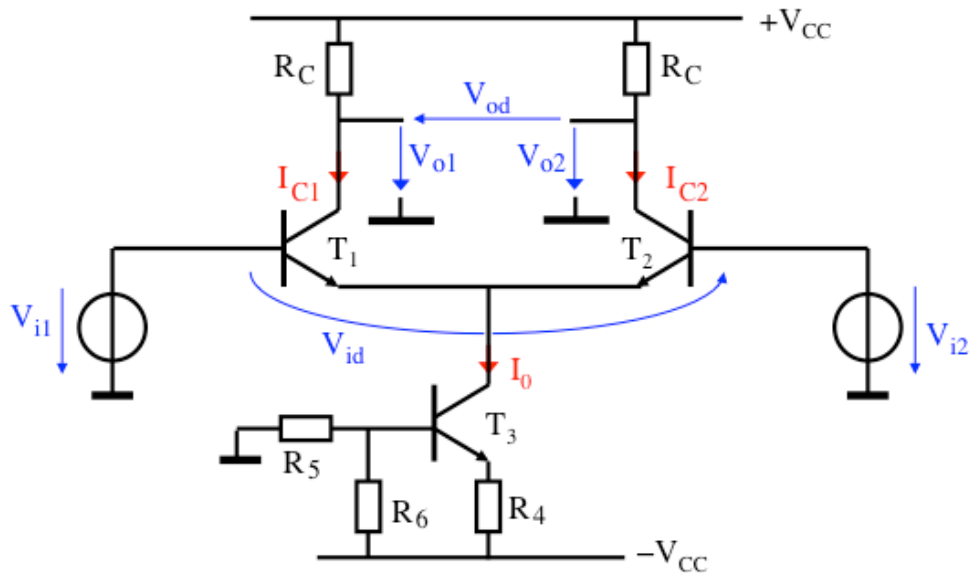


Circuits et Systèmes Electroniques

Exercice 1 Paire Différentielle

Soit la paire différentielle T_1 - T_2 avec sa source de courant de polarisation réalisée par T_3 :



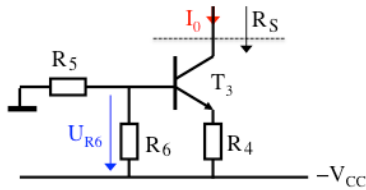
Tous les transistors sont identiques : $\beta = 300$, $V_A = 75 \text{ V}$
 $R_C = 2 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 1.5 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 6.8 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 3.9 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 10 \text{ V}$

Calculer :

- le courant de polarisation I_0 ainsi que la résistance de sortie R_s de la source de courant ;
- la résistance d'entrée différentielle ;
- le gain en tension en mode différentiel des sorties asymétriques et différentielle (dite aussi symétrique) ;
- la résistance de sortie différentielle et celle des sorties asymétriques ;
- le gain en tension en mode commun des sorties asymétriques, ainsi que le taux de réjection de mode commun ;
- la dynamique des sorties ;
- la dynamique d'entrée en mode commun, garantissant encore un fonctionnement inchangé en mode différentiel avec la pleine dynamique de sortie.

Circuits et Systèmes Electroniques I
Exercice I Corrigé

a) Source de courant constant



Si l'on néglige le courant de base par rapport à celui à travers R5 et R6

$$U_{R6} = V_{CC} \frac{R_6}{R_5 + R_6} \approx 3.64 \text{ V} \quad \text{et} \quad I_0 = \frac{V_{CC} \frac{R_6}{R_5 + R_6} - U_j}{R_4} \approx 2 \text{ mA}$$

La résistance de sortie est celle d'accès au collecteur de T3 :

$$R_S = \frac{1}{g_{ce3}} \cdot \frac{1 + g_{m3}R_E + g_{be3}R_B}{1 + g_{be3}(R_E + R_B)}$$

avec:

$$g_{m3} = \frac{I_0}{U_T} = 77 \text{ mA/V} \quad g_{be3} = \frac{g_{m3}}{\beta_3} = 0.26 \text{ mA/V} \quad g_{ce3} = \frac{I_0}{V_{A3}} = 27 \mu\text{A/V}$$

$$R_E = R_4 = 1500 \Omega \gg \frac{1}{g_{m3}} = 13 \Omega \quad R_B = R_5 // R_6 = 2500 \Omega < \frac{1}{g_{be3}} = 3900 \Omega$$

$$R_E + R_B = R_4 + (R_5 // R_6) = 4000 \Omega \approx \frac{1}{g_{be3}} = 3900 \Omega$$

$$\Rightarrow R_S \approx \frac{1}{g_{ce3}} \cdot \frac{g_{m3}R_4}{1 + g_{be3}(R_4 + (R_5 // R_6))} \approx 2 \text{ M}\Omega$$

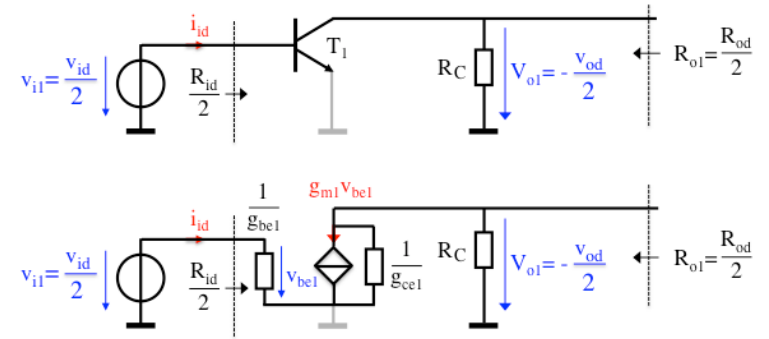
Au repos, chacun des transistors T1 et T2 est parcouru par $\frac{I_0}{2} = 1 \text{ mA}$.

$$g_{m1ou2} = \frac{I_0/2}{U_T} = 38 \text{ mA/V}$$

$$g_{be1ou2} = \frac{I_0/2}{\beta_{1ou2}U_T} = 0.13 \text{ mA/V}$$

$$g_{ce1ou2} = \frac{I_0/2}{V_{A1ou2}} = 13 \mu\text{A/V}$$

b), c) et d) Le demi-schéma équivalent en mode différentiel est :



Il s'agit donc d'un amplificateur Emetteur Commun

$$\frac{v_{o1}}{v_{i1}} = \frac{v_{o1}}{v_{id}/2} = -g_{m1}(R_C // \frac{1}{g_{ce1}}) \approx -g_{m1}R_C \quad \text{car } R_C = 2 \text{ k}\Omega \ll \frac{1}{g_{ce1}} = 77 \text{ k}\Omega$$

$$A_{vd1} = \frac{v_{o1}}{v_{id}} = -\frac{g_{m1}R_C}{2} = -\frac{I_0 R_C}{4U_T} = -38 \quad (\text{sortie asymétrique})$$

$$A_{vd2} = \frac{v_{o2}}{v_{id}} = +\frac{g_{m2}R_C}{2} = +\frac{I_0 R_C}{4U_T} = +38 \quad (\text{sortie asymétrique})$$

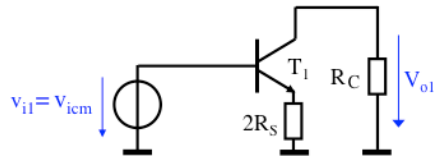
$$A_{vd} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = +g_{m1ou2}R_C = +\frac{I_0 R_C}{2U_T} = +76 \quad (\text{sortie différentielle})$$

$$R_{id} = \frac{v_{id}}{i_{id}} = \frac{2}{g_{be}} = 15 \text{ k}\Omega$$

$$R_{o1} = R_{o2} = (R_C // \frac{1}{g_{ce1ou2}}) \approx R_C = 2 \text{ k}\Omega \quad \text{car } R_C = 2 \text{ k}\Omega \ll \frac{1}{g_{ce1ou2}} = 75 \text{ k}\Omega$$

$$R_{od} = R_{o1} + R_{o2} \approx 2R_C = 4 \text{ k}\Omega$$

e) Le demi-schéma équivalent en mode commun est :



Il s'agit donc d'un amplificateur Emetteur Commun Dégénéré

En négligeant g_{ce} (voir cours):

$$A_{vcm} = \frac{v_{oc}}{v_{icm}} = -\frac{g_{m1ou2}R_C}{1+g_{m1ou2}2R_S} \approx -\frac{R_C}{2R_S} = -5 \cdot 10^{-4}$$

$$CMRR = \frac{|A_{vd1ou2}|}{|A_{vcm}|} = \frac{I_0 R_C}{4U_T} \frac{2R_S}{R_C} = \frac{I_0 2R_S}{4U_T} = 7.6 \cdot 10^4 \quad \text{soit } 98 \text{ dB}$$

f) La dynamique de sortie.

Avec une tension différentielle d'entrée $v_{id} \approx \pm 100 \text{ mV}$, et si aucun transistor ne sature, tout le courant I_0 (à moins de 2% près) passe dans l'un des transistors de la paire différentielle, et quasiment rien dans l'autre.

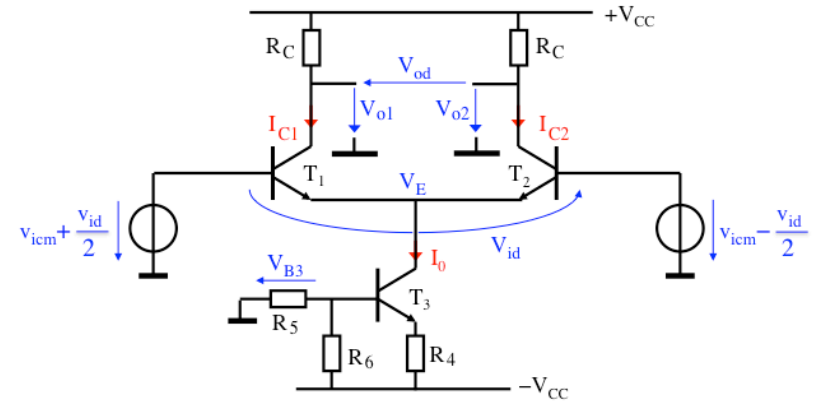
$$V_{o1ou2,max} = V_{CC} - R_C \cdot 0 = V_{CC} = +10 \text{ V}$$

$$V_{o1ou2,min} = V_{CC} - R_C \cdot I_0 = +6 \text{ V}$$

$$V_{od,max} = +R_C \cdot I_0 = +4 \text{ V}$$

$$V_{od,min} = -R_C \cdot I_0 = -4 \text{ V}$$

g) En présence de mode commun, la situation est la suivante :



La condition théorique pour qu'un transistor NPN ne sature pas est :

$$V_{CB} \geq 0 \quad \Leftrightarrow \quad V_C \geq V_B \quad \Leftrightarrow \quad V_{CE} \geq U_j \approx 0.7 \text{ V}$$

Dans la pratique on peut tolérer :

$$V_{CB} \geq -0.4 \text{ V} \quad \Leftrightarrow \quad V_{CE} \geq 0.3 \text{ V}$$

Pour qu'aucun des transistors T_1 ou T_2 ne sature, tout en gardant la dynamique de sortie maximum, et en négligeant $v_{id}/2$ par rapport à V_{icm} , il faut théoriquement :

$$V_{icm} \leq V_{o1ou2,min} = V_{CC} - R_C \cdot I_0 \quad \Rightarrow \quad V_{icm} \leq V_{CC} - R_C \cdot I_0$$

$$V_{icm,max} = V_{CC} - R_C \cdot I_0 = +6 \text{ V}$$

Pour que T_3 ne sature pas, afin que la source de polarisation fonctionne correctement, et en négligeant $v_{id}/2$ par rapport à V_{icm} , il faut théoriquement :

$$V_{C3} = V_E = V_{icm} - U_j \geq V_{B3} = -V_{CC} \frac{R_5}{R_5 + R_6} = -6.4 \text{ V} \quad (\text{en négligeant } I_{B3})$$

$$V_{icm,min} = -V_{CC} \frac{R_5}{R_5 + R_6} + U_j = -5.7 \text{ V}$$