

1^{AMPLIFICATEUR DEPHASEUR A TRANSISTORS NPN ET PNP}

On veut réaliser l'amplificateur de la figure 1, dans lequel les transistors T_1 et T_2 , au silicium, sont rigoureusement complémentaires.

Leur gain en courant β vaut 100 et leur tension de Early V_A sera supposée très grande. Le montage utilise deux tensions d'alimentation : $V_{CC} = V_{EE} = 12V$. La température est fixée à $25^\circ C$.

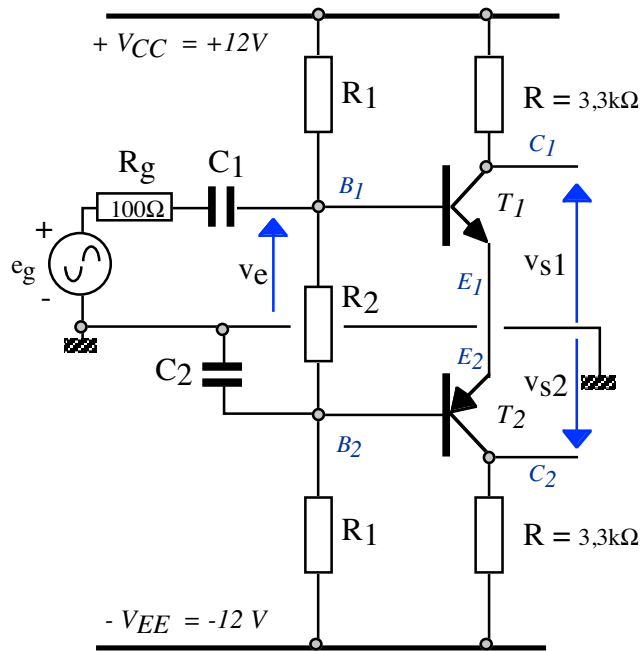


Figure 1 : Schéma du montage

1^{ère} PARTIE : ETUDE DE LA POLARISATION

1. Dessiner le schéma qui permet de décrire le fonctionnement du montage en courant continu.
2. Montrer que les courants de repos de collecteur des transistors T_1 et T_2 sont identiques.
3. Sachant que le montage est symétrique par rapport à la masse, en l'absence de signal variable, les émetteurs E_1 et E_2 sont au potentiel zéro volt. On veut que le courant de collecteur soit de 2 mA. Indiquer sur le schéma les valeurs des tensions en tout points par rapport à la masse.
4. Déterminer les valeurs de R_1 et R_2 pour assurer le point de repos choisi pour chacun des transistors. Indiquer la valeur normalisée que vous choisiriez.

2^{ème} PARTIE : ETUDE AUX PETITES VARIATIONS

5. Sachant que les courants de repos des deux transistors sont identiques, montrer très simplement qu'en régime variable, les deux tensions de sortie v_{s1} et v_{s2} sont d'égale amplitude et en opposition de phase.

La suite du problème consiste à déterminer les caractéristiques du montage aux petites variations. On supposera que les condensateurs C_1 et C_2 présentent une impédance négligeable pour la fréquence de travail.

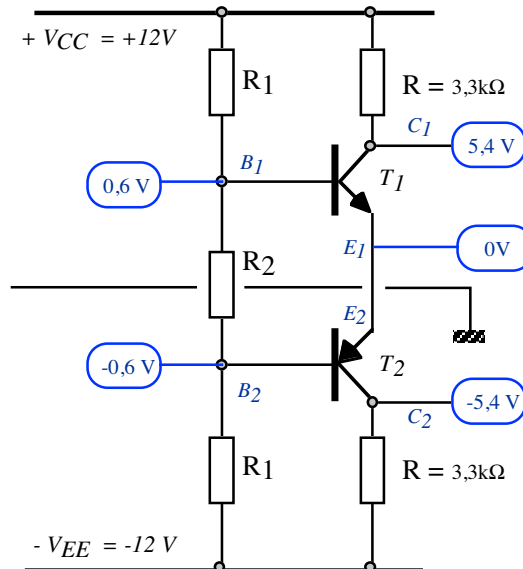
6. Dans ces conditions, dessiner le schéma aux petites variations équivalent au montage. Indiquer le type de montage de T_2 .
7. Ecrire l'équation reliant les tensions v_{be1} , v_{be2} et la tension d'entrée v_e . En déduire l'expression du gain en « tension différence » : $A_d = \frac{v_{s1} - v_{s2}}{v_e}$. Faire l'application numérique.
8. Pour préparer le calcul du gain de la « voie 1 » soit : $A_1 = \frac{v_{s1}}{v_e}$, il est nécessaire de simuler la présence de T_2 dans le circuit d'émetteur de T_1 par une résistance interne équivalente R_E . Pour cela, redessiner la partie du schéma constituée par T_2 et ses éléments associés et vue par T_1 entre son émetteur E_1 et la masse.
9. Rechercher l'expression de la résistance de simulation R_E . Faire l'A.N.
10. Compte tenu de cette simulation, redessiner le schéma équivalent qui permet le calcul du gain A_1 . Faire ce calcul, en mettant en évidence une propriété simple liant v_e et v_{be1} . A.N.
11. En exploitant le résultat de la question 7, déterminer le gain de la voie 2 : $A_2 = \frac{v_{s2}}{v_e}$.
12. Calculer la résistance d'entrée R_e de l'amplificateur vue par le générateur d'attaque (e_g , R_g) entre B_1 et la masse. A.N.
13. Déterminer la valeur de la résistance de sortie du montage sur les deux voies R_{s1} et R_{s2} . A.N.

3^{ème} PARTIE : FONCTIONNEMENT EN BASSE FREQUENCE

14. En supposant négligeable l'impédance du condensateur C_1 , dessiner le schéma équivalent qui permet de déterminer la résistance de sortie R'_s du montage vue par la capacité de découplage C_2 entre B_2 et la masse.
15. Calculer cette résistance de sortie R'_s . A.N.
16. Calculer la valeur de la capacité C_2 , satisfaisant à une fonction découplage égale à $-1/100$ de dB à une fréquence de 100 Hz.
17. On désire que la fréquence de coupure basse f_b à -3 dB de l'amplificateur soit égale à 1000 Hz. En déduire la valeur de la capacité C_1 sachant que l'impédance de C_2 est négligeable à la fréquence f_b .

CORRECTION

1. Schéma en continu :

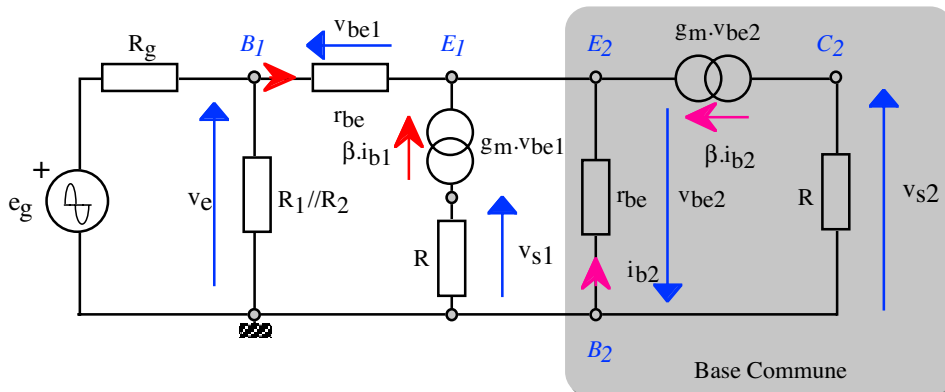


2. Les courants d'émetteurs I_{E1} et I_{E2} sont rigoureusement identiques. Les courants de collecteur : $I_C = \frac{I_E}{1 + \beta}$ sont donc égaux.
3. Tensions par rapport à la masse : voir figure précédente.
4. Le courant de base I_B de T_1 et T_2 est égal à $20 \mu\text{A}$. On choisit un courant I_p dans R_2 compris entre 200 et $400 \mu\text{A}$.
Si $I_p = 200 \mu\text{A}$, on obtient : $R_1 = 51,8 \text{ k}\Omega$ ($47 \text{ k}\Omega$) et $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$ ($5,6 \text{ k}\Omega$).

5. Si les courants de collecteur I_{C1} et I_{C2} de T_1 et T_2 sont égaux en mode continu, avec la même droite de charge, les variations i_{c1} et i_{c2} sont aussi égales.

$$v_{s1} = -R i_{c1} \quad v_{s2} = R i_{c2} \quad \frac{v_{s1}}{v_{s2}} = -1$$

6. Schéma aux petites variations équivalent au montage.

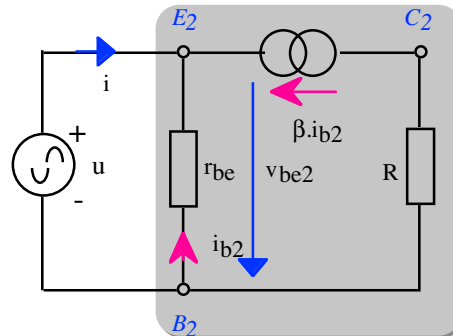


$$7. \quad v_e = v_{be1} - v_{be2} \quad v_{s1} = -g_m v_{be1} R \quad v_{s2} = -g_m v_{be2} R$$

$$v_{s1} - v_{s2} = g_m R (v_{be2} - v_{be1})$$

$$A_d = \frac{v_{s1} - v_{s2}}{v_e} = -g_m R = -264$$

8. Schéma de la « charge active » de T_1 .

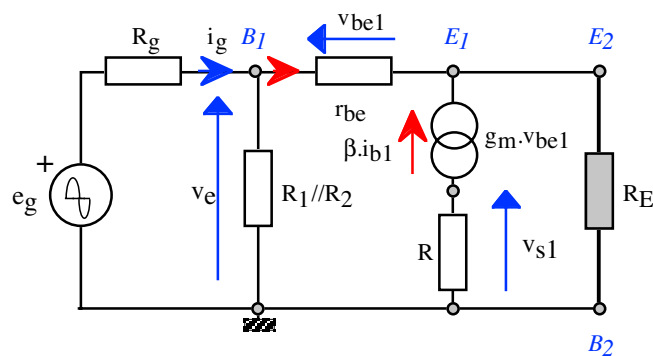


9. Pour obtenir la résistance de simulation R_E , on place entre E_2 et B_2 , un générateur de tension u qui débite un courant i . On a alors : $R_E = \frac{u}{i}$. Equation au nœud E_1 :

$$i + (\beta + 1)i_{b2} = 0 \quad \text{avec : } i_{b2} = -\frac{u}{r_{be}}$$

$$R_E = \frac{r_{be}}{\beta + 1} = 12,4 \Omega$$

10. Nouveau schéma équivalent :



Exprimons la tension aux bornes de R_E : $(\beta + 1)i_{b1}R_E = (\beta + 1)i_{b1} \frac{r_{be}}{(\beta + 1)} = r_{be}i_{b1} = v_{be1}$.

On a alors : $v_e = 2v_{be1}$

$$A_1 = \frac{-\beta R i_{b1}}{2r_{be}i_{b1}} = -\frac{\beta R}{2r_{be}} = -132$$

11. Selon Q7 : $A_d = \frac{v_{s1} - v_{s2}}{v_e} = -g_m R = -\frac{\beta R}{r_{be}} - 264$.

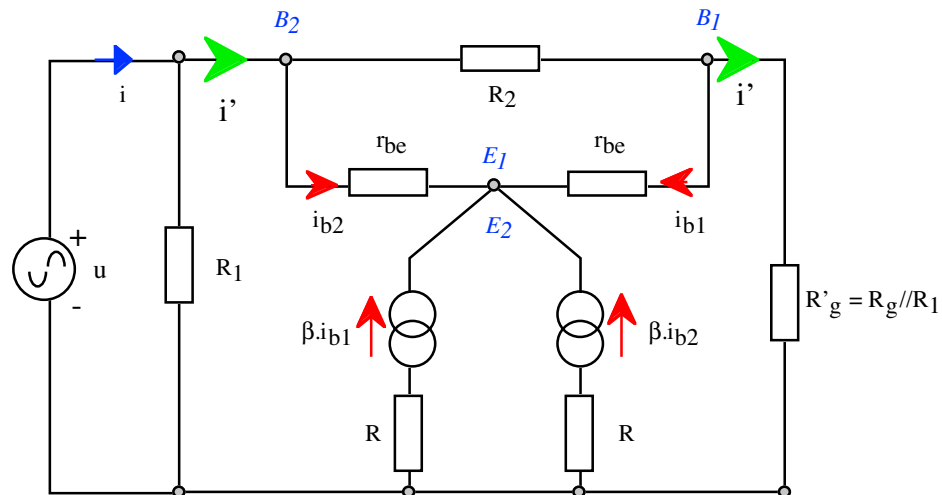
$$A_2 = \frac{v_{s2}}{v_e} = -A_d + \frac{v_{s1}}{v_e} = \frac{\beta R}{2r_{be}} = 132$$

12. Résistance d'entrée du montage : $R_e = \frac{v_e}{i_g} = R_1 // R_2 // \frac{v_e}{i_{b1}} = R_1 // R_2 // 2r_{be} = 1,67k\Omega$

13. Pour obtenir la résistance de sortie, on doit annuler e_g selon la méthode de « l'ohmmètre ». Dans ces conditions les courants de base i_{b1} et i_{b2} sont nuls car $v_e = 2v_{be1}$. Les générateurs dépendants $\beta.i_{b1}$ et $\beta.i_{b2}$ sont alors nuls. On en déduit :

$$R_{s1} = R_{s2} = R = 3,3k\Omega$$

14. Schéma équivalent qui permet de déterminer la résistance de sortie R'_s du montage vue par la capacité de découplage C_2 entre B_2 et la masse.



15. La résistance de sortie du montage vue par la capacité C_2 est telle que : $R'_s = R_1 // \frac{u}{i'}$.

$$\text{Nœud } B_2 : i' + \frac{R'_s i' - u}{R_2} + \frac{R'_s i' - u}{2r_{be}} = 0$$

$$i' \left[1 + \frac{R'_g}{R_2} + \frac{R'_g}{2r_{be}} \right] = u \left[\frac{1}{R_2} + \frac{1}{2r_{be}} \right]$$

$$R'_s = R_1 // \frac{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{2r_{be}}}{1 + \frac{R'_g}{R_2} + \frac{R'_g}{2r_{be}}} = 1,79k\Omega$$

16. On rappelle l'expression de la fonction découplage : $F_{\text{découp}} = -10 \log \left[1 + \frac{1}{(\omega R'_s C_2)^2} \right]$.

Une fonction découplage égale à $-1/100$ de dB à une fréquence de 100 Hz conduit à choisir : $C_2 = 20 \mu\text{F}$.

17. Pour calculer C_1 , recherchons la valeur de la constante de temps du circuit d'entrée de l'amplificateur :

$$\tau_e = (R_g + R_e)C_1 = \frac{1}{2\pi f_b} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

On en déduit alors : $C_1 = 90 \text{ nF}$.