

Nom :	Prénom :
-------	----------

ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE NICE SOPHIA-ANTIPOLIS



**Cycle Initial Polytech
Première Année
Année scolaire 2008/2009**



Epreuve préparatoire d'électronique analogique N°3 (correction)

Mardi 28 Avril 2009

Durée : 1h30

- ☐ Cours et documents non autorisés.
- ☐ Calculatrice de l'école autorisée.
- ☐ 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 :

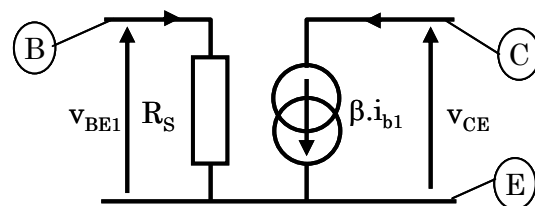
Forme générale de la tension aux bornes de la capacité d'un circuit R.C :

$$V_C(t) = A \cdot \exp\left(-\frac{t}{R \cdot C}\right) + B$$

Schéma électrique équivalent de la diode lorsqu'elle est passante :

$$V_{BE} = V_S + R_S \cdot I_S$$

Schéma électrique équivalent du transistor bipolaire NPN en régime de petit signal



EXERCICE I : Distributeur audio 2 voies (5 pts)

Dans cet exercice, on se propose d'étudier un circuit (Figure (I.1)) qui permet de dupliquer un signal audio (1 entrée vers 2 sorties). Pour simplifier cette étude, nous décomposerons le circuit en deux parties dont les valeurs des composants se trouvent dans la légende de la figure (I.1). Les tensions V_1 à V_4 , V_{S1} et V_{S2} sont prises par rapport à la masse.

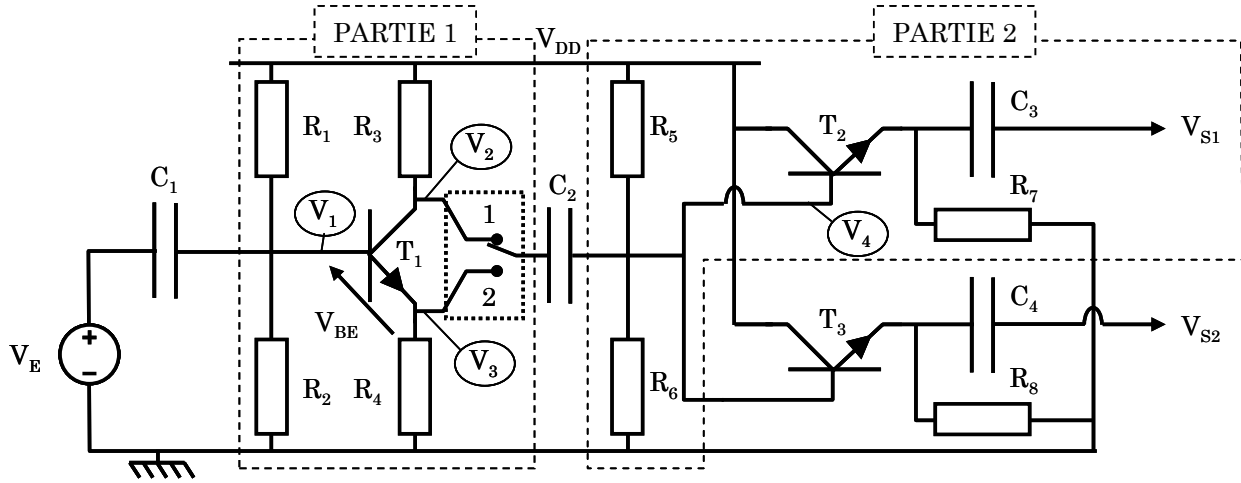


Figure I.1. Les valeurs des composants sont : $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_3 = R_4 = 2,2 \text{ k}\Omega$, $R_5 = R_6 = 47 \text{ k}\Omega$, $R_7 = R_8 = 10 \text{ k}\Omega$. Les capacités seront équivalentes à des fils aux fréquences considérées. Les trois transistors sont identiques : $\beta = 100$, $V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$, pour la diode de base $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ et $V_S = 0,6 \text{ V}$. On considérera que $1 + \beta \approx \beta$ (soit $I_C \approx I_E$). La tension d'alimentation est $V_{DD} = 24 \text{ V}$.

I.1. Etude de l'étage d'entrée (PARTIE 1) en régime statique

I.1.1. Donner l'expression et la valeur (E_{th1} et R_{th1}) du générateur de Thévenin équivalent au pont de base (R_1 , R_2 et V_{DD}) (0.5 pt)

$$E_{th1} = V_{DD} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4,33 \text{ V} \quad \text{et} \quad R_{th1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 18,03 \text{ k}\Omega$$

I.1.2. Donner l'expression et la valeur de V_{BE1} , I_{B1} , I_{C1} et V_{CE1} . Dans quel régime est polarisé le transistor T_1 ? (0.5 pt)

$$I_{B1} = \frac{E_{th1} - V_S}{R_{th1} + R_S + \beta \cdot R_4} = 15,6 \mu\text{A}$$

$$V_{BE1} = V_S + I_{B1} \cdot R_S = 0,616 \text{ V}$$

$$I_{C1} = \beta \cdot I_{B1} = 1,56 \text{ mA}$$

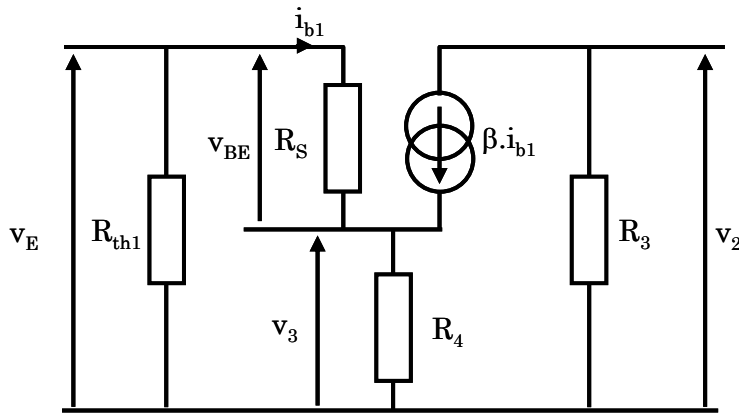
$$V_{CE1} = V_{DD} - I_{C1} \cdot (R_3 + R_4) = 17,14 \text{ V}$$

La tension V_{CE1} est supérieure à V_{CEsat} et $I_{B1} > 0$ donc le transistor est en régime linéaire.

I.2. Etude de l'étage d'entrée (PARTIE 1) en régime dynamique

On considérera que l'on peut négliger l'impédance d'entrée de la PARTIE 2 devant R_3 et R_4 .

I.2.1. Donner le schéma équivalent en petit signal de la PARTIE 1 du circuit **(0.5 pt)**



I.2.2. Donner l'expression et la valeur du gain en tension $A_{V2} = \frac{\partial V_2}{\partial V_E}$. Simplifier cette expression en considérant les valeurs de R_S et R_4 . **(0.5 pt)**

$$i_{b1} = \frac{v_E}{R_S + \beta R_4}$$

$$v_2 = -\beta R_3 i_{b1}$$

$$A_{V2} = \frac{-\beta R_3 i_{b1}}{i_{b1} (R_S + \beta R_4)} = -\frac{\beta R_3}{R_S + \beta R_4} \approx -\frac{\beta R_3}{\beta R_4} = -1$$

I.2.2. Donner l'expression et la valeur du gain en tension $A_{V3} = \frac{\partial V_3}{\partial V_E}$ **(0.5 pt)**

$$v_3 = -\beta R_4 i_{b1}$$

$$A_{V3} = \frac{\beta R_4 i_{b1}}{i_{b1} (R_S + \beta R_4)} = \frac{\beta R_4}{R_S + \beta R_4} \approx \frac{\beta R_4}{\beta R_4} = 1$$

I.2.3. Donner l'expression et la valeur de la résistance d'entrée de la PARTIE 1 vue par le générateur V_E . **(0.5 pt)**

$$R_{E1} \approx R_{th1} // (R_S + \beta R_3) \approx R_{th1} // \beta R_3 = 16,7k\Omega \approx R_{th1}$$

I.3. Etude de l'étage de sortie (PARTIE 2) en régime statique

I.3.1. Donner l'expression et la valeur (E_{th2} et R_{th2}) du générateur de Thévenin équivalent au pont de base (R_5 , R_6 et V_{DD}) **(0.5 pt)**

$$E_{th2} = V_{DD} \frac{R_6}{R_5 + R_6} = \frac{V_{DD}}{2} = 12V \quad \text{et} \quad R_{th2} = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} = \frac{R_5}{2} = 23,5k\Omega$$

I.3.2. Donner l'expression et la valeur de V_{BE2} , I_{B2} , I_{C2} et V_{CE2} . Dans quel régime est polarisé le transistor T_2 ? **(0.5 pt)**

$$I_{B2} = \frac{E_{th2} - V_S}{R_{th2} + R_S + \beta \cdot R_7} = 11,1\mu A$$

$$V_{BE2} = V_S + I_{B2} \cdot R_S = 0,611V$$

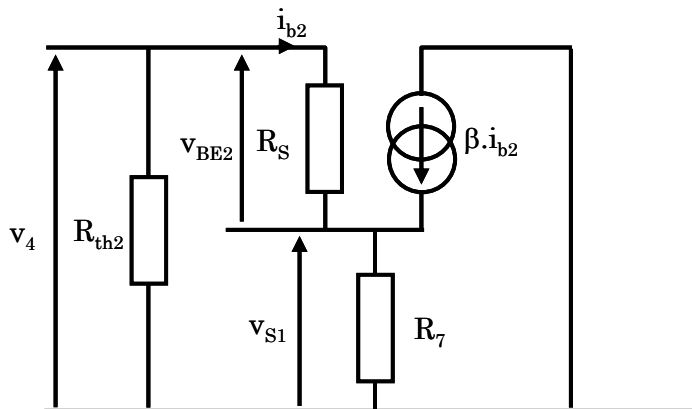
$$I_{C2} = \beta \cdot I_{B2} = 1,11mA$$

$$V_{CE2} = V_{DD} - I_{C2} \cdot R_7 = 12,9V$$

La tension V_{CE2} est supérieure à V_{CEsat} et $I_{C2} > 0$ donc le transistor est en régime linéaire.

I.4. Etude de l'étage de sortie (PARTIE 2) en régime dynamique

I.4.1. Donner le schéma équivalent en petit signal de la PARTIE 2 du circuit **(0.5 pt)**



I.4.2. Donner l'expression et la valeur du gain en tension $A_{V4} = \frac{\partial V_{S1}}{\partial V_4}$. Simplifier cette expression en considérant les valeurs de R_S et R_7 . **(0.5 pt)**

$$i_{b2} = \frac{v_4}{R_S + \beta \cdot R_7}$$

$$v_{S1} = (1 + \beta) R_7 \cdot i_{b2} = \beta \cdot R_7 \cdot i_b$$

$$A_{V4} = \frac{\beta \cdot R_7 \cdot i_{b2}}{i_{b2} \cdot (R_S + \beta \cdot R_7)} = \frac{\beta \cdot R_7}{R_S + \beta \cdot R_7} \approx \frac{\beta \cdot R_7}{\beta \cdot R_7} = 1$$

I.2.3. Donner l'expression et la valeur de la résistance d'entrée de la PARTIE 2 vue par la PARTIE 1. **(0.5 pt)**

$$R_{E2} \approx R_{th2} // (R_S + \beta \cdot R_7) \approx R_{th2} // \beta \cdot R_7 = 23k\Omega \approx R_{th2}$$

I.5. Montage total

L'interrupteur entre les deux parties permet de sélectionner la tension V_2 ou V_3 .

I.5.1. Donner la valeur du gain total en fonction de l'interrupteur $A_V = V_{S1} / V_E$ **(0.5 pt)**

Interrupteur en position 1 $A_V = -1$

Interrupteur en position 2 $A_V = 1$

I.5.2. Déterminer l'expression et la valeur du gain $A_V = V_{S1} / V_E$ si on ne néglige pas l'impédance d'entrée de la PARTIE 2 sur le gain en tension de la PARTIE 1 **(0.5 pt)**

$$\text{Dans ce cas } A_V = \frac{\beta \cdot R_3 i_{b1}}{i_b \cdot (R_S + \beta \cdot (R_4 // R_{E2}))} =$$

$$\text{Et } A_V = \frac{\beta \cdot R_3 i_{b1}}{i_b \cdot (R_S + \beta \cdot (R_4 // R_{E2}))} \frac{\beta \cdot R_7}{R_S + \beta \cdot R_7} =$$

EXERCICE II : Le parcours électrique (5 pts)

Le jeu du parcours électrique consiste à faire parcourir une boucle métallique le long d'un fil électrique sans que les deux se touchent, sinon un son retentit. On se propose d'étudier ici la partie électronique de ce jeu qui est constituée d'un oscillateur Abraham BLOCH et d'un étage qui alimente le haut parleur.

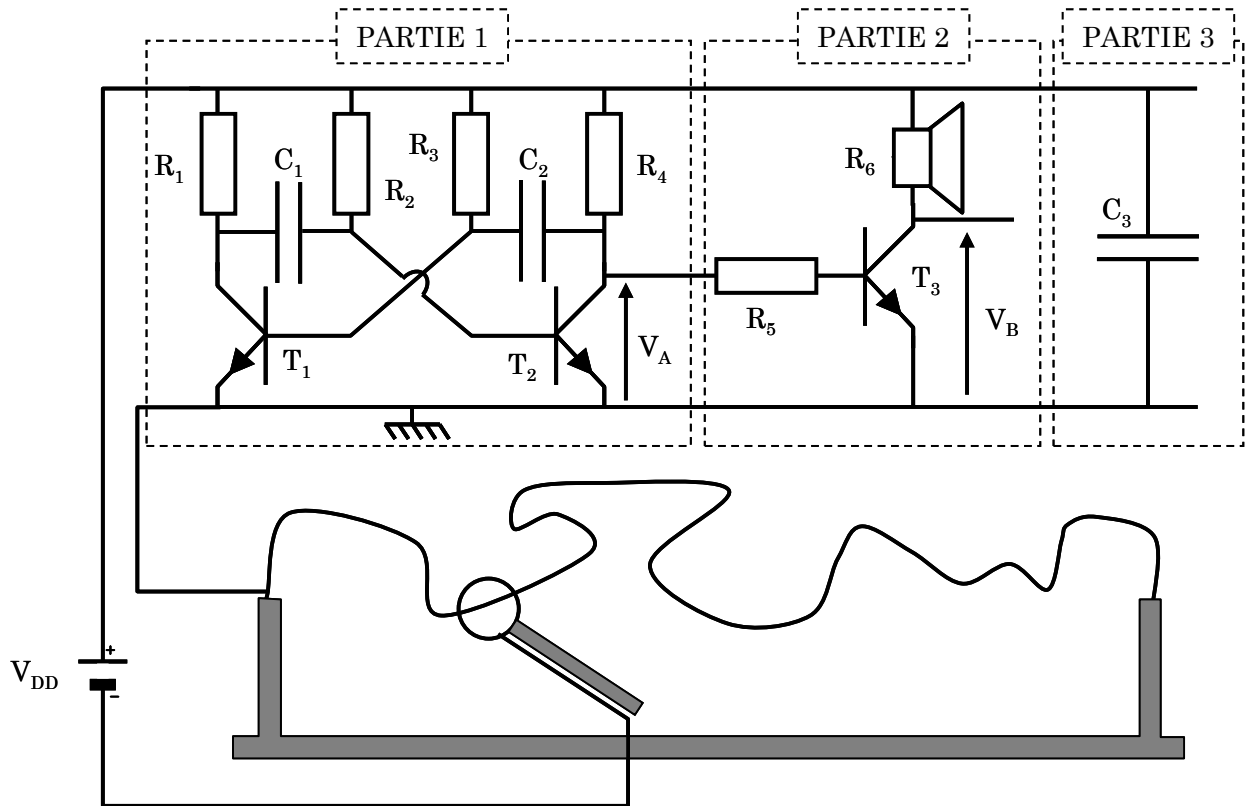


Figure II.1. Les valeurs des composants sont : **Figure II.1.** $R_1 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ M}\Omega$, $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 25 \text{ }\Omega$, $C_1 = 22 \text{ nF}$ et $C_2 = 1 \text{ nF}$. Les transistors T_1 et T_2 : $V_S = 0,6 \text{ V}$, $V_{CEsat} = 0 \text{ V}$. Pour le transistor T_3 : $\beta = 100$, $V_{CEsat} = 0 \text{ V}$, $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ et $V_S = 0,6 \text{ V}$. On considérera que $1 + \beta \approx \beta$ (soit $I_C \approx I_E$). La tension d'alimentation est $V_{DD} = 9 \text{ V}$.

II.1. Etude de l'oscillateur (PARTIE 1).

II.1.1. Donner les valeurs min et max de la tension V_A . (1 pt)

$$V_{Amin} = V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$$

$$V_{Amax} = V_{DD} = 9 \text{ V}$$

II.1.2. On considère qu'à l'instant $t = 0$, le transistor T_2 devient passant et que par conséquent la tension de la base de T_1 devient égale à $0,6 - V_{DD}$ donc T_1 se bloque. La tension $V_A = V_{CEsat}$ sera approximée à 0 V pour cette question. Donner l'expression de l'évolution temporelle de la tension V_{BE} du transistor T_1 . (1 pt)

La forme générale de l'expression de V_{BE} est :

$$V_{BE}(t) = A \cdot \exp\left(-\frac{t}{R_3 \cdot C_2}\right) + B$$

$$\text{Avec } V_{BE}(t=0) = 0,6 - V_{DD} = A + B \quad \text{et} \quad V_{BE}(t \rightarrow \infty) = V_{DD} = B$$

$$\text{Soit : } V_{BE}(t) = (0,6 - 2 \cdot V_{DD}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{R_3 \cdot C_2}\right) + V_{DD}$$

II.1.3. A partir du résultat de la question (II.1.2) montrer que la période de l'oscillateur est donnée par :

$$T_P = -2 \cdot R_3 \cdot C_2 \cdot \ln\left(\frac{0,6 - V_{DD}}{0,6 - 2 \cdot V_{DD}}\right) \quad (\text{II.1})$$

On obtient une demi-période lorsque $V_{BE}(t = 0,5 \cdot T_P) = 0,6 \text{ V}$ soit :

II.2. Etude de l'étage de sortie (PARTIE 2).

II.2.1. En supposant que le courant I_B du transistor T_3 n'a aucune influence sur le fonctionnement de l'oscillateur, donner le domaine de variation de I_B et de V_{BE} .

Si $V_A = V_{CEsat} < V_S$ alors $I_B = 0$ et $V_{BE} = V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$.

Si $V_A = V_{DD} = 9 \text{ V}$ alors $I_B = \frac{V_{DD} - V_S}{R_5 + R_S} = 0,76 \text{ mA}$ et $V_{BE} = V_S + R_S \cdot I_B = 1,36 \text{ V}$

II.2.2. En déduire le domaine de variation de I_C et de V_{CE} et dire si le transistor est en régime bloqué, linéaire ou saturé.

Si $V_A = V_{CEsat}$ alors $I_C = 0$ et $V_{CE} = V_{CEsat}$. Le transistor est bloqué.

Si $V_A = V_{DD} = 9\text{ V}$ alors $I_C = 76\text{ mA}$ et $V_{CE} = V_{DD} - R_6.I_C = 7,1\text{ V} > V_{CEsat}$. Le transistor est en régime linéaire.

II.3. Etude de la PARTIE 3.

Dire à quoi peut bien servir la capacité C_3 .