

1^{ère} PARTIE : ETAGE AMPLIFICATEUR EN EMETTEUR COMMUN

On donne en figure 1 le schéma d'un amplificateur émetteur commun à $T = 25^\circ\text{C}$, alimenté par une tension V_{CC} de 20V, dans lequel le transistor NPN T_1 possède, grâce à une valeur convenable de la résistance de polarisation R_p , un point de repos centré sur sa droite de charge.

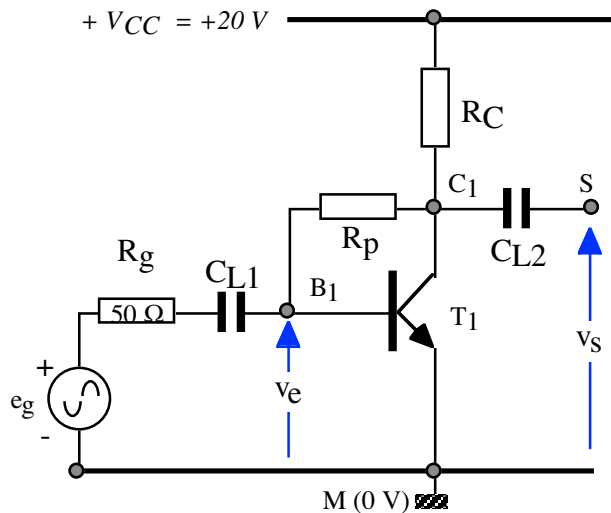


Figure 1

Le transistor T_1 possède :

- Un gain en courant β_1 de 100
- Une résistance interne r_{ce1} de 20 K Ω .

1. Dessiner le schéma qui permet de décrire le fonctionnement du montage en courant continu. Le point de repos du transistor T_1 doit être centré sur sa droite de charge avec un courant de collecteur $I_{C1\text{repos}} = 5 \text{ mA}$. Indiquer sur le schéma précédent, la valeur de la tension de tous les nœuds par rapport à la masse. Calculer la valeur à donner à la résistance R_C ainsi que la puissance qu'elle dissipe.
2. Déterminer la valeur à donner la résistance R_p . Indiquer la valeur normalisée que vous choisiriez.
3. Déterminer les paramètres g_{m1} et r_{be1} du transistor T_1 autour de son point de repos.
4. On suppose que les condensateurs C_{L1} et C_{L2} ont des valeurs suffisantes pour que leur impédance soit négligeable à la fréquence d'utilisation du montage. Compte tenu de ces hypothèses, dessiner le schéma aux petites variations équivalent au montage complet.
5. Déterminer l'expression du gain en tension du montage : $A_{v0} = \frac{v_s}{v_e}$. Faire l'application numérique.

6. Déterminer l'expression de la résistance d'entrée R_e du montage, tel que la voit le générateur d'excitation (e_g, R_g) entre B_1 et la masse. Faire l'application numérique.
7. En utilisant la méthode de l'ohmmètre, déterminer l'expression de la résistance de sortie R_s du montage vue entre le collecteur C_1 et la masse. Faire l'application numérique.

DEUXIEME PARTIE : ETAGE AMPLIFICATEUR EN E.C. CHARGE ACTIVE

Le concepteur estime que le gain en tension à vide du montage de la figure 1 est insuffisant pour l'inclure dans son montage électronique. Il modifie donc le schéma en enlevant la résistance R_C qui est remplacée par un transistor PNP T_2 qui constitue alors une "charge active" dont on va analyser les propriétés (figure 2).

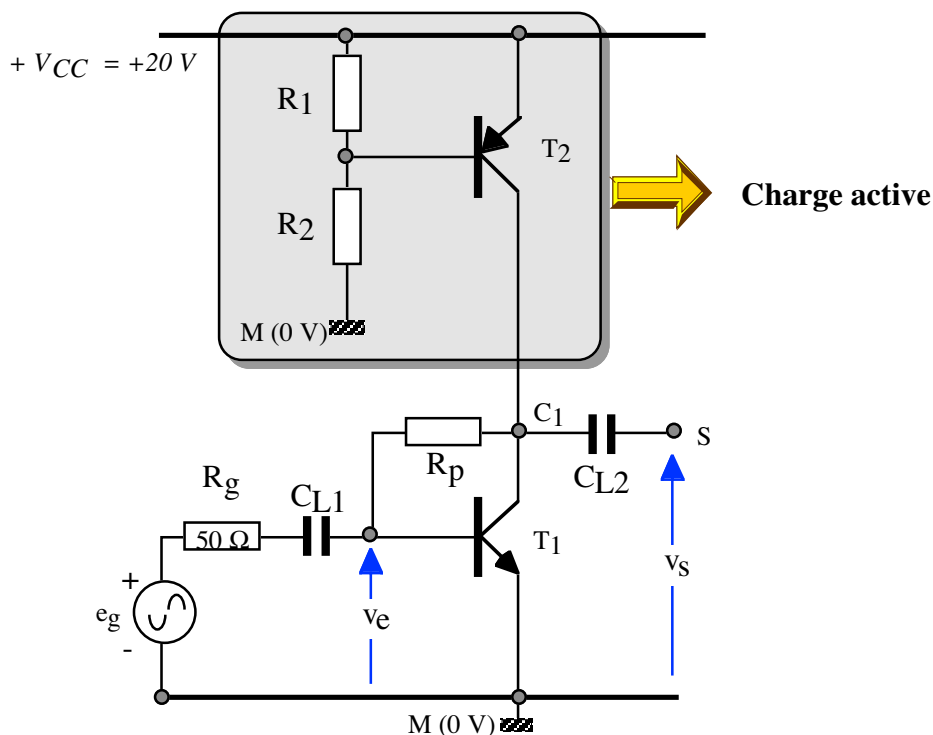


Figure 2

Le transistor PNP T_2 possède :

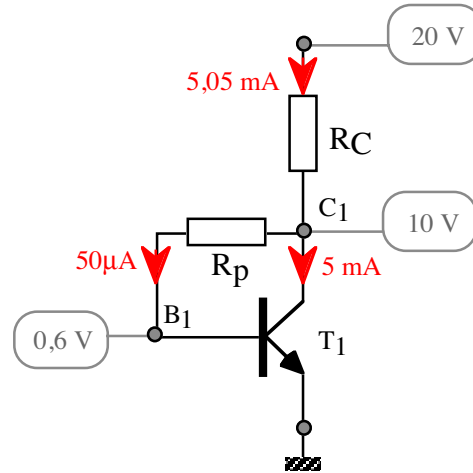
- Un gain en courant β_2 de 200
 - Une tension de Early V_{A2} est égale à 100 V.
8. En régime continu, le transistor T_1 garde les mêmes propriétés que dans la première partie. Montrer que le courant de repos de collecteur du transistor T_2 est sensiblement égal à celui de T_1 .
 9. Calculer la valeur à donner aux résistances R_1 et R_2 pour assurer la polarisation convenable du transistor T_2 .

On se propose maintenant de déterminer le gain en tension $A_{v0} = \frac{v_s}{v_e}$ du nouveau montage. Dans un premier temps, il convient de connaître aux petites variations et aux fréquences moyennes, la résistance équivalente R_i du dipôle constitué par le transistor T_2 et ses résistances R_1 et R_2 en appliquant la méthode de l'ohmmètre.

10. Dessiner le schéma équivalent aux petites variations et aux fréquences moyennes du dipôle constitué exclusivement par le transistor T_2 et ses résistances R_1 et R_2 (partie encadrée du schéma de la figure 2).
Sachant que ce dipôle est excité entre C_2 et la masse par un générateur de tension sinusoïdale u qui débite un courant i , la résistance équivalente R_i du dipôle est égale à l'expression du rapport (u / i) . *Remarque : la tension u n'est autre que la variation de la tension v_{ce1} du transistor T_1 autour de son point de repos*
11. Calculer l'expression de la résistance R_i du dipôle. Faire l'application numérique.
12. En utilisant les résultats de la question précédente et de la question 5 de la première partie, dessiner le nouveau schéma équivalent du montage amplificateur complet.
13. Calculer l'expression du nouveau gain en tension et faire l'application numérique.
14. *On connecte à la sortie du montage entre S et la masse, une résistante d'utilisation R_u .* Déterminer la valeur minimale à donner à cette résistance, de telle manière que le gain en tension du montage ne chute pas plus que 20%. Donner le schéma qui permet de faire cette étude.
15. Avec une résistance d'utilisation R_u de $37 \text{ K}\Omega$, évaluer les capacités C_{L1} et C_{L2} pour qu'à la fréquence de 20 Hz, l'atténuation qu'elles apportent chacune par rapport aux fréquences moyennes soit égale 3 dB. Donner le schéma qui permet de faire cette étude.

CORRECTION

1. Schéma du montage en mode continu.



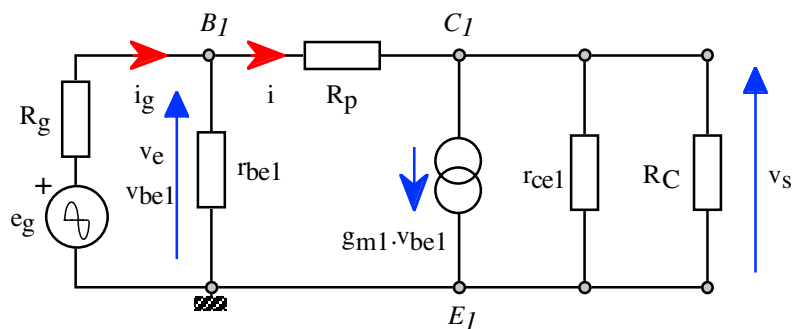
Sachant que le point de repos est centré, la tension V_{CE} du transistor est égale à $V_{CC}/2$ soit 10V. On obtient alors : $R_C = 2 \text{ k}\Omega$ en négligeant I_B devant I_C . Puissance dissipée : 50 mW.

2. Valeur de la résistance R_p : 188 k Ω soit 180 k Ω normalisé.

3. Transconductance à 25°C : $g_{m1} = \frac{I_C}{U_T} = 200 \text{ mS}$.

Résistance dynamique de la jonction base émetteur : $r_{be1} = \beta \frac{U_T}{I_C} = 500 \Omega$.

4. Schéma aux petites variations équivalent au montage complet.



5. Gain en tension du montage. Ecrivons l'équation au nœud C_1 :

$$\frac{v_e - v_s}{R_p} - g_{m1} v_{be1} - \frac{v_s}{r_{ce1} // R_C} = 0$$

Sachant que $v_{be1} = v_e$, on obtient :

$$A_{v0} = \frac{v_s}{v_e} = -\left(g_{m1} - \frac{1}{R_p}\right)(R_p // r_{ce1} // R_C) = -360$$

6. Résistance d'entrée R_e du montage. Par définition : $R_e = \frac{v_e}{i_g}$.

La résistance r_{be1} se trouve en parallèle avec la tension v_e aussi, on peut directement en tenir compte et écrire : $R_e = r_{be1} // \frac{v_e}{i}$.

Exprimons la tension v_e en fonction du courant i :

$$v_e = R_p i + (r_{ce1} // R_C)(i - g_{m1} v_e)$$

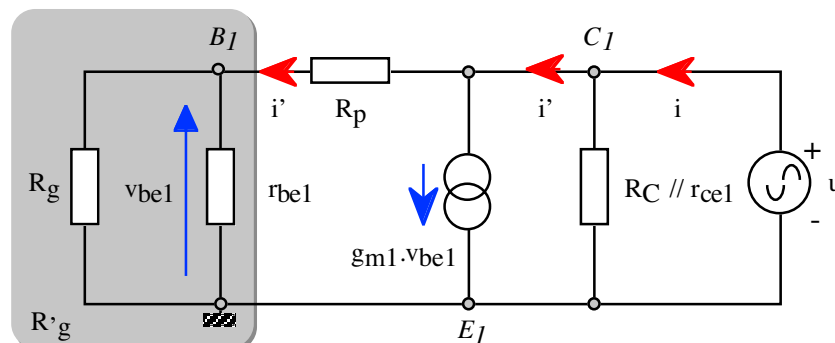
$$\frac{v_e}{i} = \frac{R_p + (r_{ce1} // R_C)}{1 + g_{m1}(r_{ce1} // R_C)}$$

$$R_e = r_{be1} // \frac{R_p + (r_{ce1} // R_C)}{1 + g_{m1}(r_{ce1} // R_C)} = 256 \Omega$$

7. Résistance de sortie R_s du montage vu entre le collecteur C_1 et la masse. On utilise la méthode de l'ohmmètre qui consiste à :

- Court-circuiter le générateur indépendant e_g
- Disposer en sortie d'un générateur u qui débite un courant i .
- Alors : $R_s = \frac{u}{i}$

Le schéma d'analyse est donc le suivant :



La résistance $(R_C // r_{ce1})$ est en parallèle avec le générateur u , aussi on peut écrire directement : $R_s = r_{ce1} // R_C // \frac{u}{i'}$

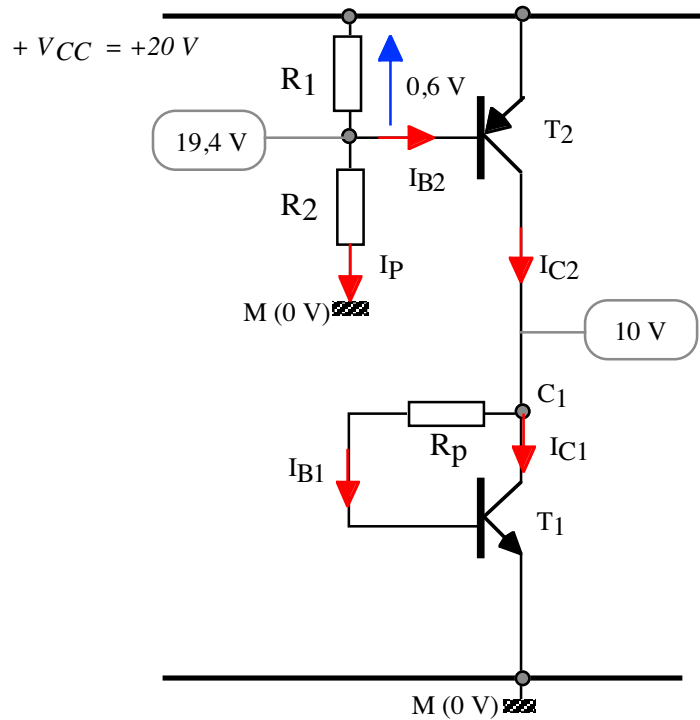
Remarque : pour démontrer cette relation pratique permettant d'obtenir une relation « compacte », il suffit d'écrire l'équation au nœud C_1 .

$$u = R_p(i' - g_{m1}v_{be1}) + R'_g i'$$

$$v_{be1} = R'_g i' = u \frac{R'_g}{R_p + R'_g}$$

$$R_s = r_{ce1} // R_C // \frac{R'_g + R_p}{1 + g_{m1}(R'_g // R_p)} = 1,6 k\Omega$$

8. Schéma du montage en régime continu.

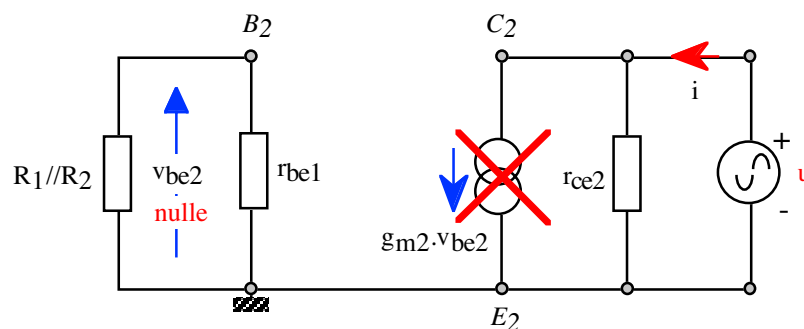


$$I_{C2} = I_{C1} + I_{B1} = I_{C1} \left(1 + \frac{1}{\beta_1}\right) \approx I_{C1} = 5 \text{ mA}$$

9. Courant de base de T_2 : $I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_2} = 25 \mu\text{A}$. Le courant de pont I_p qui circule dans R_2 doit être choisi tel que : $250 \mu\text{A} \leq I_p \leq 500 \mu\text{A}$.

Pour $I_p = 250 \mu\text{A}$, on obtient : $R_1 = 2,4 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 70 \text{ k}\Omega$.

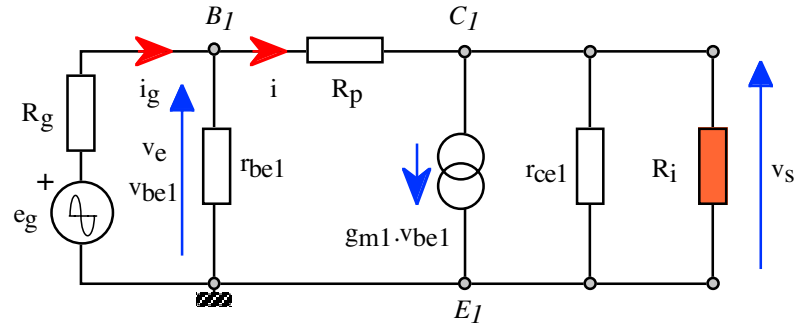
10. Schéma équivalent aux petites variations et aux fréquences moyennes du dipôle constitué exclusivement par le transistor T_2 et ses résistances R_1 et R_2 .



11. L'entrée du montage est isolée, aussi la tension v_{be2} est nulle. Le générateur de courant dépendant est alors nul. Dans ces conditions :

$$R_i = \frac{u}{i} = r_{ce2} = \frac{|V_{A2}| + |V_{CE2}|}{I_{C2}} = 22 \text{ k}\Omega$$

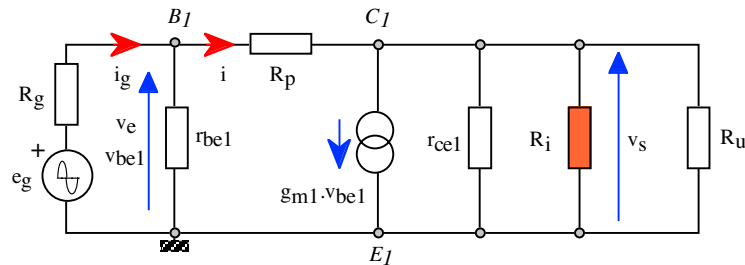
12. Nouveau schéma équivalent du montage amplificateur complet. La résistance R_i remplace la résistance de charge R_C précédente.



13. Expression du nouveau gain en tension.

$$A_{v0} = \frac{v_s}{v_e} = -\left(g_{m1} - \frac{1}{R_p}\right)(R_p // r_{ce1} // R_i) = -1985$$

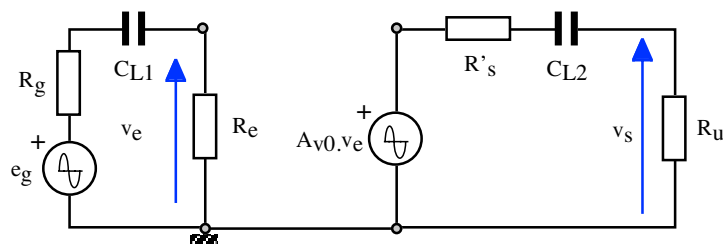
14. Schéma avec la résistance d'utilisation R_u .



Avec R_u , le gain devient : $A_v = \frac{v_s}{v_e} = -\left(g_{m1} - \frac{1}{R_p}\right)(R_p // r_{ce1} // R_i // R_u)$

Valeur de R_u pour obtenir une chute de 20% du gain A_{v0} : $R_u = 37 \text{ k}\Omega$.

15. Schéma du montage aux basses fréquences.



R_e représente la résistance d'entrée du montage, soit pour le nouveau montage :

$$R_e = r_{be1} // \frac{R_p + (r_{ce1} // R_i // R_u)}{1 + g_{m1}(r_{ce1} // R_i // R_u)} = 96\Omega$$

R'_s représente la résistance de sortie du montage vue par R_u , soit :

$$R'_s = r_{ce1} // R_i // \frac{R'_g + R_p}{1 + g_{m1}(R'_g // R_p)} = 1,53\text{k}\Omega$$

Les cellules RC d'entrée et de sortie ont une fréquence de coupure - 3dB telle que :

$$f_{ce} = \frac{1}{2\pi(R_g + R_e)C_{L1}} = 20\text{Hz} \qquad f_{cs} = \frac{1}{2\pi(R'_s + R_u)C_{L2}} = 20\text{Hz}$$

Compte tenu des valeurs numériques, on en déduit : $C_{L1} = 0,54 \mu\text{F}$ et $C_{L2} = 206 \text{ nF}$