

Nom :	Prénom :	Groupe :
-------	----------	----------



Cycle Initial Polytech
Première Année
Année scolaire 2010/2011



Epreuve d'électronique analogique N°2

Mercredi 13 Avril 2011

Durée : 1h30

- ☐ Cours, documents et calculatrice non autorisés.
- ☐ Vous répondrez directement sur cette feuille.
- ☐ Tout échange entre étudiants (gomme, stylo, réponses...) est interdit
- ☐ Vous êtes prié :
 - d'indiquer votre nom et votre prénom.
 - d'éteindre votre téléphone portable (– 1 point par sonnerie).

RAPPELS :

Impédance	$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$	$\begin{cases} V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{cases}$
Gain en tension * :	$A_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_{21}}{Z_{11} + \frac{Z_{11} \cdot Z_{22} - Z_{12} \cdot Z_{21}}{X}}$ * X représente l'impédance branchée en sortie du quadripôle.	
Impédance d'une capacité C	$1/(jC\omega) \quad [\Omega]$	
Schéma électrique équivalent du transistor bipolaire NPN en régime de petit signal		
Gain d un filtre passe-haut :	Gain d un filtre passe-bas :	
$A_v = \frac{K}{1 + \frac{1}{j \frac{\omega}{\omega_C}}}$	$A_v = \frac{K}{1 + j \frac{\omega}{\omega_C}}$	

EXERCICE I : Fonctionnement du transistor bipolaire (2.5 pts)

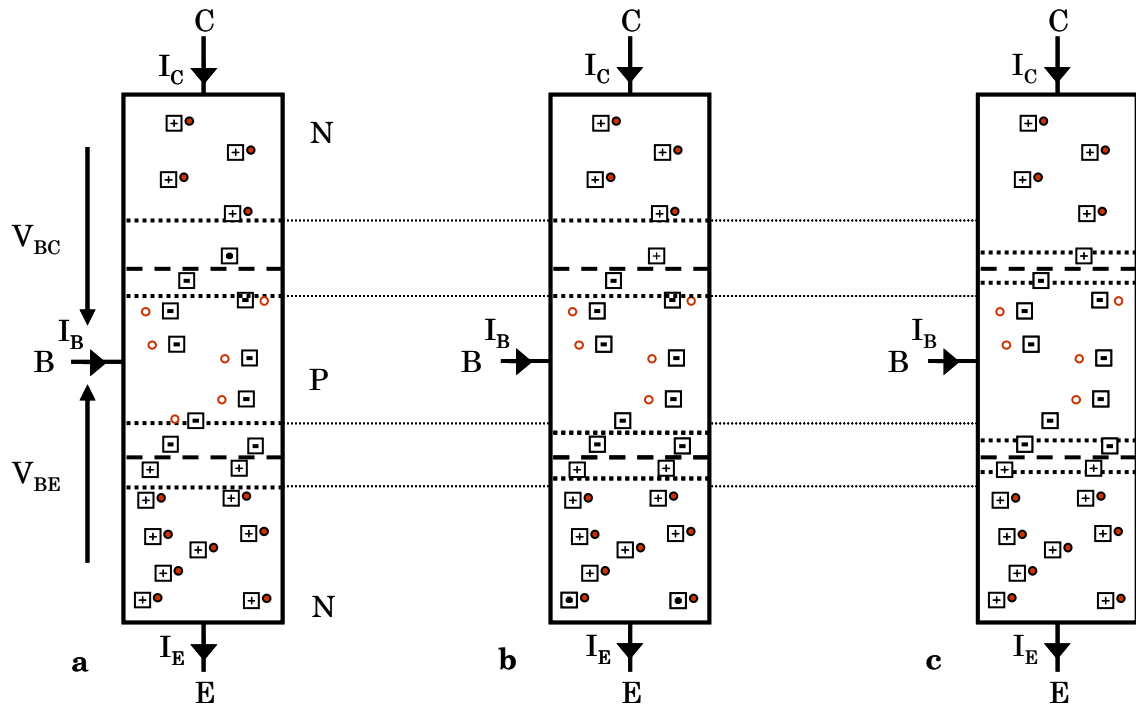
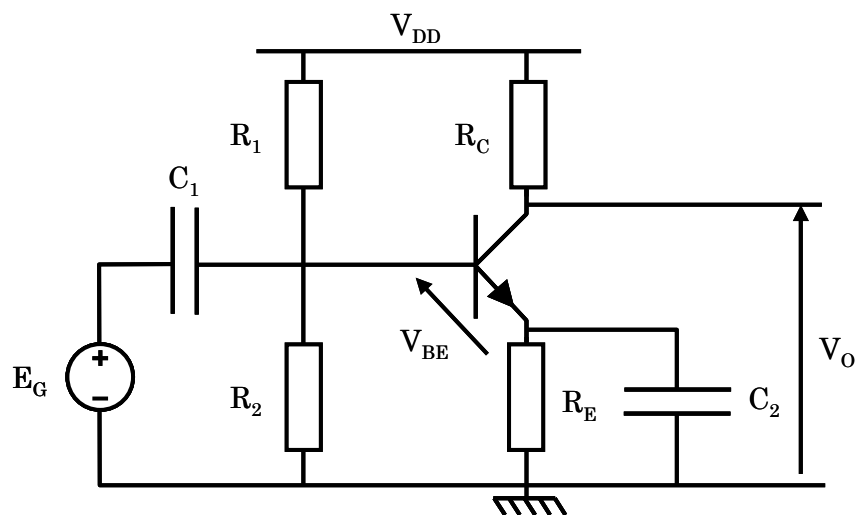


Figure (I.1).

A l'aide de la figure (I.1), décrivez le fonctionnement interne du transistor bipolaire suivant ses trois régimes : bloqué (a), linéaire (b) et saturé (c). Vous pourrez ajouter le mouvement des électrons et des trous sur les figures.

EXERCICE II : Pré-amplification de vocalises (10.5 pts)

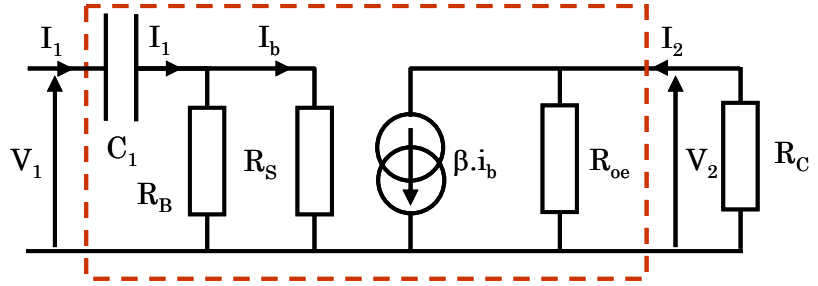
Figure II.1.



On souhaite pré-amplifier les vocalises d'une personne dans la gamme de fréquence 10 Hz – 20 kHz avec le circuit de la figure (II.1).

II.1. Influence de la capacité C_1 . (5.5 pts)

Figure II.2.



Le schéma petit signal du pré-ampli est donné à la figure (II.2) et ne fait apparaître que la capacité C_1 (C_2 ne joue aucun rôle dans ce schéma aux fréquences considérées).

II.1.a. Expliquer le rôle de la capacité C_1 (0.5 pt)

C_1 sert à ne pas changer la polarisation du transistor avec la tension E_G (le micro). C_1 ne laisse passer que l'alternatif et enlève la valeur continue de E_G .

II.1.b. Donner la définition du régime de petit signal (1 pt)

Dans ce cas, tous les composants du circuit ont un comportement linéaire

II.1.c. Donner l'expression de la résistance R_B . (0.5 pt)

$$R_B = R_1 // R_2$$

II.1.d. Donner la matrice impédance du quadripôle facile délimité par les pointillés. Pour les calculs, on posera $R_{eq} = R_B // R_S$ et i_b sera déterminé en fonction de I_1 à partir d'un diviseur de courant.
(1 pt)

Avec $i_b = \frac{R_B}{R_B + R_S} I_1$ on obtient

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{jC_1\omega} + R_{eq} & 0 \\ -\beta \frac{R_B R_{oe}}{R_B + R_S} & R_{oe} \end{bmatrix}$$

II.1.e. Donner l'expression du gain $A_v = V_2 / E_G$ (on remarquera qu'ici, $V_1 = E_G$!). (1 pt)

La tension aux bornes de R_S est donnée par : $V_{be} = \frac{R_{eq}}{R_{eq} + \frac{1}{jC_1\omega}} V_1 = \frac{1}{1 + \frac{1}{jC_1 R_{eq}\omega}} V_1$ ce qui

donne l'expression du courant $i_b = \frac{1}{R_S} \frac{1}{1 + \frac{1}{jC_1 R_{eq}\omega}} V_1$

La tension V_2 est donnée par : $V_2 = -\beta i_b (R_{oe} // R_C)$

Soit le gain : $A_V = -\beta \frac{1}{R_S} (R_{oe} // R_C) \frac{1}{1 + \frac{1}{jC_1 R_{eq} \omega}}$

II.1.f. Vers quelles valeurs tend A_V lorsque ω tend vers 0 et l'infini ? Donner le type de filtre ainsi que l'expression de la fréquence de coupure. **(1.5 pts)**

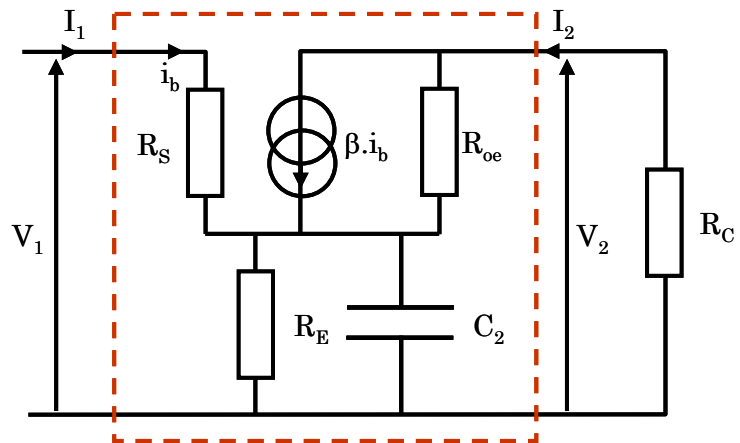
$$A_V(\omega \rightarrow 0) = 0$$

$$A_V(\omega \rightarrow \infty) = -\beta \frac{1}{R_S} (R_{oe} // R_C) = -\beta \frac{1}{R_S} \frac{R_{oe} R_C}{R_{oe} + R_C}$$

$$F_{C1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{eq}} \text{ avec un filtre passe haut}$$

II.2. Influence de la capacité C_2 . (5 pts)

Figure II.3.



Le schéma petit signal du pré-ampli est donné à la figure (II.3) et ne fait apparaître que la capacité C_2 (C_1 ne joue aucun rôle dans ce schéma aux fréquences considérées).

II.2.a. Expliquer le rôle de la capacité C_2 **(0.5 pt)**

Elle sert à supprimer la présence de la résistance R_E en alternatif (tension constante à ses bornes) et donc à augmenter la valeur du gain. R_E stabilise thermiquement le transistor.

II.2.b. Donner la matrice impédance du quadripôle facile délimité par les pointillés sans prendre en compte C_2 . Simplifier cette matrice en considérant que $R_{oe} \gg R_E$. **(1 pt)**

$$V_1 = I_1 R_S + R_E (I_2 + I_1) = (R_S + R_E) I_1 + R_E I_2$$

$$V_2 = R_{oe} (I_2 - \beta I_1) + R_E (I_2 + I_1) = (-\beta R_{oe} + R_E) I_1 + (R_{oe} + R_E) I_2$$

Soit la matrice
$$\begin{bmatrix} R_S + R_E & R_E \\ -\beta R_{oe} + R_E & R_{oe} + R_E \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} R_S + R_E & R_E \\ -\beta R_{oe} & R_{oe} \end{bmatrix}$$

II.2.c. Donner l'expression du gain en tension $A_v = V_2/V_1$ **sans prendre en compte C_2** et dire si ce gain est supérieur ou inférieur à celui trouvé à la question (II.1.e). **(1 pt)**

$$A_v = \frac{Z_{21}}{Z_{11} + \frac{Z_{11} \cdot Z_{22} - Z_{12} \cdot Z_{21}}{X}} = \frac{-\beta R_{oe}}{R_S + R_E + \frac{R_{oe}(R_S + R_E) + \beta R_{oe}(R_E)}{R_C}}$$

$$A_v = \frac{-\beta R_{oe} R_C}{R_S R_C + R_E R_C + R_S R_{oe} + R_E R_{oe} + \beta R_{oe} R_E} = \frac{-\beta R_{oe} R_C}{R_S(R_C + R_{oe}) + R_E(R_C + R_{oe} + \beta R_{oe})}$$

On reconnaît dans ce gain celui obtenu à la question (II.1.e) avec en plus un terme au dénominateur qui dépend de R_E . Donc ce gain est plus faible que le précédent.

II.2.d. Donner le gain du montage en tenant compte cette fois de la capacité C_2 . Il faudra juste modifier le résultat de la question (II.2.c) **(0.5 pt)**

$$A_v = \frac{-\beta R_{oe} R_C}{R_S(R_C + R_{oe}) + (R_E // C_2)(R_C + R_{oe} + \beta R_{oe})} = \frac{-\beta R_{oe} R_C}{R_S(R_C + R_{oe}) + \frac{(R_C + R_{oe} + \beta R_{oe})R_E}{1 + jC_2 R_E \omega}}$$

II.2.e. Vers quelles valeurs tend A_v lorsque ω tend vers 0 et l'infini ? Donner le type de filtre auquel pourrait s'apparenter ce montage ainsi que l'expression de la fréquence de coupure. **(1.5 pts)**

$$A_v(\omega \rightarrow 0) = \frac{-\beta R_{oe} R_C}{R_S(R_C + R_{oe}) + (R_C + R_{oe} + \beta R_{oe})R_E}$$

$$A_v(\omega \rightarrow \infty) = \frac{-\beta R_{oe} R_C}{R_S(R_C + R_{oe})}$$

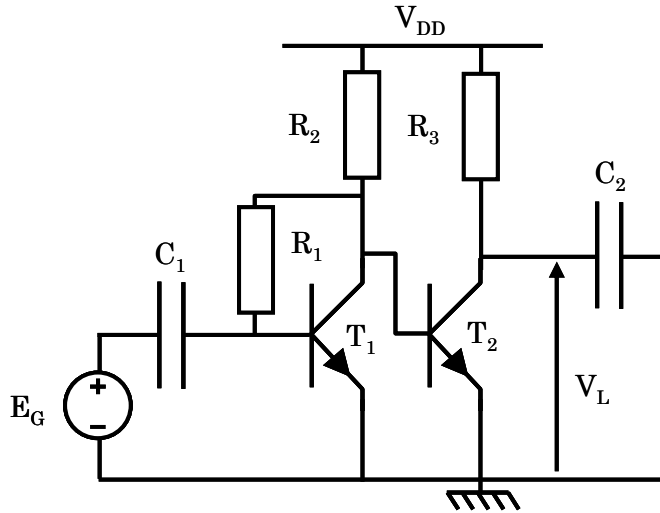
$$F_{C2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_E} \text{ avec un filtre passe haut}$$

II.2.f. Si on se place à présent aux bornes de la résistance R_E , quel serait le type de filtre correspondant au gain $A_v = V_{RE} / V_1$. Que pouvez-vous dire sur la variation de la tension aux bornes de R_E pour des fréquences supérieures à la fréquence de coupure **(0.5 pt)**

On aurait un filtre passe bas et la tension aux bornes de R_E ne varie pas pour $F > F_{C2}$.

EXERCICE III : Autre pré-amplificateur de vocalises (7 pts)

Figure III.1. Les deux transistors sont identiques avec un gain β . On supposera que $1 + \beta = \beta$. La jonction base-émetteur est caractérisée par V_S et R_S .



On souhaite pré-amplifier les vocalises d'une personne dans la gamme de fréquence 10 Hz – 20 kHz avec le circuit de la figure (III.1).

L'indice 0 correspond au nom d'une variable en régime statique. Par exemple $I_{C1}(t) = I_{C10} + i_{C1}(t)$

III.1. Etude en statique. (3 pts)

III.1.a. Identifier les courants qui passent dans la résistance R_2 . (0.5 pt)

Les courants sont I_{B10} , I_{C10} et I_{B20} .

III.1.b. En supposant que $I_{B20} \ll I_{C10}$, déterminer l'expression de I_{B10} . (0.5 pt)

$$V_{DD} = R_2 \cdot \beta I_{B10} + R_1 \cdot I_{B10} + V_S + R_S \cdot I_{B10}$$

$$I_{B10} = \frac{V_{DD} - R_S}{\beta R_2 + R_1 + R_S}.$$

III.1.c. Déterminer l'expression de V_{BE10} . (0.5 pt)

$$V_{BE10} = V_S + R_S \cdot I_{B10}$$

III.1.d. Déterminer l'expression de V_{CE10} . (0.5 pt)

$$V_{CE10} = V_{DD} - \beta R_2 I_{B10} = V_{DD} - \beta R_2 \frac{V_{DD} - R_S}{R_2 \cdot \beta + R_1 + R_S}$$

III.1.e. Déterminer alors l'expression du courant I_{B20} . (0.5 pt)

$$V_{CE10} = V_S + R_S \cdot I_{B20} = V_{DD} - \beta R_2 \frac{V_{DD} - R_S}{R_2 \beta + R_1 + R_S} \quad \text{soit} \quad :$$

$$I_{B20} = \frac{V_{DD} - \beta R_2 \frac{V_{DD} - R_S}{R_2 \beta + R_1 + R_S} - V_S}{R_S}$$

III.1.f. Déterminer finalement l'expression de V_{CE20} . **(0.5 pt)**

$$V_{CE20} = V_{DD} - \beta R_3 \cdot I_{B20} = V_{DD} - \beta R_3 \frac{V_{DD} - \beta R_2 \frac{V_{DD} - R_S}{R_2 \beta + R_1 + R_S} - V_S}{R_S}$$

III.2. Etude en dynamique. (4 pts)

On applique une tension alternative E_G que la capacité C_1 laisse passer.

III.2.a. En constatant que E_G implique une variation de la tension V_{BE1} et à partir de la question (III.1.c), déterminer l'expression de $I_{B1}(t)$ en fonction V_{BE10} , E_G , V_S et R_S . **(1.5 pts)**

$$V_{BE1} = V_{BE10} + E_G = V_S + R_S \cdot I_{B1}(t) \quad \text{soit} \quad I_{B1}(t) = \frac{V_{BE10} + E_G - V_S}{R_S}$$

III.2.b. Donner l'expression $I_{B2}(t)$ à partir des questions précédentes **(1 pt)**

$$\text{On a } V_{CE1}(t) = V_{DD} - \beta R_2 I_{B1}(t) = V_{DD} - \beta R_2 \frac{V_{BE10} + E_G - V_S}{R_S} = V_S + R_S \cdot I_{B2}(t)$$

$$\text{Soit } I_{B2}(t) = \frac{V_{DD} - \beta R_2 \frac{V_{BE10} + E_G - V_S}{R_S} - V_S}{R_S}$$

III.2.c. Donner l'expression $V_{CE2}(t)$ à partir des questions précédentes. **(1 pt)**

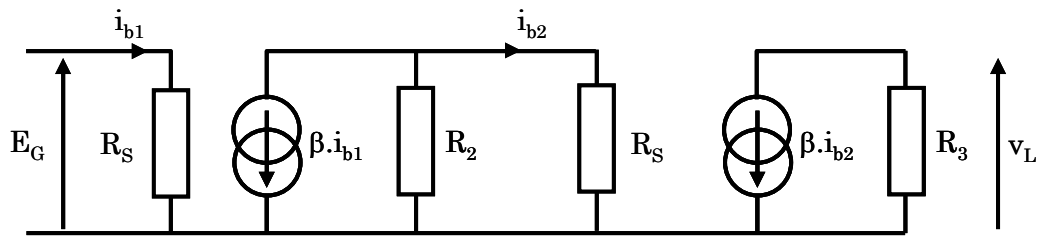
$$V_{CE2}(t) = V_{DD} - \beta R_3 \cdot I_{B2}(t) = V_{DD} - \beta R_3 \frac{V_{DD} - \beta R_2 \frac{V_{BE10} + E_G - V_S}{R_S} - V_S}{R_S}$$

III.2.d. Donner finalement l'expression du gain en tension $A_V = \frac{\partial V_{CE2}}{\partial E_G}$. **(0.5 pt)**

$$A_V = \beta^2 \frac{R_3 R_2}{R_S^2}$$

III.3. BONUS. (1.5 pts)

Faire le schéma petit signal du circuit de la figure (III.1) en négligeant les résistances R_{oe} ($= 1/h_{oe}$) et déterminer l'expression du gain $A_V = \frac{v_L}{E_G}$



On a $i_{b1} = \frac{E_G}{R_S}$ et avec le diviseur de courant $i_{b2} = -\frac{R_2}{R_2 + R_S} \beta i_{b1} = -\frac{R_2}{R_2 + R_S} \beta \frac{E_G}{R_S}$

Il faut alors voir que $i_{b2} \ll \beta i_{b1}$ ce qui signifie que l'on a forcément $R_2 \ll R_S$!

Donc : $i_{b2} \approx -\frac{R_2}{R_S} \beta \frac{E_G}{R_S}$ et avec la boucle de sortie on écrit $v_L = -\beta i_{b2} R_3 = \frac{R_2 R_3}{R_S^2} \beta^2 E_G$ soit

finalement : $A_V = \frac{R_2 R_3}{R_S^2} \beta^2$ qui est le résultat obtenu précédemment.