

¹CELLULE AMPLIFICATRICE A TRES FAIBLE CONSOMMATION

Dans les applications biomédicales utilisant des appareils implantés, la source d'alimentation ne peut pas évidemment être renouvelée fréquemment. D'où la conception de montages à très faible consommation. Les courants très faibles entraînent l'emploi de résistances très élevées, difficiles à réaliser sous forme intégrée, car elles exigent une grande surface de silicium.

Le montage amplificateur à deux étages donné en figure 1, comporte donc un circuit de polarisation des transistors NPN T_1 et T_2 dans lequel les résistances très fortes qui auraient été nécessaires, sont remplacées par des diodes, constituées elles-mêmes des transistors T_3 et T_4 montés en diodes par l'intermédiaire d'un court-circuit base-collecteur.

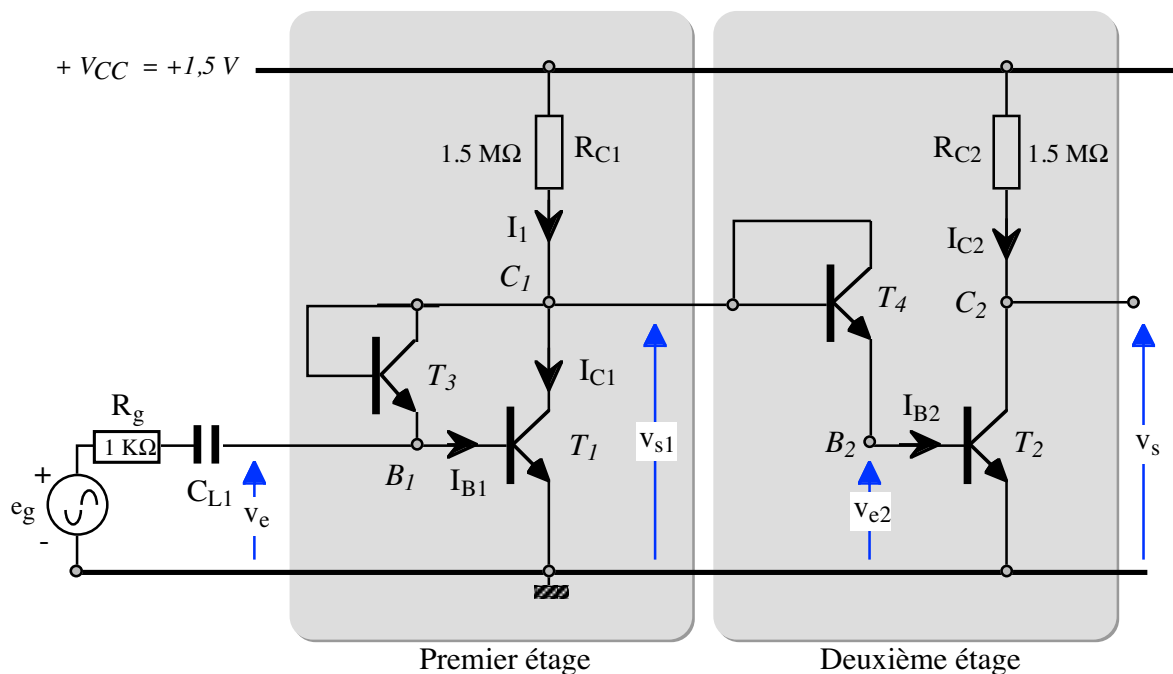


Figure 1 : schéma du montage amplificateur

La température de fonctionnement est fixée à $T = 37\text{ °C}$ où $U_T = 26,8\text{ mV}$.

Les quatre transistors sont identiques : $\beta = 100$ et la résistance r_{ce} est négligée

Dans ce problème, il ne convient pas de prendre $V_{BE} = 0,6\text{ V}$

1° PARTIE : ETUDE EN REGIME CONTINU.

On donne en figure 2 le schéma du montage en régime continu.

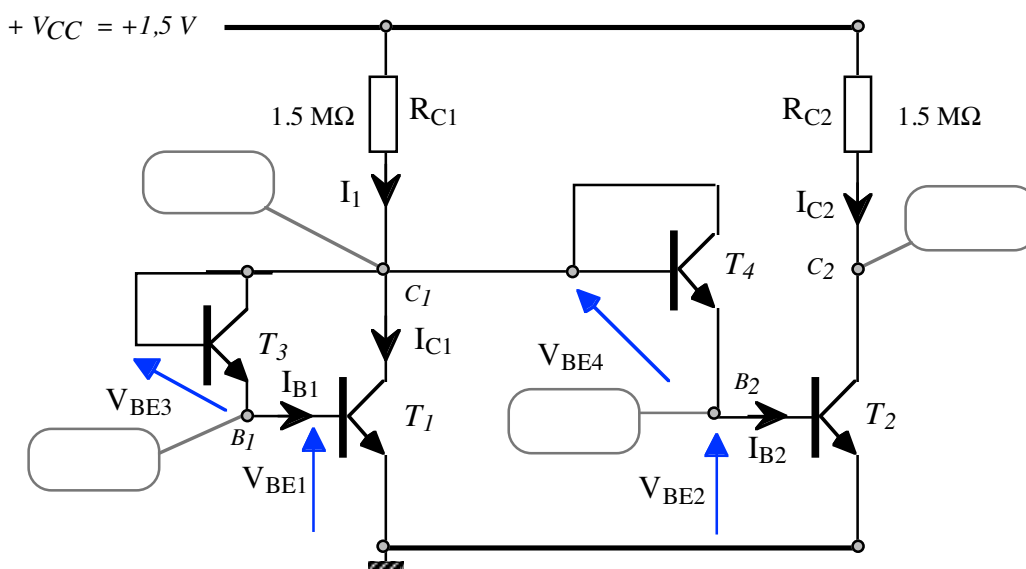


Figure 2

Les quatre transistors étant, rappelons-le, identiques avec le même gain en courant β . Ils obéissent à la loi : $I_C = I_{SBC} \exp \frac{V_{BE}}{U_T}$ (1). Le courant I_{SBC} est identique pour chaque transistor.

- 1.1) En utilisant la relation (1), montrer que la tension base émetteur V_{BE1} et V_{BE3} des transistors T_1 et T_3 vérifie la relation (2) : $V_{BE1} - V_{BE3} = U_T \ln(\beta + 1)$.
De même on admettra que : $V_{BE2} - V_{BE4} = U_T \ln(\beta + 1)$.(3).
- 1.2) En recherchant sur le schéma du montage, une autre relation liant les tensions V_{BE1} , V_{BE2} , V_{BE3} et V_{BE4} , montrer que les transistors T_1 et T_2 sont parcourus par des courants identiques :
 $I_{C1} = I_{C2} = I_C$ et $I_{B1} = I_{B2} = I_B$
- 1.3) On souhaite que le montage consomme une puissance P de $1.5 \mu W$, alimenté par une pile V_{CC} de $1,5 V$, $80 mA h$.
 - a) Déterminer l'expression du courant I_{alim} que fournit la tension d'alimentation en fonction du courant de repos de collecteur I_C des transistors et de leur gain en courant.
 - b) Compte-tenu de la puissance P que doit consommer le montage, déterminer la valeur du courant de repos de collecteur I_C des transistors.
 - c) En déduire la durée de vie de la pile exprimée en années.

Les résistances (non intégrées sur la puce de silicium), R_{C1} et R_{C2} sont choisies égales à $1,5 M\Omega$.

- 1.4) Calculer les tensions par rapport à la masse des collecteurs C_1 et C_2 . Reporter les résultats en figure 2.

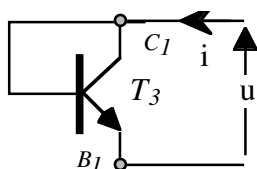
- 1.5) En utilisant les relations (2) et (3), calculer les valeurs respectives en mV des tensions V_{BE1} et V_{BE3} ainsi que V_{BE2} et V_{BE4} . Reporter les résultats dans le tableau et en figure 2.

V_{BE1}	V_{BE3}	V_{BE2}	V_{BE4}

2° PARTIE : ETUDE DE L'AMPLIFICATION AUX PETITES VARIATIONS ET AUX FREQUENCES MOYENNES

Comme il va être nécessaire d'établir le schéma équivalent de chaque étage amplificateur, il faut étudier les transistors T_3 et T_4 montés en diodes afin de les simuler par des résistances équivalentes qui seront nommées respectivement r_3 et r_4 . Ces résistances seront déterminées en utilisant la « méthode de l'ohmmètre ».

- 2.1) Dessiner le schéma équivalent de T_3 aux petites variations et aux fréquences moyennes en choisissant le schéma en « $g_{m3} v_{be3}$ » avec r_{be3} .



- 2.2) A l'aide de ce schéma, calculer l'expression de la résistance interne dynamique r_3 , équivalente à T_3 , vue entre les bornes C_1 et B_1 . A cet effet, on exprimera $r_3 = (u/i)$ en fonction des paramètres habituels du transistor.

- 2.3) Faire l'application numérique. Remplir le tableau avec les unités

I_{C3}	I_{B3}	g_{m3}	r_{be3}	r_3

- 2.4) En remplaçant T_3 et T_4 (qui sont en tout point identiques) par leurs résistances équivalentes r_3 et r_4 , dessiner ci-dessous le schéma équivalent du montage complet, aux petites variations et aux fréquences moyennes.

Le condensateur de liaison C_{L1} a une valeur suffisante pour le considérer comme un court-circuit. On veillera à marquer soigneusement la séparation entre les deux étages. Marquer aussi les nœuds B_1 , C_1 , B_2 et C_2 , les éléments contenus dans les transistors, ainsi que les diverses tensions et les expressions des générateurs de courant dépendants.

Donner l'expression du gain en tension du deuxième étage : $A_2 = \frac{v_s}{v_{s1}}$. Faire l'A.N.

- 2.5) Rechercher la résistance d'entrée R_{e2} du deuxième étage vue par la sortie du premier étage entre le collecteur C_1 de T_1 et la masse. Faire l'application numérique.

- 2.6) En exploitant le résultat de la question précédente, calculer l'expression du gain en tension du premier étage : $A_1 = \frac{v_{sl}}{v_e}$. Faire l'A.N.
- 2.7) Calculer le gain en tension A du montage complet. Faire l'A.N.
- 2.8) Déterminer la résistance d'entrée R_{e1} du premier étage vue par le générateur d'excitation (e_g, R_g) en utilisant le gain en tension A_1 obtenue. Donner le schéma d'analyse. Faire l'A.N.
- 2.9) Aux basses fréquences, on désire fixer à 40 Hz la fréquence de coupure à -3 dB du montage complet. Déterminer, en justifiant vos résultats, la valeur à donner à la capacité C_{L1} .

CORRIGE

Q11 : $I_{C1} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE1}}{U_T}\right)$ $I_{C3} = I_{SBC} \exp\left(\frac{V_{BE3}}{U_T}\right)$ soit : $\frac{I_{C1}}{I_{C3}} = \exp\left(\frac{V_{BE1} - V_{BE3}}{U_T}\right)$ (1)

Pour le transistor T_3 : $I_{C3} = I_{B1} - \frac{I_{C3}}{\beta} \rightarrow I_{C3} = I_{B1} \frac{\beta}{\beta + 1}$

Pour le transistor T_1 : $I_{C1} = \beta I_{B1}$

La relation (1) donne alors : $\beta + 1 = \exp\left(\frac{V_{BE1} - V_{BE3}}{U_T}\right)$ soit : $V_{BE1} - V_{BE3} = U_T \ln(\beta + 1)$

Par analogie : $V_{BE2} - V_{BE4} = U_T \ln(\beta + 1)$

Q12 : Le montage indique : $V_{BE3} + V_{BE1} = V_{BE4} + V_{BE2}$

La question Q11 permet d'écrire : $V_{BE1} - V_{BE3} = V_{BE2} - V_{BE4}$

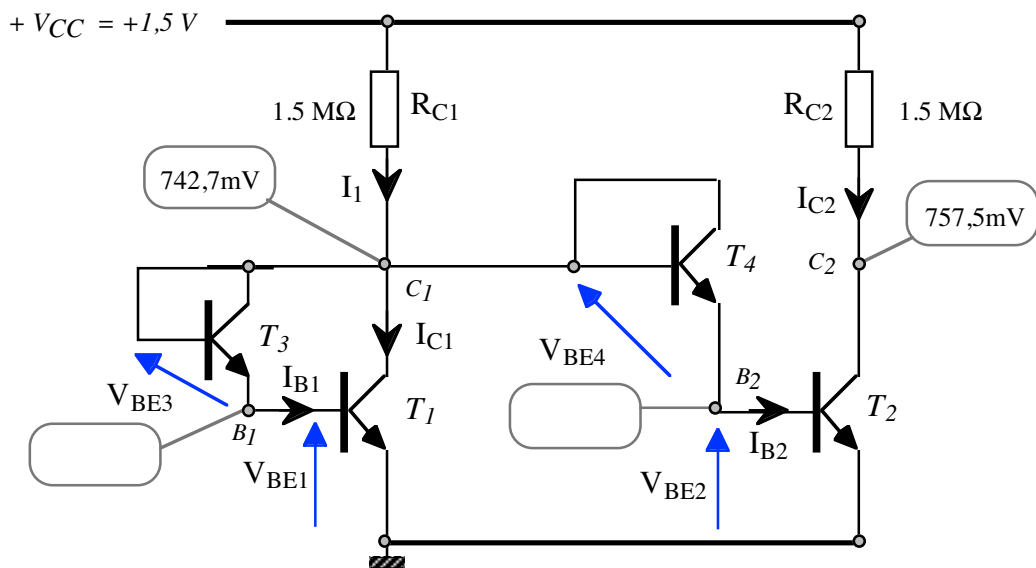
Dans ces conditions, la somme des deux équations donne : $V_{BE1} = V_{BE2}$ ce qui entraîne : $I_{C1} = I_{C2}$ et donc $I_{B1} = I_{B2}$.

Q13a : $I_{alim} = 2I_C + 2\frac{I_C}{\beta}$

Q13b : $P = V_{CC} \cdot I_{alim}$ $I_C = 495 \text{ nA}$

Q13c : $t = 9 \text{ ans}$.

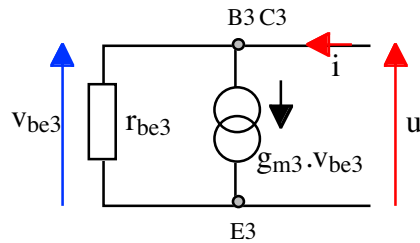
Q14 :



Q15 : $U_T = 26,8 \text{ mV}$

V_{BE1}	V_{BE3}	V_{BE2}	V_{BE4}
433mV	309,5 mV	433 mV	309,5 mV

Q21 : schéma équivalent de T_3 aux petites variations et aux fréquences moyennes :



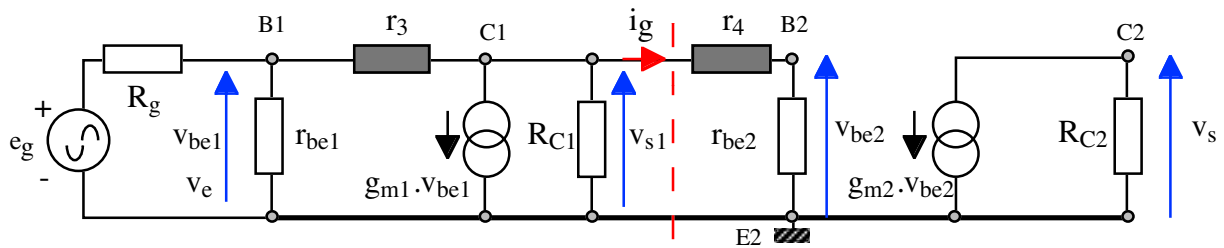
Q22 : $i = g_{m3} \cdot v_{be3} + \frac{v_{be3}}{r_{be3}}$ avec : $u = v_{be3}$

$$r_3 = \frac{u}{i} = \frac{1}{g_{m3} + \frac{1}{r_{be3}}}$$

Q23 :

I_{C3}	g_{m3}	r_{be3}	r_3
4,9 nA	182,8 nS	547 M Ω	5,42 M Ω

Q24 :



Q25 : Gain du deuxième étage :

$$A_2 = \frac{v_s}{v_{sl}} = -g_{m2} \frac{r_{be2} \cdot R_{C2}}{r_4 + r_{be2}} = -13,85$$

Q26 : Résistance d'entrée du 2^o étage :

$$R_{e2} = \frac{v_{sl}}{i_g} = r_4 + r_{be2} = 10,8 \text{ M}\Omega$$

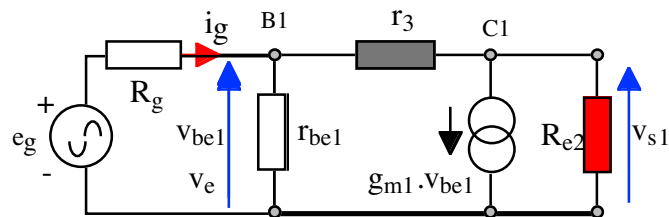
Q27 : Gain du premier étage : écrire l'équation au nœud C₁.

$$-g_{m1} \cdot v_e + \frac{v_e - v_{s1}}{r_3} - \frac{v_{s1}}{R_{eq}} = 0 \quad R_{eq} = R_{C1} // R_{e2}$$

$$A_1 = \left(\frac{1}{r_3} - g_{m1} \right) (r_3 // R_{C1} // R_{e2}) = -19,4$$

Q28 : $A = A_1 \cdot A_2 = 268,5$

Q29 : Résistance d'entrée du montage :



$$i_g = \frac{v_e}{r_{be1}} + \frac{v_e - v_{s1}}{r_3}$$

$$i_g = \frac{v_e}{r_{be1}} + \frac{v_e(1 - A_1)}{r_3}$$

$$R_{e1} = \frac{v_e}{i_g} = r_{be1} // \frac{r_3}{1 - A_1} = 340 k\Omega$$

Q210 : La constante de temps de la cellule d'entrée est : $\tau = (R_g + R_{e1})C_{L1}$.

La fréquence de coupure à -3 dB est telle que : $f_c = \frac{1}{2\pi \cdot \tau}$

On en déduit alors : $C_{L1} = 12 \text{ nF}$.