité de l'amplification à "petits signaux"

Pour une tension d'entrée sinusoïdale de 10 mV (c'est le plus petit qu'on peut faire avec les AGILENT), on a bien un signal sinusoïdal amplifié en sortie

→ peut se vérifier avec 1 FFT à l'oscille

MANIP : envoyer 1 signal de 1 kHz et augmenter l'amplitude
→ on observe 1 distorsion du signal de sortie

explications possibles : - non linéarité
- saturation de l'amplificateur

2) Mesure des paramètres hybrides au point de fonctionnement

Après avoir polarisé, on mesure I_c et V_{ce} et on détermine les tangentes nécessaires aux points considérés (mesures sans excitation d'entrée)

$I_c =$

$V_{ce} =$

$R_{in} =$

$R_{out} =$

3) Gain en tension

(6)

On trace le diagramme de Bode du gain en fonction de la fréquence

MANIP: faire 1 point en utilisant les mesures de l'oscillo

fréquences de coupure:

$$\begin{array}{|l} \omega_1 = \\ \omega_2 = \end{array}$$

en régime "linéaire":

$$G_{ap} =$$

$$\text{or } G_{th} \approx -\beta \frac{R_c}{R_{in}} \approx$$

$$\frac{\Delta G_{th}}{G_{th}} \approx \frac{\Delta \beta}{\beta} + \frac{\Delta R_{in}}{R_{in}}$$

• origine des fréquences de coupure:

- pour ω_1 (BF): C_2 et C_3 deviennent trop petits

- pour ω_2 (HF): à HF $G = \frac{jR_1 C_{in} \omega - \beta R_2 / R_{in}}{1 + j R_2 C_{in} \omega} \sim 1$ (effet Miller)

• G dépend du point de polarisation

Impédances d'entrée et de sortie de l'amplificateur

On utilise la méthode des tensions de sortie

$$Z_{e,exp} =$$

$$\text{or } Z_{e,th} = R_{in} \parallel R_1 \parallel R_2 \approx$$

$$Z_{s,exp} =$$

$$\text{or } Z_{s,th} = R_c \parallel \frac{1}{h_{22}} =$$

Les impédances sont bien réelles car elle ne dépendent pas de la fréquence

Rendement (facultatif)

on mesure I délivré par l'alimentation (A)

on mesure U_{eff} dans 1 résistance de charge $\sim 30 \Omega = R$ (V)

$$P_u = \frac{U_{eff}^2}{R}$$

$$P_0 = E \times I$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_0} =$$

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} \approx 2 \frac{\Delta U_{eff}}{U_{eff}} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta E}{E} + \frac{\Delta I}{I}$$

En conclusion, l'amplificateur à émetteur commun présente un ⑦
fort gain en tension.

Cependant, l'impédance d'entrée est trop faible (on veut Z_e grande car $P_{\text{perdue en entrée}}: V_e^2/Z_e$), et l'impédance de sortie trop grande (on veut Z_s petite pour avoir 1 forte puissance V_s^2/Z_s en sortie).
De plus, le rendement est faible car une grande partie de la puissance fournie par l'alimentation sert à maintenir la polarisation du transistor (classe A).

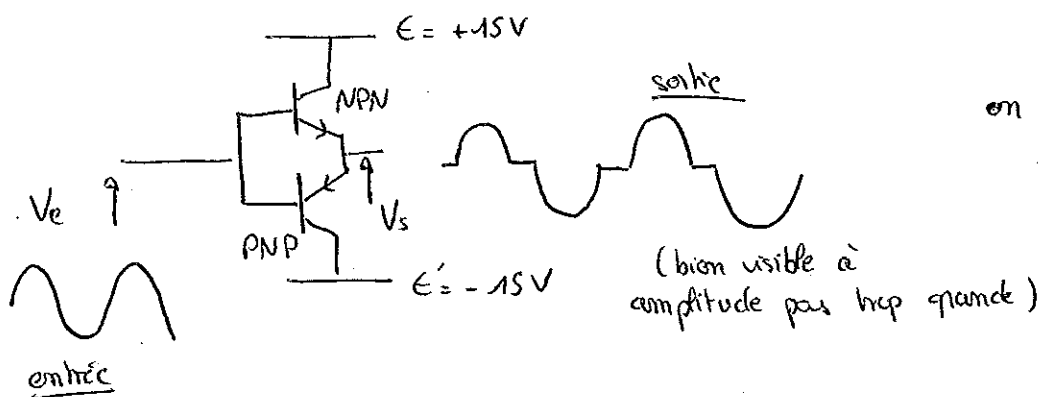
MANIP: micro + émetteur commun + H.P. $\rightarrow$ marche pas

On va donc passer à 1 deuxième montage: le push-pull

III] Le montage push pull

- montage amplificateur de classe C: point de repos au delà du blocage
- il ne se déclenche que si la tension d'entrée atteint 0,6V (ou -0,6V)
- 2 transistors: l'un est bloqué quand l'autre passe et vice-versa
- gain en tension = 1, fort gain en courant
- intéret: aucun courant débité par les alimentations en l'absence de signal à amplifier $\rightarrow$ meilleur rendement

1) Montage avec distorsions

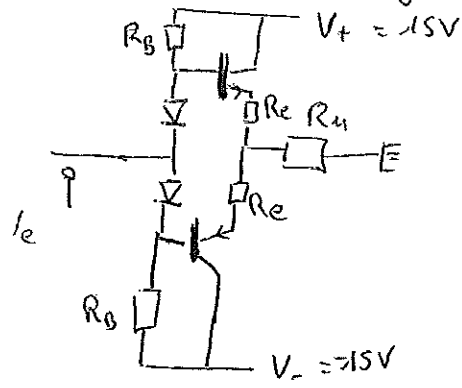


on observe des distorsions
liées au seuil
de $\pm 0,6V$

Pour pas déformer le signal qu'on veut amplifier, il
faut corriger la distorsion.

On utilise des diodes qui vont compenser le $\pm 0,6V$

1) Push-Pull corrigé



$R_u = 53 \Omega$ (résistance de charge).
 (!) pas rétrostat, sinon grille

R_B (typiquement $10 k\Omega$)

R_e (typiquement 100Ω)

Les résistances R_e servent à éviter un échauffement

Le signal est ainsi redressé

!! Le but du push-pull est de faire un ampli de puissance. Le gain en tension vautant 1, si la résistance R_u est trop grande, elle n'appelle pas assez de courant, et le courant initial lui suit. Les alim V_+ et V_- ne servent donc à rien (on n'apporte aucune puissance supplémentaire), et le montage marche toujours même si on les éteint !!! (si si, c'est vrai !!!)
 IP faut donc faire attention à prendre R_u pas trop grande.

MANIP. Calcul du rendement

! à faire sur le montage non corrigé !!!

même méthode que précédemment

$E =$

$I =$

$V_{eff} =$

$R =$

$P_u =$

$P_G = 2 \times E \times I =$
 $\uparrow$
 2 alim

$$\eta = \frac{P_u}{P_G} =$$

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{\Delta P_u}{P_u} + \frac{\Delta P_G}{P_G}$$

3) Montage haut-parleur

(9)

On met la sortie du micro en entrée de l'émetteur commun (gain en tension), et on enchaîne avec le push-pull (gain en courant).



Conclusion :

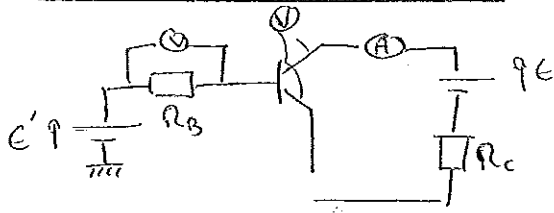
On a donc vu que pour amplifier 1 signal, il y a 2 aspects :

- amplification de tension
- amplification en puissance

L'utilité de cette dernière se situe essentiellement dans l'adaptation à des charges de faible impédance.

L'utilisation de transistors se situe également dans les amplificateurs opérationnels (une dizaine de transistors)

* Tracé des caractéristiques



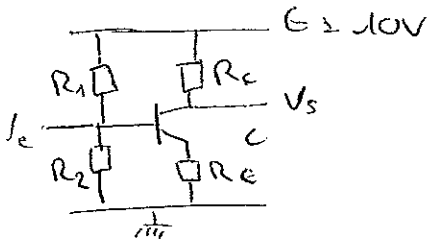
P_{max} en $V_{CE} = \frac{E}{2}$, $I_C = \frac{E}{2R_C}$ on $P_{max} = 1W$
 (constructeur)

$\Rightarrow P_{max} = \frac{E^2}{4R_C}$ avec $E = 20V \text{ max} \Rightarrow \boxed{R_C = 200\Omega}$
 (on aura $P_{max} = 0.5W$)

$E = V_{CE} + R_C I_C$
 $E' \sim E$

donc pour avoir $I_C = \beta I_B$ on doit avoir $R_B = \beta R_C$
 $\Rightarrow \boxed{R_B = 20k\Omega}$

Emetteur commun



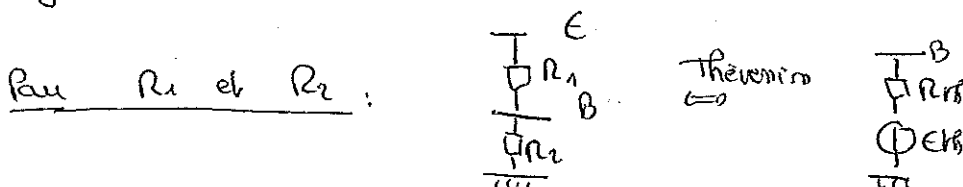
$V_{CE \text{ max}} = E$ ($I_C = 0$)
 $I_{C \text{ max}} = \frac{E}{R_E + R_C}$ ($V_{CE} = 0$)

on veut $V_{CE} = \frac{E}{2}$ (saturée par de chaque côté)
 $I_C = 5mA$

on on veut $I_C = \frac{E}{R_E + R_C} \times \frac{1}{2} \Rightarrow 10mA = \frac{10}{R_E + R_C}$

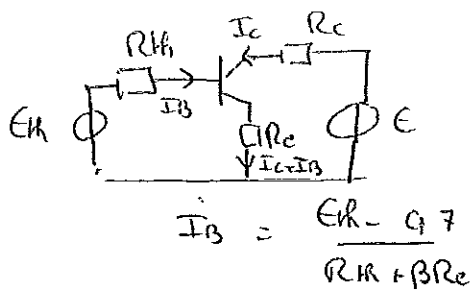
$\Rightarrow \boxed{R_E + R_C = 1000\Omega}$ (on a bien $P_{max} \leq 1W$)

on gain en tension: $G_V = -R_C / R_E$ donc on veut $R_C > R_E$



$R_{Th} = R1 \parallel R2 = \frac{R1 R2}{R1 + R2}$

$E_{Th} = E \frac{R2}{R1 + R2}$



loi des mailles :

$$E_{Th} = R_{Th} I_B + \underbrace{V_{BE}}_{\sim 0,7V} + \underbrace{(\beta+1) I_B R_E}_{\sim \beta \frac{I_C}{\beta}}$$

$$I_B = \frac{E_{Th} - 0,7}{R_{Th} + \beta R_E}$$

$$I_C = \beta I_B$$

pour pas avoir de dérive thermique, on doit avoir I_C indépendant de β (donc de T) $\Rightarrow \beta R_E \gg R_{Th}$ (alors $I_C \sim \frac{E_{Th} - 0,7}{R_E}$)
 $\Rightarrow \beta R_E \gg \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

donc R_E doit pas être trop petit non plus
 $\Rightarrow$ on prend $\boxed{R_C = 800 \Omega}$
 $\boxed{R_E = 200 \Omega}$ (environ)

$$I_C \sim \frac{E}{2(R_E + R_C)} \sim \frac{20}{2 \times 1000} \sim 10 \text{ mA}$$

on $I_C = \frac{E_{Th} - 0,7}{R_E}$ or $R_E \sim 200 \Omega \Rightarrow E_{Th} \sim 2,7V$

on $E_{Th} = E \frac{1}{\frac{R_1}{R_2} + 1} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} \sim 6,4$

$R_{Th} \sim R_2$: on doit donc avoir $R_2 \ll \beta R_E$ et $R_1 \sim 6,4 R_2$

Enfin $Z_e = R_{in} \parallel R_1 \parallel R_2 \sim R_{in} \parallel R_2$
 avec R_{in} comme $\sim 250 \Omega$

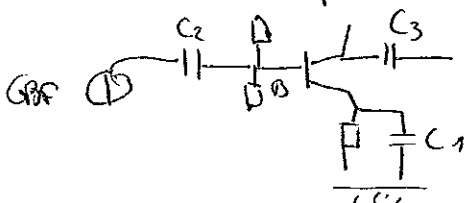
éviter $R_2 \ll 250 \Omega$ pour pas avoir Z_e trop petit

$$\boxed{R_2 \sim 1k\Omega}$$

$$\boxed{R_1 \sim 5k\Omega}$$

et $\beta R_E \sim 100 \times 200 = 20k\Omega \gg R_2$ ok

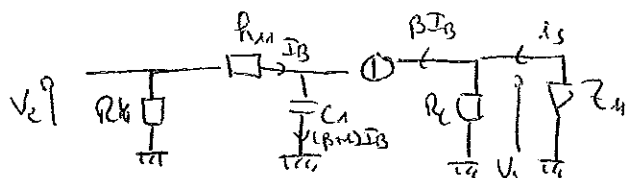
• Choix des caps



C_2 : on B : tension $> 0 \neq 0$
 $\rightarrow$ capce pour pas envoyer dans GND
 entier $\boxed{Z_e}$ $Z_e \sim R_{in} \parallel R_{Th} \sim R_{in}$

pour pas capter V_e , doit avoir $Z_{C2} \ll R_{in} \Rightarrow \frac{1}{C_2 \omega} \ll 250 \Omega$
 $f \sim kHz$ $C_2 \gg 1 \mu F$

R_e doit recoller le continu (éviter dérive V_h) $\Rightarrow Z_{e1} \ll R_e$



$$V_e = R_m i_B + Z_{e1} (\beta + 1) i_B$$

on veut tension dans C_1 nulle (pas aucun bon gain)

$$\Rightarrow V_e = R_m i_B$$

$$\Rightarrow Z_{e1} \ll \frac{R_m}{\beta} \sim 2,5$$

$$\Rightarrow \boxed{C_1 \gg 100 \mu F}$$

on veut : $\rightarrow$ continu dans R_e pour éviter dérive V_h .

$\rightarrow$ alternatif pas dans R_e (donc dans C_1) pour pas trop baisser gain $\Rightarrow Z_{e1} \ll R_e$

Δ capa polarisées

$\ominus$ = masse (C_1)

$\ominus$ = GND (C_2)

C_3 : sert si autre montage après $\rightarrow$ peu d'influence sur l'oscillo

! : * choix du signal électrique plutôt qu'un autre

$\rightarrow$ plus facile de transformer 1 autre signal en signal électrique

* signal sinusoïdal

$\rightarrow$ décomposable en série de Fourier (pour tout signal)