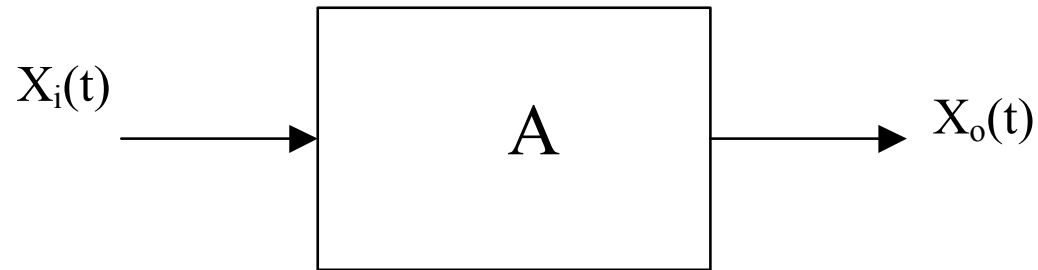


Chapitre 2

Etages amplificateurs

2.1. Introduction

2.1. Introduction



$$X_o(t) = AX_i(t - \tau)$$

$$P_o > P_i$$

(pour amplificateurs linéaires)

2.1.1. Paramètres

2.1.1. Paramètres:

$$Z_i = \frac{v_I}{i_I}$$

$$A_i = \frac{i_O}{i_I}$$

$$Z_o = \frac{v_O}{i_O}$$

$$A_z = \frac{v_O}{i_I}$$

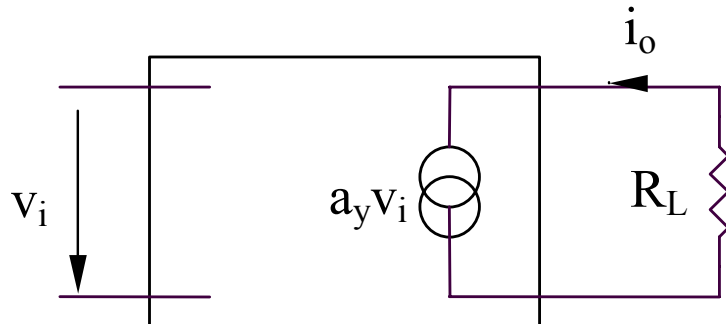
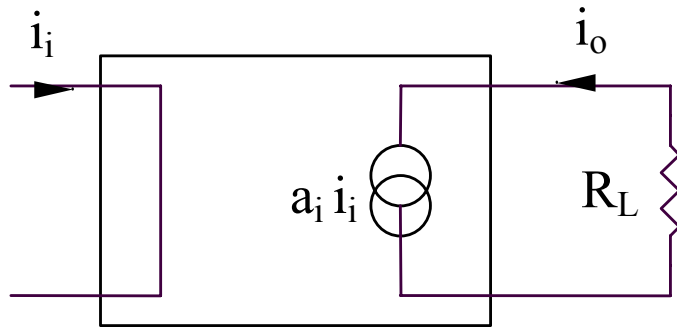
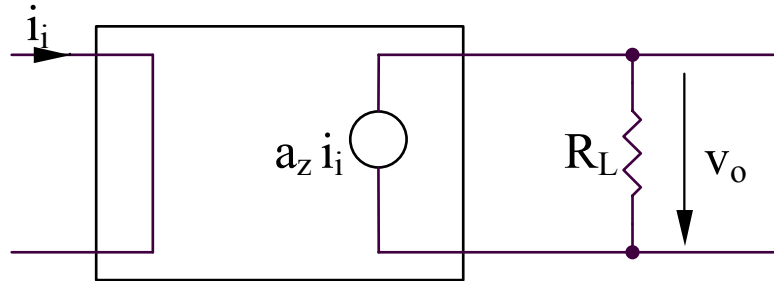
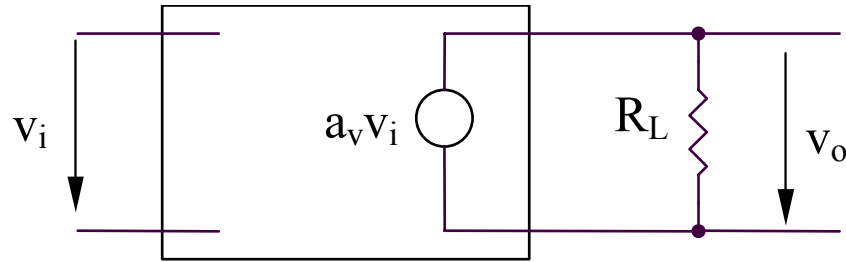
$$A_v = \frac{v_O}{v_I}$$

$$A_Y = \frac{i_O}{v_I}$$

$$A_p = \frac{P_O}{P_I}$$

2.1.2. Amplificateurs idéales

2.1.2. Amplificateurs idéales



Amplificateur de tension

$$v_O = a_v v_I \quad i_I = 0; P_i = 0$$
$$R_i \rightarrow \infty; R_o = 0$$

Amplificateur transimpédance

$$v_O = a_z i_I \quad v_I = 0; P_i = 0$$
$$R_i = 0; R_o = 0$$

Amplificateur de courant

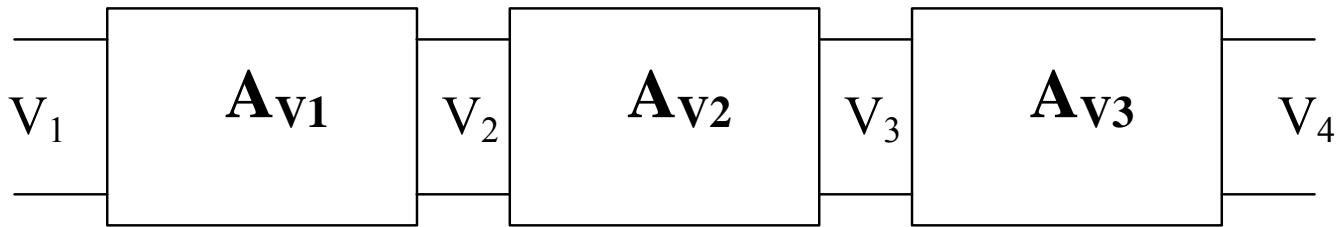
$$i_O = a_i i_I \quad v_I = 0; P_i = 0$$
$$R_i = 0; R_o \rightarrow \infty$$

Amplificateur transadmittance

$$i_O = a_y v_I \quad i_I = 0; P_i = 0$$
$$R_i \rightarrow \infty; R_o \rightarrow \infty$$

2.2. Le couplage des amplificateurs

2.2. Le couplage des amplificateurs



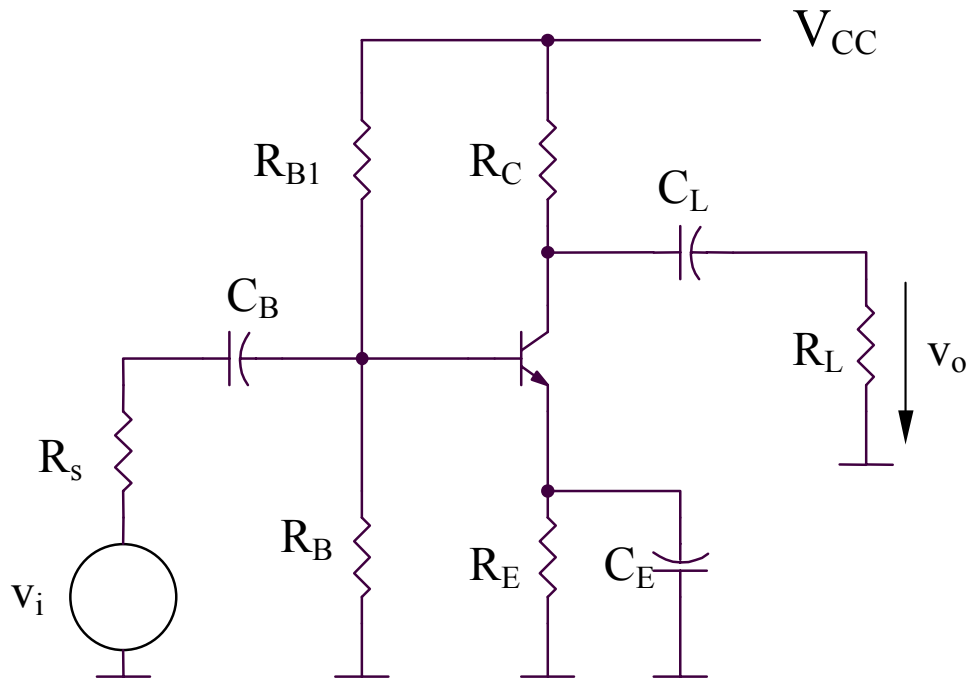
$$A_V = \frac{V_4}{V_1} = A_{V1}A_{V2}A_{V3}$$

$$A_V (dB) = A_{V1}(dB) + A_{V2}(dB) + A_{V3}(dB)$$

2.3. Etages amplificateurs avec un transistor

2.3.1. Montage émetteur commun

2.3.1. Montage émetteur commun



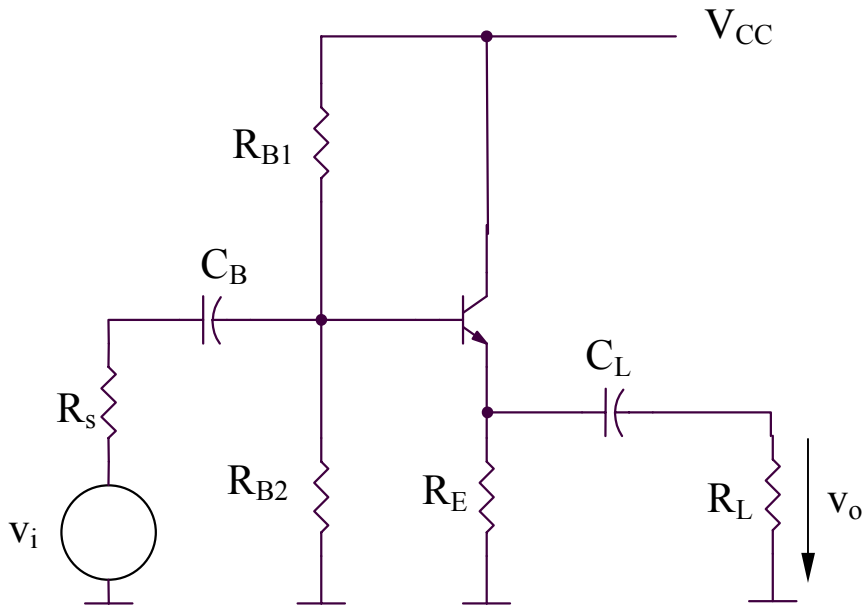
$$A_V = -g_m (R_C // R_L)$$

$$R_i = r_\pi // R_{B1} // R_{B2}$$

$$R_o = R_L // R_C // r_o$$

2.3.2. Montage collecteur commun

2.3.2. Montage collecteur commun



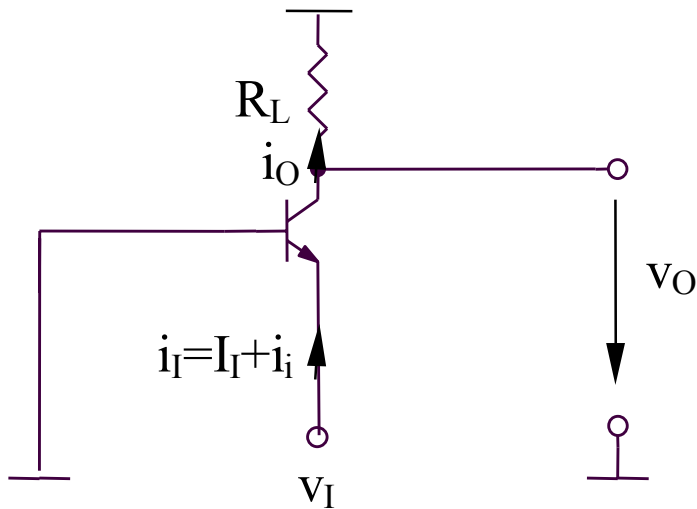
$$A_V = \frac{(\beta + 1)(R_E // R_L)}{r_{\pi} + (\beta + 1)(R_E // R_L)}$$

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // [r_{\pi} + (\beta + 1)(R_E // R_L)]$$

$$R_o = R_E // R_L // 1 / g_m$$

2.3.3. Montage base commune

2.3.3. Montage base commune



$$A_i = \frac{i_O}{i_I} \cong 1$$

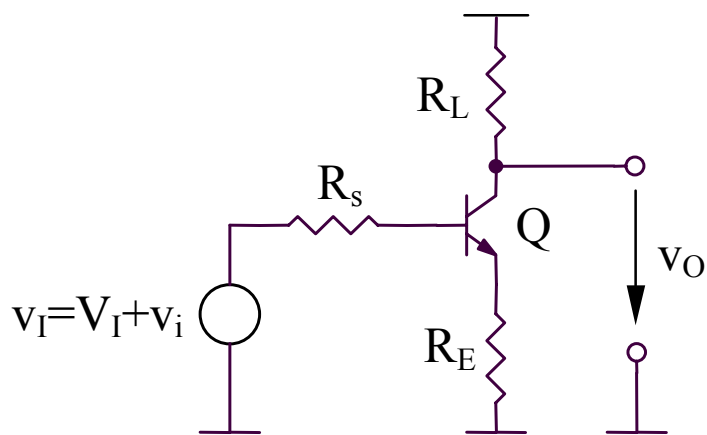
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = g_m R_L$$

$$R_i = \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = R_L // r_o$$

2.3.4. Montage émetteur dégénéré

2.3.4. Montage émetteur dégénéré



$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = \frac{v_O}{i_C} \frac{i_C}{i_B} \frac{i_B}{v_I}$$

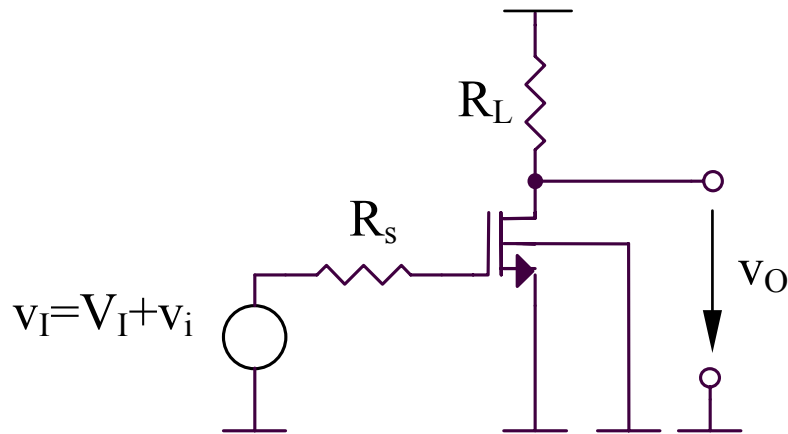
$$A_v = - \frac{\beta R_L}{R_s + r_\pi + (\beta + 1)R_E}$$

$$R_i = R_s + r_\pi + (\beta + 1)R_E$$

$$R_o \cong R_L$$

2.3.5. Montage source commune

2.3.5. Montage source commune



$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = \frac{-g_m v_{GS} (R_L // r_{ds})}{v_{GS}}$$

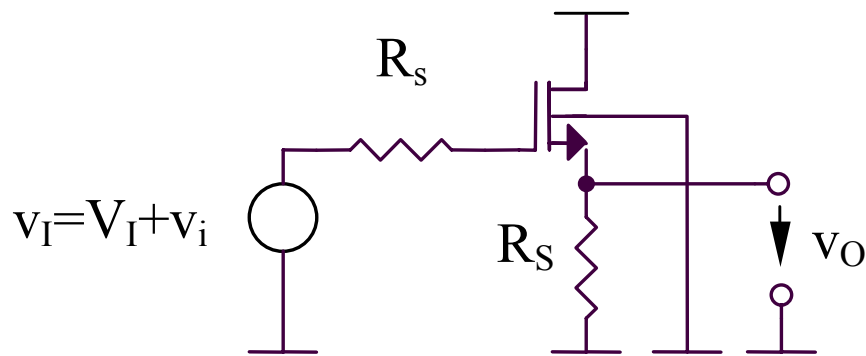
$$A_v = -g_m (R_L // r_{ds})$$

$$R_i = \infty$$

$$R_o = R_L // r_{ds}$$

2.3.6. Montage drain commun

2.3.6. Montage drain commun



$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = \frac{g_m v_{GS} R_s}{v_{GS} + g_m v_{GS} R_s}$$

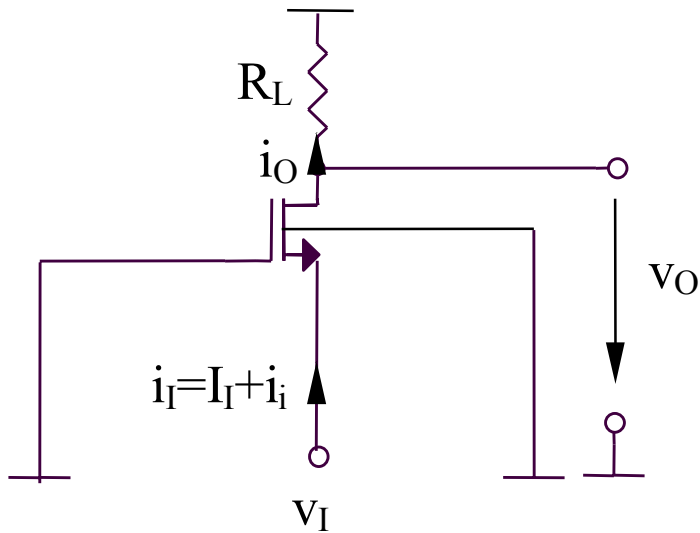
$$A_v = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s} \cong 1$$

$$R_i = \infty$$

$$R_o = \frac{1}{g_m} \parallel R_s$$

2.3.7. Montage grille commune

2.3.7. Montage grille commune



$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = \frac{-g_m v_{GS} R_L}{-v_{GS}}$$

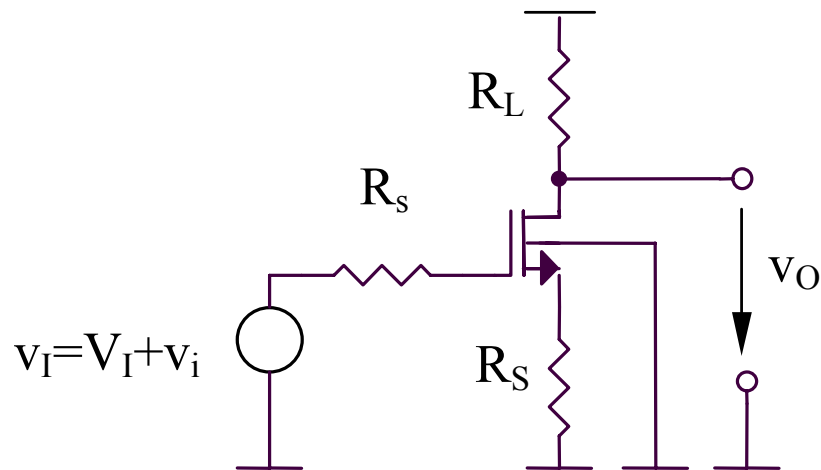
$$A_v = g_m R_L$$

$$R_i = \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = R_L \parallel r_{ds}$$

2.3.8. Montage source dégénéré

2.3.8. Montage source dégréneré



$$A_v = \frac{v_O}{v_I} = \frac{-g_m v_{GS} R_L}{v_{GS} + g_m v_{GS} R_s}$$

$$A_v = -\frac{g_m R_L}{1 + g_m R_s}$$

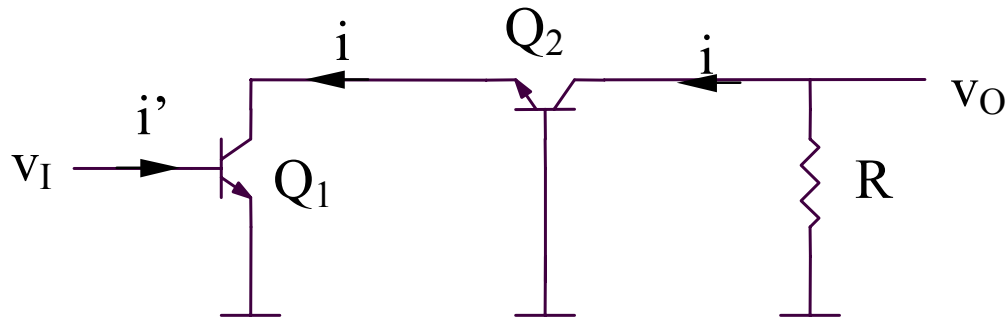
$$R_i = \infty$$

$$R_o \cong R_L$$

2.4. Etages amplificateurs à deux transistors

2.4.1. Montage cascode

2.4.1. Montage cascode



$$A_V = \frac{v_O}{v_I} = \frac{v_O}{i} \frac{i}{i'} \frac{i'}{v_I} = -R\beta \frac{1}{r_{\pi 1}} = -g_{m1}R$$

2.5. Etage amplificateur différentiel bipolaire

2.5. Etage amplificateur différentiel bipolaire

- sous-ensemble de base de la plupart des circuits intégrés analogiques
- les deux transistors doivent avoir des caractéristiques aussi identiques que possible
- la résistance commune de l'émetteur R_{EE} peut être remplacée par une source de courant, qui présente une résistance de sortie très élevée

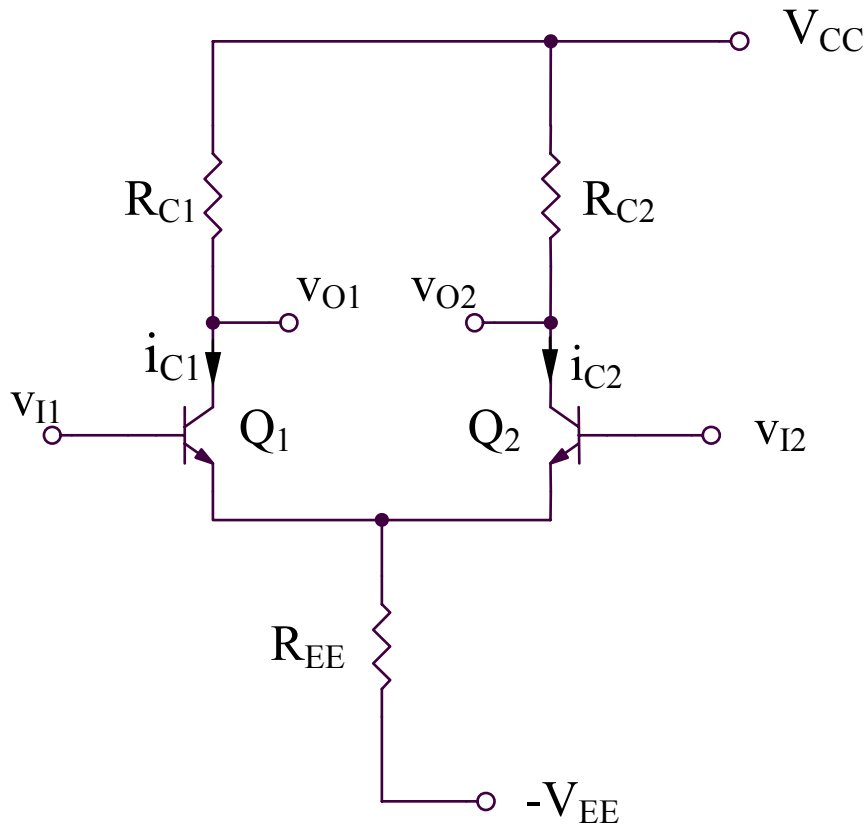
La sortie peut être prise:

- soit de façon symétrique:

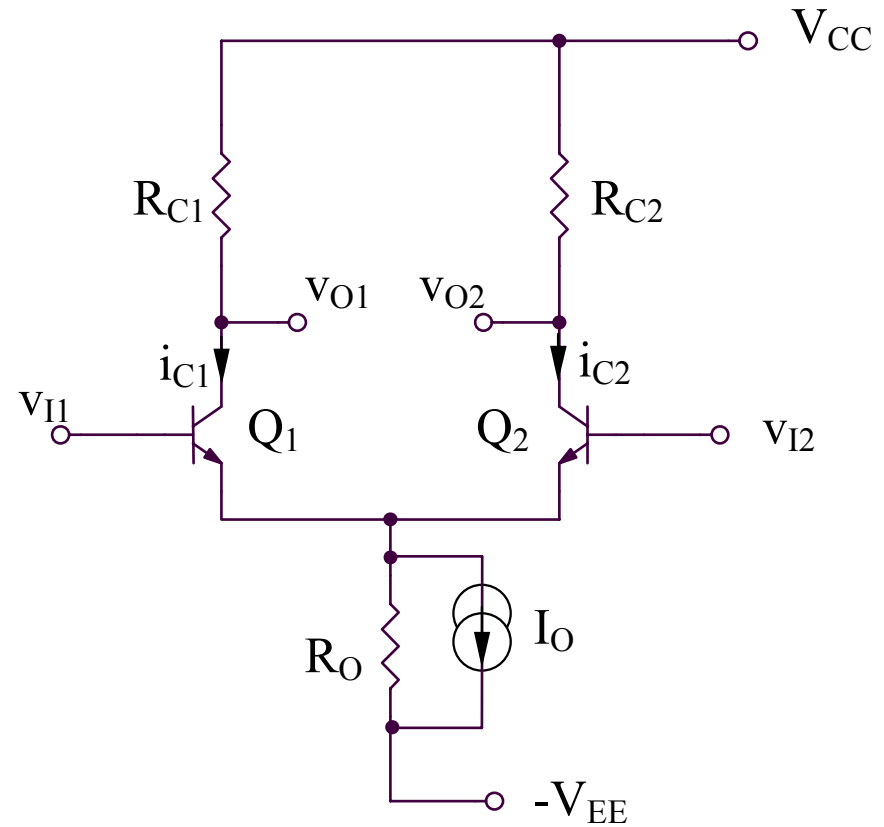
$$R_{C1} = R_{C2} \quad v_O = v_{O1} - v_{O2} = A(v_{I1} - v_{I2})$$

- soit de façon asymétrique:

$$v_O = v_{O1} \text{ ou } v_{O2} = \pm A(v_{I1} - v_{I2})$$



(a)



(b)

L'étage différentiel a des propriétés bien adaptées à l'intégration:

- fonctionnement en continu
- exigences d'appariement des transistors
- nécessité d'une même température sur les transistors

2.5.1. Analyse du grand signal

2.5.1. Analyse du grand signal

$$I_O = i_{E1} + i_{E2}$$

$$I_O = \frac{i_{C1} + i_{C2}}{\alpha}$$

Mais comme:

$$\alpha I_O = I_S \left(e^{\frac{v_{BE1}}{V_{th}}} + e^{\frac{v_{BE2}}{V_{th}}} \right)$$

$$\alpha I_O = I_S e^{\frac{v_{BE1}}{V_{th}}} \left(1 + e^{\frac{v_{BE2} - v_{BE1}}{V_{th}}} \right)$$

$$i_{C1} = I_S e^{\frac{v_{BE1}}{V_{th}}}$$

$$v_{BE2} - v_{BE1} = v_{I2} - v_{I1}$$

Il est possible d'exprimer les courants collecteurs:

$$i_{C1} = \frac{\alpha I_O}{1 + e^{\frac{v_{I2} - v_{I1}}{V_{th}}}} = \frac{\alpha I_O}{2} \left(1 + th \frac{v_{I1} - v_{I2}}{2V_{th}} \right)$$

$$i_{C2} = \frac{\alpha I_O}{1 + e^{\frac{v_{I1} - v_{I2}}{V_{th}}}} = \frac{\alpha I_O}{2} \left(1 - th \frac{v_{I1} - v_{I2}}{2V_{th}} \right)$$

i_{C1} et i_{C2} peut être exprimé en série Taylor:

$$\frac{i_{C1}(x)}{I_O} = \frac{1}{1+e^{-x}} = \frac{1}{2} + \frac{x}{4} - \frac{x^3}{48} + \dots \quad x = \frac{v_{I1} - v_{I2}}{V_{th}}$$

$$\frac{i_{C2}(x)}{I_O} = \frac{1}{1+e^x} = \frac{1}{2} - \frac{x}{4} + \frac{x^3}{48} - \dots \quad \alpha = 1$$

Donc, la tangente à la caractéristique $i_{C1}(x)/I_O$ a l'équation suivante:

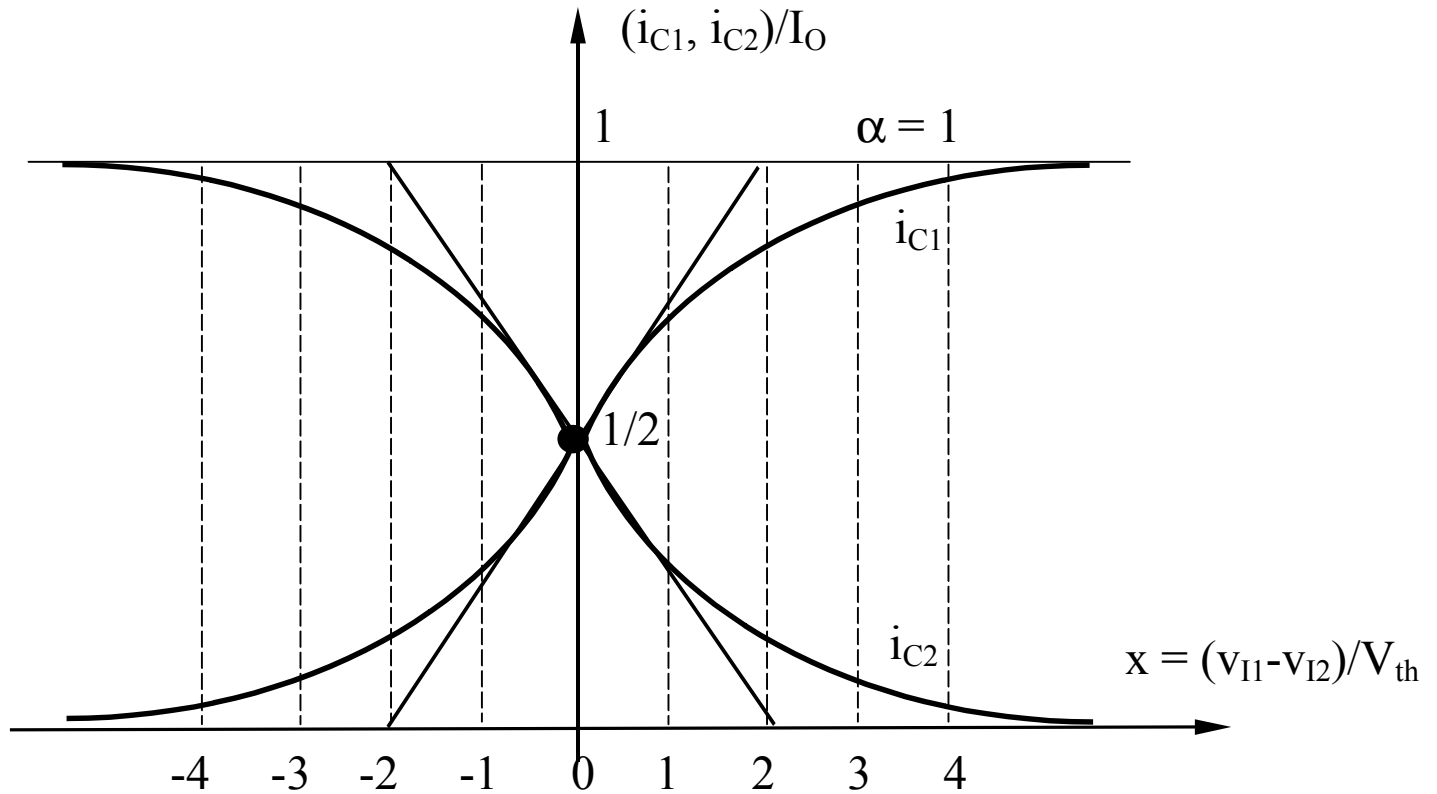
$$y = \frac{1}{2} + \frac{x}{4}$$

Si:

$$y = 0 \Rightarrow x = -2 \Rightarrow v_{I1} - v_{I2} = -2V_{th} = -50mV$$

Remarques:

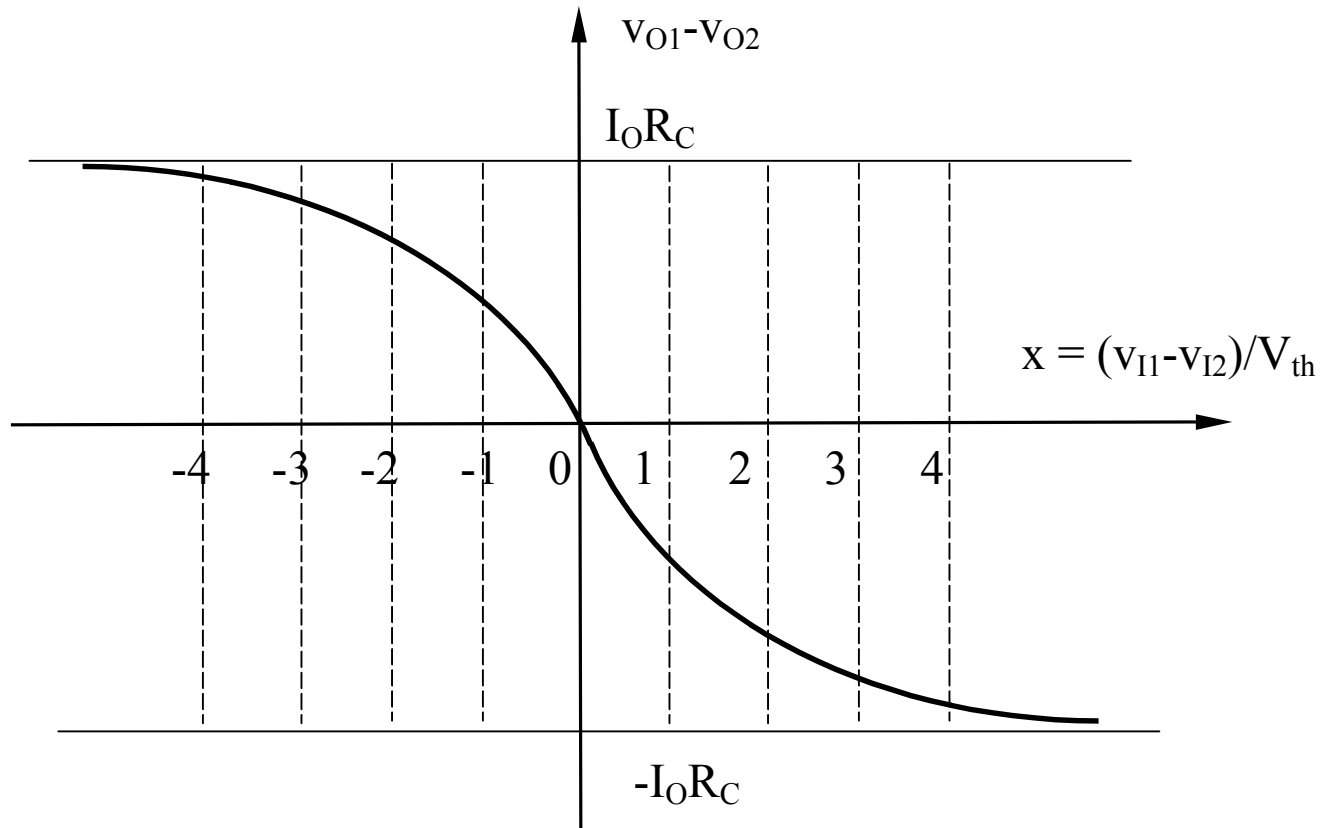
- pour $v_{I1} = v_{I2}$ (ou $x = 0$), $i_{C1} = i_{C2} = I_O/2$
- pour un fonctionnement quasi-linéaire, l'excursion de la tension d'entrée doit être inférieure à $2V_{th}$ (ou $x = 2$), soit environ 50mV



Caractéristiques statiques $(i_{C1}, i_{C2})/I_0 = f [(v_{I1} - v_{I2})/V_{th}]$
pour l'étage différentiel

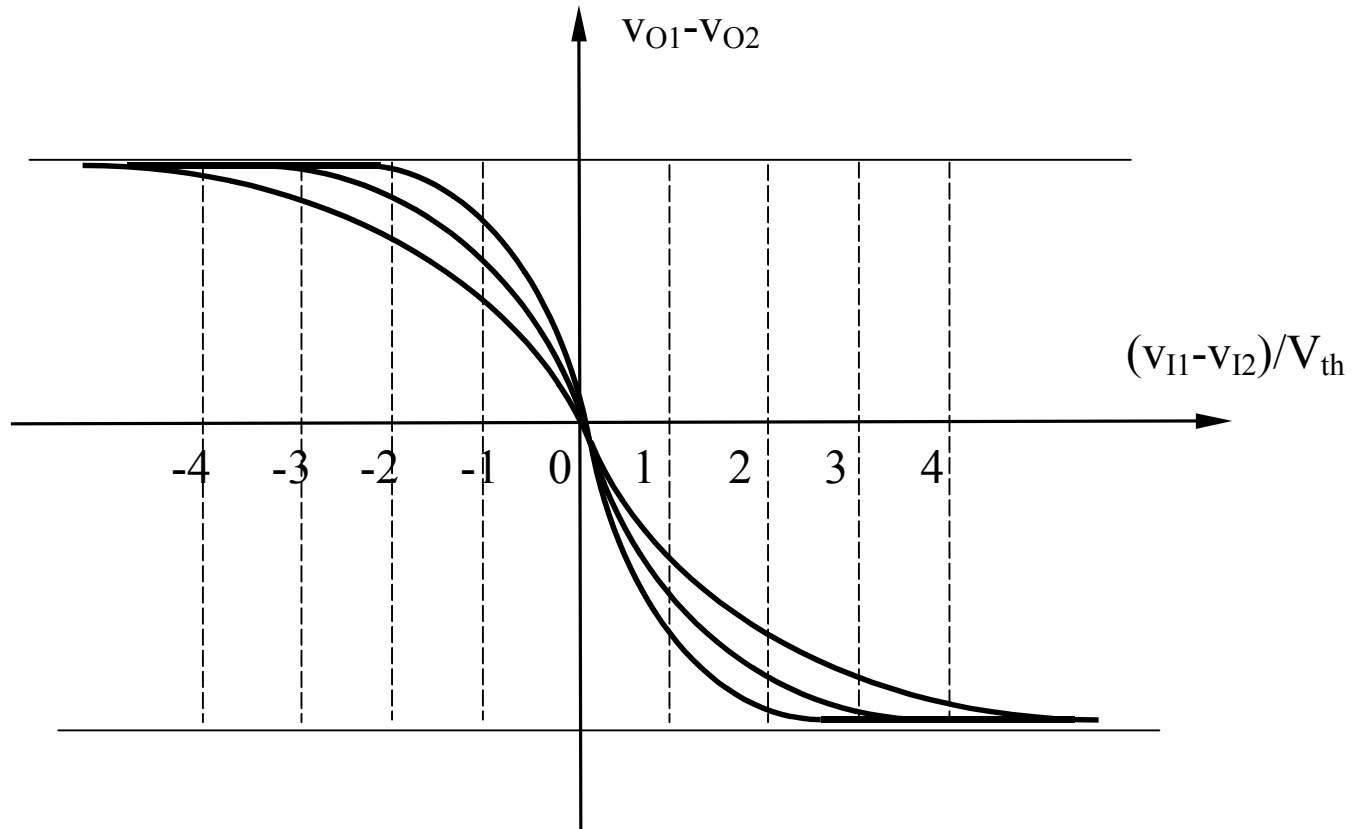
La tension symétrique de sortie est:

$$v_O = v_{O1} - v_{O2} = (i_{C2} - i_{C1})R_C = \left(-\frac{x}{2} + \frac{x^3}{24} - \dots \right) I_O R_C$$



Caractéristique statique $v_{O1} - v_{O2} = f[(v_{I1} - v_{I2}) / V_{th}]$ pour l'étage différentiel

On peut augmenter la plage de tension d'entrée en amplification linéaire par adjonction de résistances en série dans l'émetteur (dégénération d'émetteur)



2.5.2. Analyse du petit signal

2.5.2. Analyse du petit signal

On distingue - le mode différentiel (v_{id} , v_{od})
- le mode commun (v_{ic} , v_{oc})

$$v_{id} = \frac{v_{i1} - v_{i2}}{2} \quad \text{tension d'entrée différentielle}$$

$$v_{od} = \frac{v_{o1} - v_{o2}}{2} \quad \text{tension de sortie différentielle}$$

$$v_{ic} = \frac{v_{i1} + v_{i2}}{2} \quad \text{tension d'entrée en mode commun}$$

$$v_{oc} = \frac{v_{o1} + v_{o2}}{2} \quad \text{tension de sortie en mode commun}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow v_{i1} &= v_{ic} + v_{id} & ; & & v_{o1} &= v_{oc} + v_{od} \\ v_{i2} &= v_{ic} - v_{id} & ; & & v_{o2} &= v_{oc} - v_{od} \end{aligned}$$

avec les gains en tension:

$$A_{dd} = \left. \frac{v_{od}}{v_{id}} \right|_{v_{ic}=0} \quad \text{gain différentiel}$$

$$A_{cc} = \left. \frac{v_{oc}}{v_{ic}} \right|_{v_{id}=0} \quad \text{gain en mode commun}$$

d'où:

$$v_{o1} = v_{od} + v_{oc} = A_{dd}v_{id} + A_{cc}v_{ic}$$

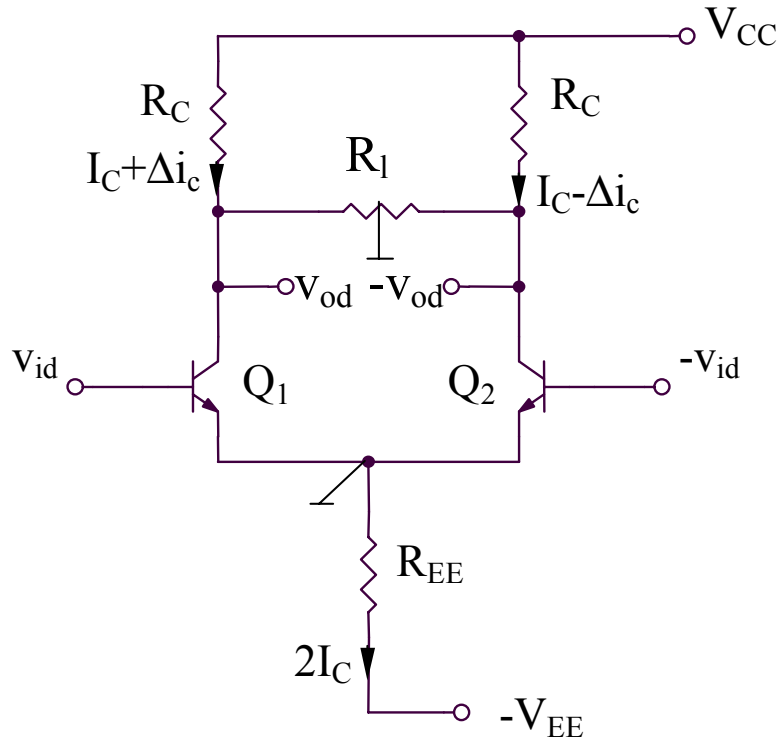
La Taux de Réjection du Mode Commun doit être aussi élevé que possible:

$$TRMC = \left| \frac{A_{dd}}{A_{cc}} \right|$$

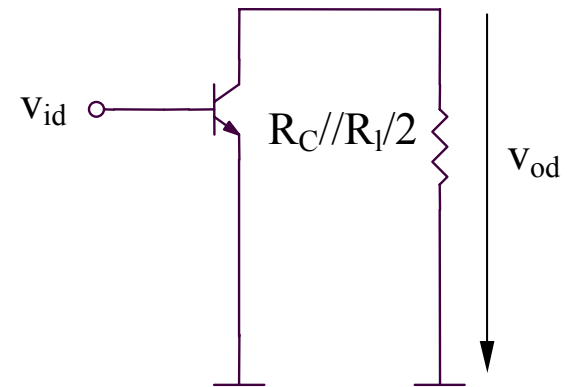
Détermination des gains du petit signal: méthode du demi-circuit

Mode différentiel ($v_{id} \neq 0$, $v_{ic} = 0 \Rightarrow v_{i1} = v_{id}$, $v_{i2} = -v_{id}$)

A été introduit une résistance de charge supplémentaire (R_1).



(a)



(b)

Gain différentiel en tension:

$$A_{dd} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = -g_m \left(R_C \parallel \frac{R_l}{2} \right)$$

- sortie symétrique:

$$A = \frac{2v_{od}}{2v_{id}} = A_{dd}$$

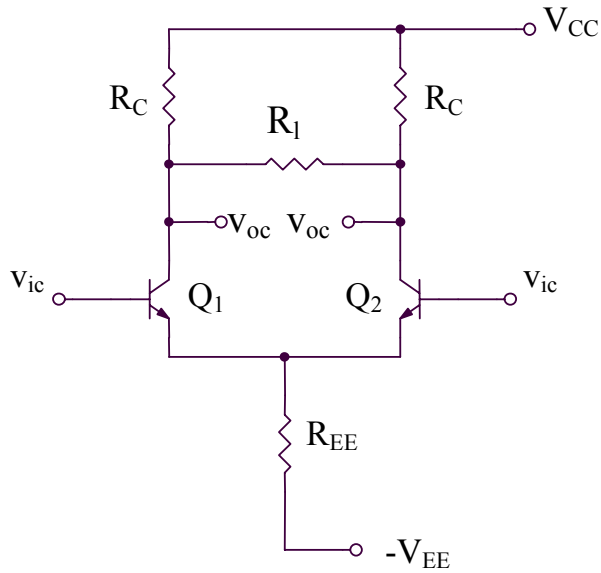
- sortie asymétrique:

$$A = \frac{v_{od}}{2v_{id}} = \frac{A_{dd}}{2}$$

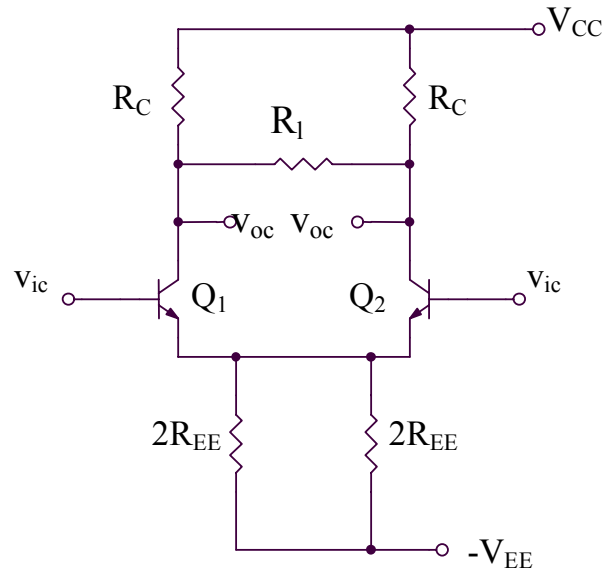
Résistance différentiel d'entrée:

$$R_{id} = 2r_{\pi}$$

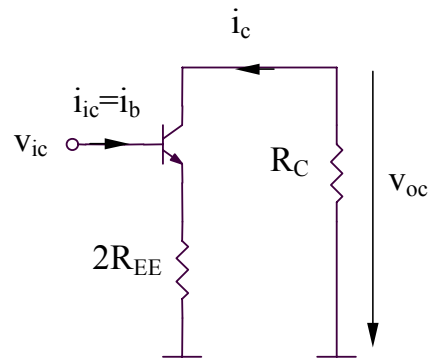
Mode commun ($v_{ic} \neq 0$, $v_{id} = 0 \Rightarrow v_{i1} = v_{ic}$, $v_{i2} = -v_{ic}$)



(a)



(b)



(c)

Gain de mode commun en tension:

$$A_{cc} = \frac{v_{oc}}{v_{ic}} = -\frac{\beta_0 R_C}{r_{\pi} + (\beta_0 + 1)2R_{EE}} \cong -\frac{R_C}{2R_{EE}}$$

Résistance d'entrée en mode commun:

$$R_{ic} = \frac{v_{ic}}{i_{ic}} = r_{\pi} + (\beta_0 + 1)2R_{EE}$$

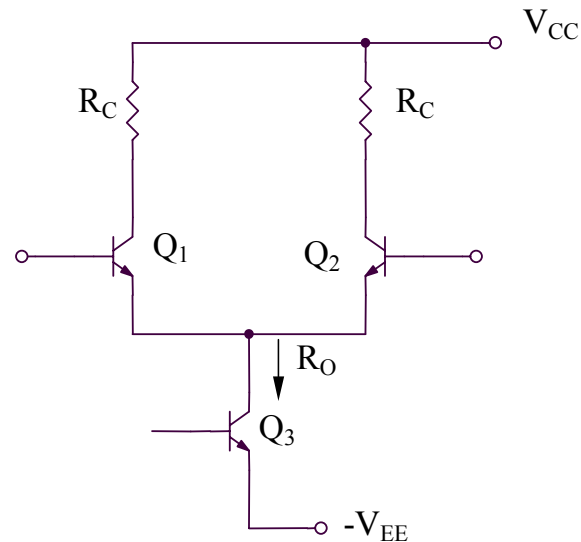
Par conséquent:

$$TRMC = \frac{I_{EE} R_{EE}}{V_{th}} \frac{\frac{R_l}{2} \parallel R_C}{R_C}$$

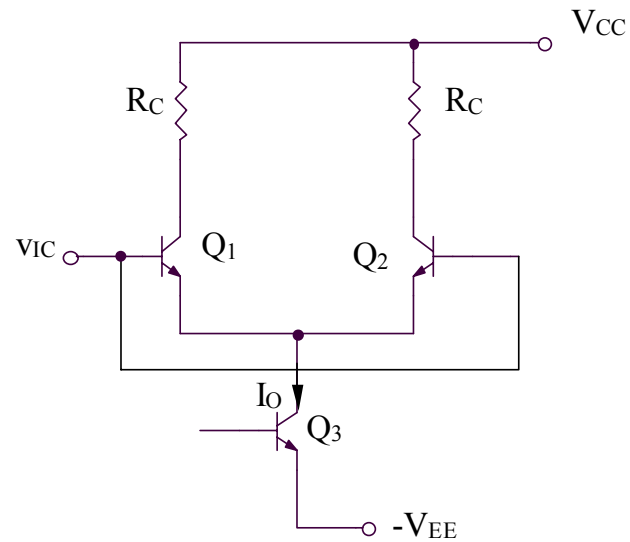
Pour augmenter de TRMC, il faut donc augmenter la chute de tension dans R_{EE} , en remplaçant R_{EE} par une source de courant. Alors:

$$A_{cc} = -\frac{R_C}{2R_O}$$

où R_O est la résistance de sortie de Q_3 .



Détermination de gamme de tension d'entrée de mode commun



$$v_{IC}^{max} = V_{CC} - R_C \frac{I_O}{2} - V_{CE1sat} + V_{BE1}$$

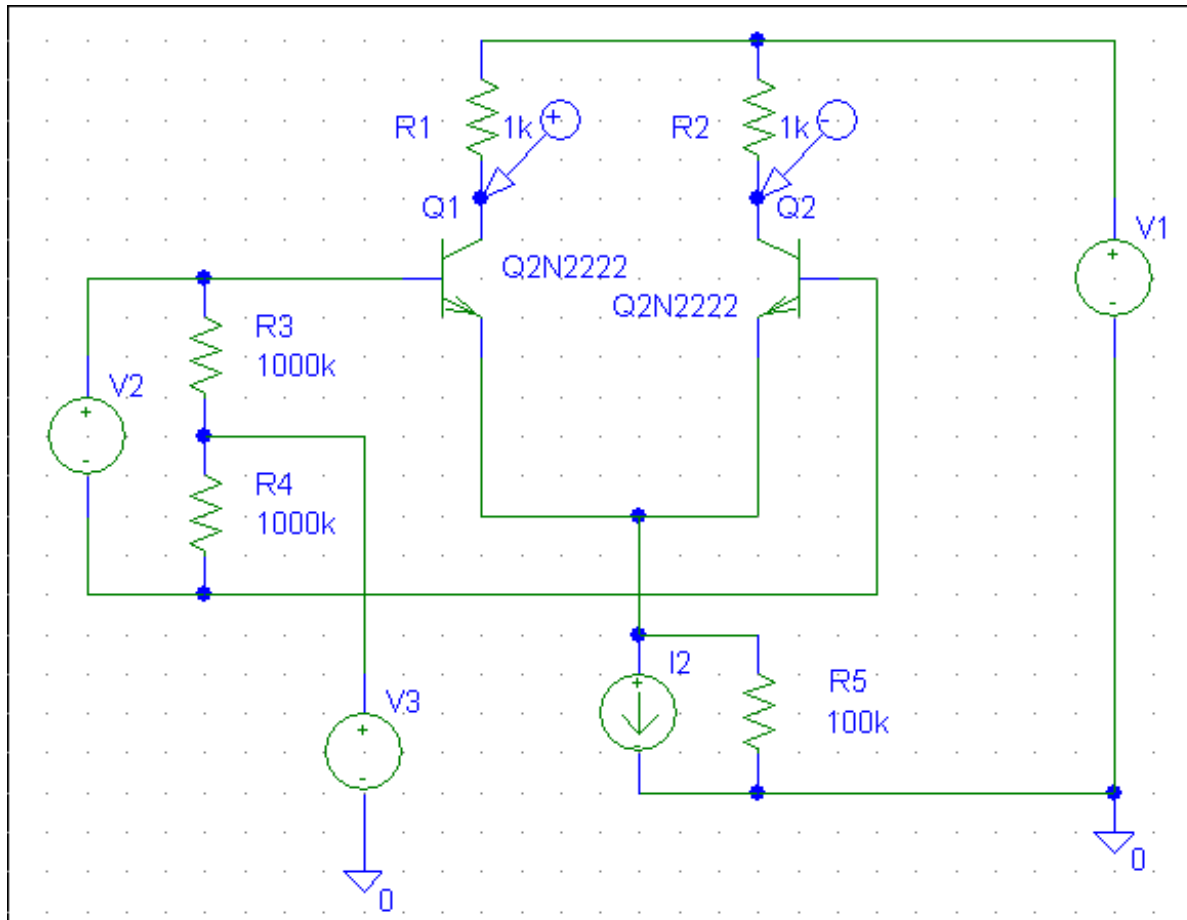
$$v_{IC}^{min} = -V_{EE} + V_{CE3sat} + V_{BE1}$$

SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire
Analyse du grand signal en mode différentiel

SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

Analyse du grand signal en mode différentiel

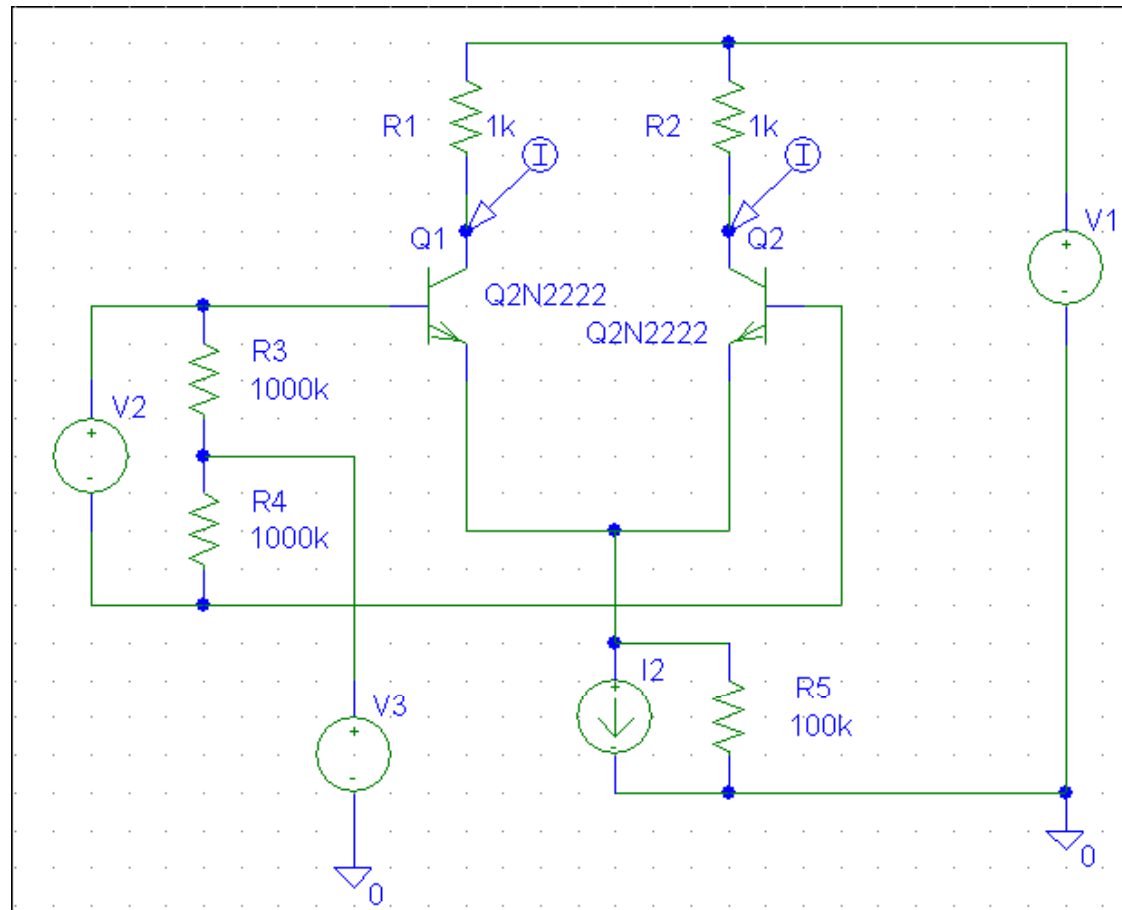
SIM 2.1: V_O (V2)



SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

Analyse du grand signal en mode différentiel

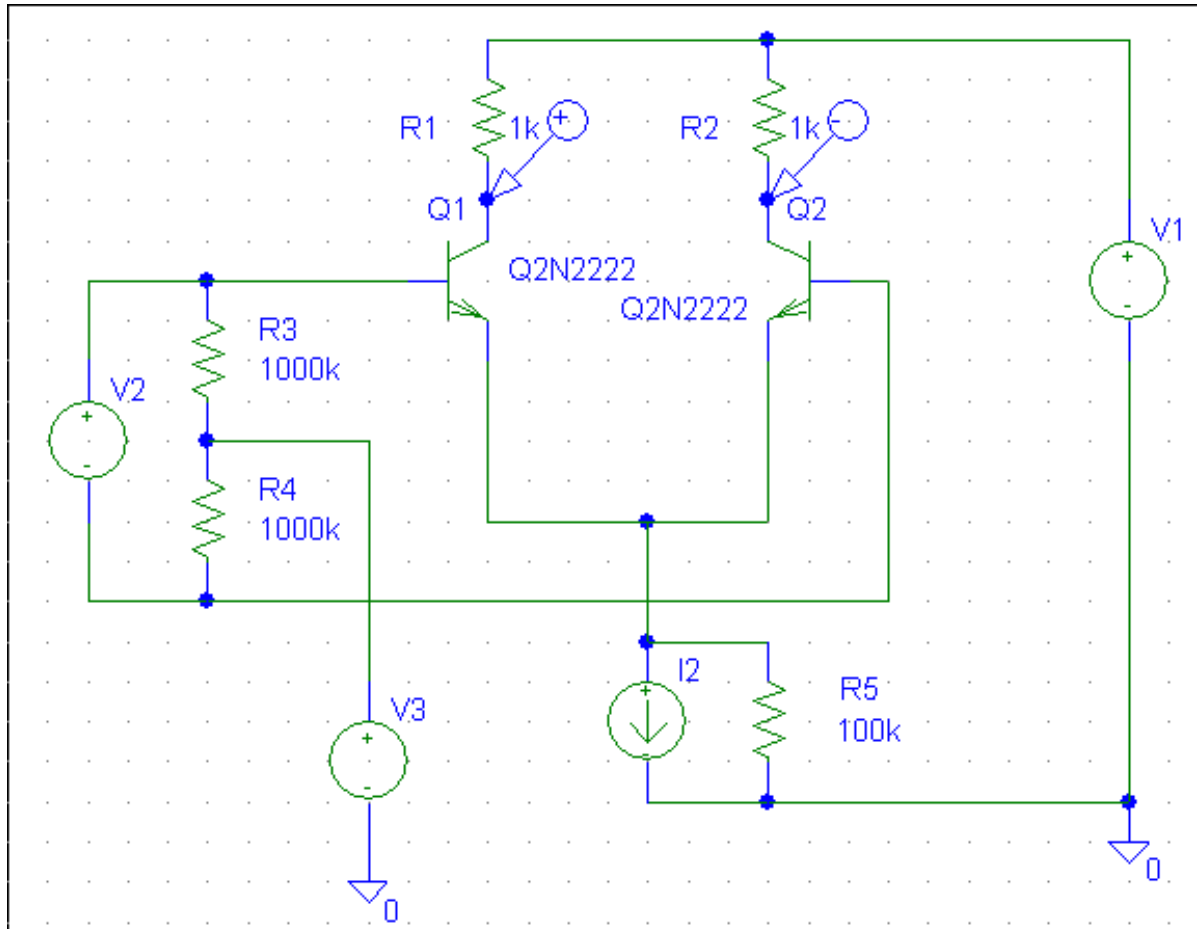
SIM 2.2: i_{C1} , i_{C2} (V2)



SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

Analyse du grand signal en mode différentiel

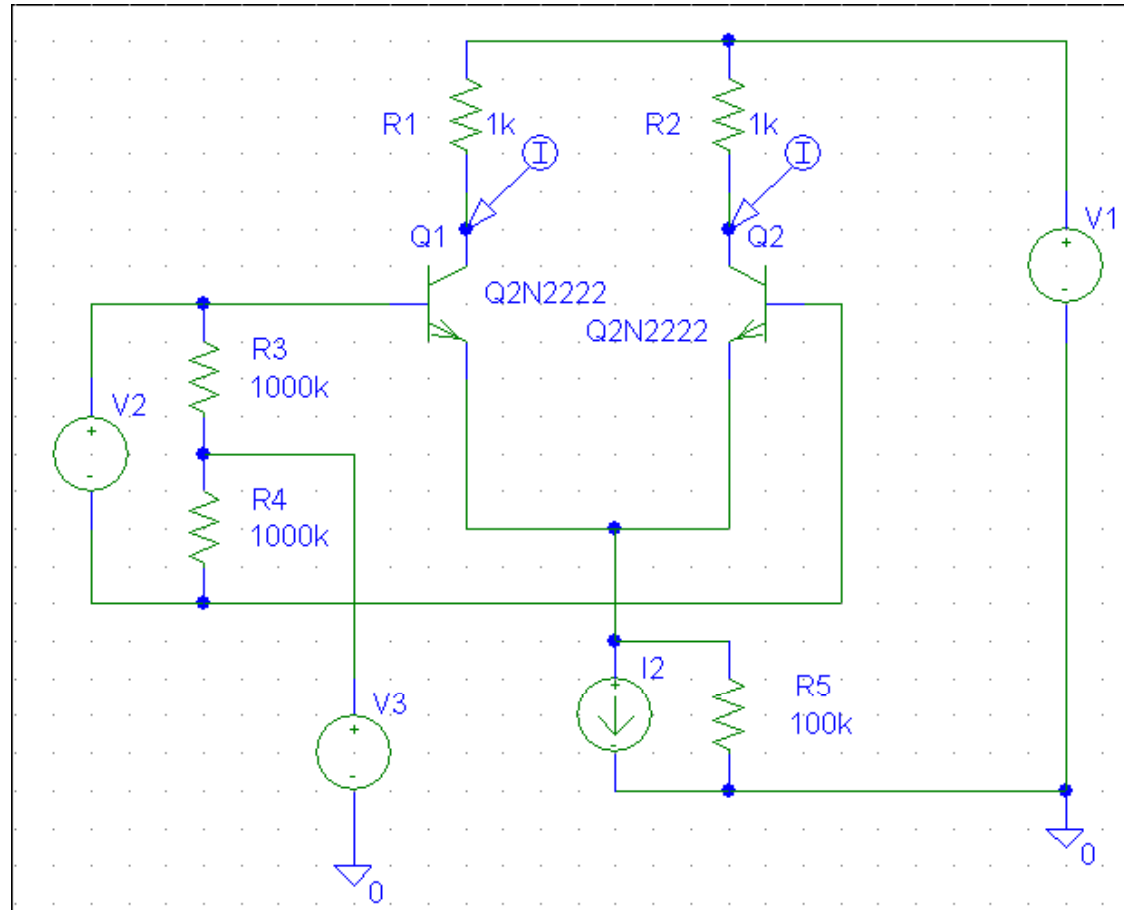
SIM 2.3: V_O (V2), I2 - paramètre



SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

Analyse du grand signal en mode différentiel

SIM 2.4: i_{C1} , i_{C2} (V2), I2 - paramètre

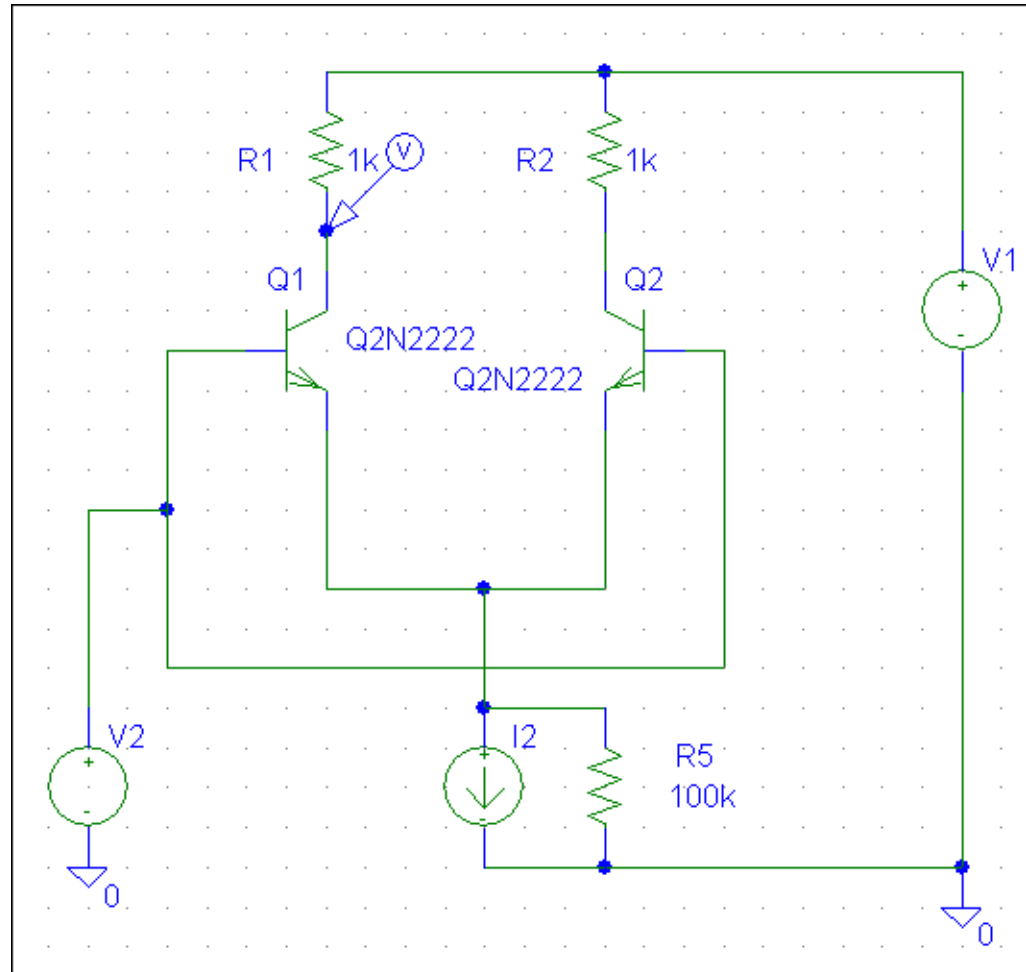


SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire
Analyse du grand signal en mode commun

SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

Analyse du grand signal en mode commun

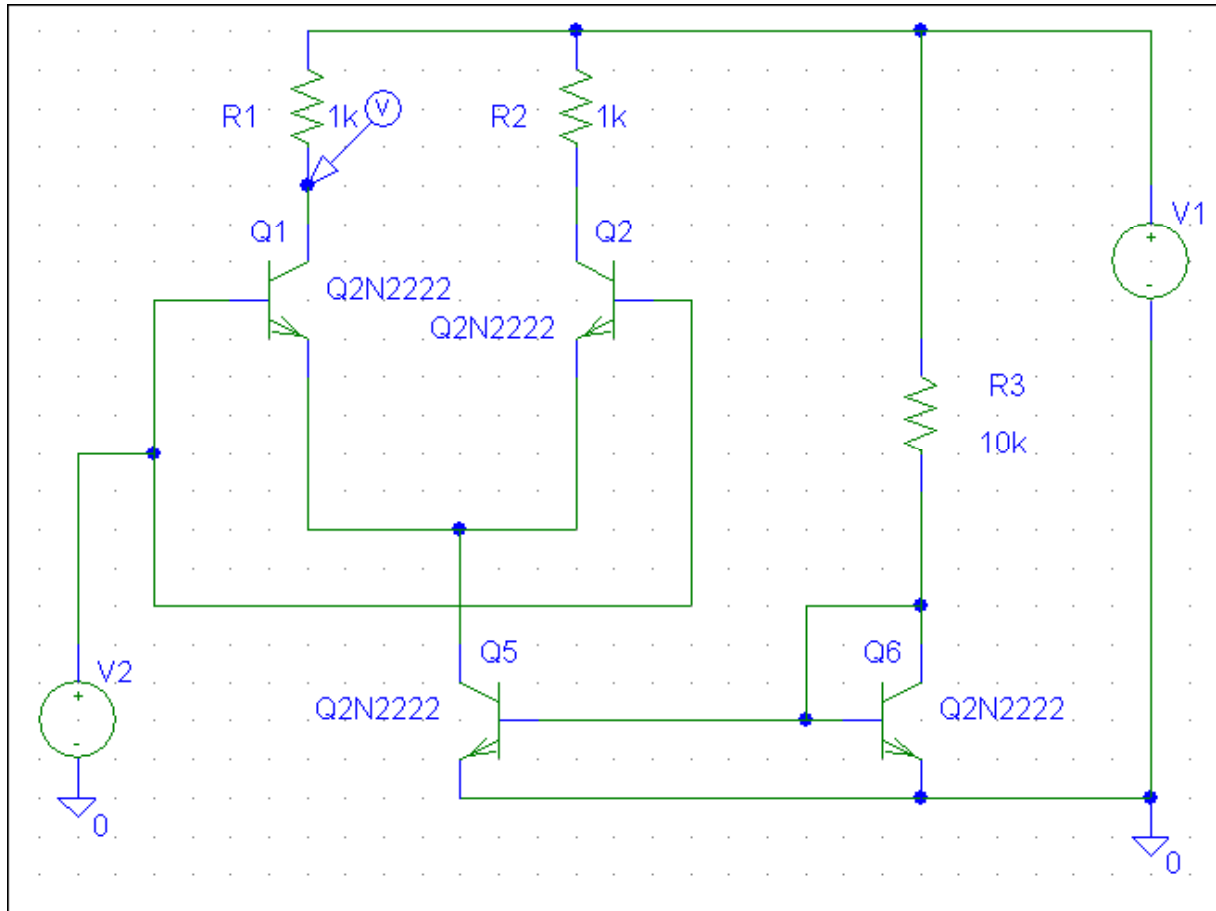
SIM 2.5: V_{C1} (V2)



SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

Analyse du grand signal en mode commun

SIM 2.6: V_{C1} (V2), V_{A5} - paramètre



2.5.3. La tension de décalage d'entrée

2.5.3. La tension de décalage d'entrée

Si les deux transistors de l'étage différentiel ne sont pas identiques, il est nécessaire d'appliquer une tension d'entrée (nommée tension de décalage d'entrée v_{IO}) pour obtenir une tension de sortie de valeur nulle.

$$v_{IO} = v_{BE1} - v_{BE2} = V_{th} \ln\left(\frac{i_{C1} I_{S2}}{i_{C2} I_{S1}}\right)$$

Comme:

$$i_{C1} R_{C1} = i_{C2} R_{C2}$$

il résulte:

$$v_{IO} = V_{th} \ln\left(\frac{R_{C2} I_{S2}}{R_{C1} I_{S1}}\right)$$

Définissant de nouveaux paramètres pour décrire la disparité dans les composants comme suit:

$$x = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

$$\Delta x = x_1 - x_2$$

$$x_1 = x + \frac{\Delta x}{2}$$

$$x_2 = x - \frac{\Delta x}{2}$$

il résulte:

$$v_{IO} = V_{th} \ln \left(\frac{R_C - \frac{\Delta R_C}{2} \quad I_S - \frac{\Delta I_S}{2}}{R_C + \frac{\Delta R_C}{2} \quad I_S + \frac{\Delta I_S}{2}} \right) = V_{th} \ln \left(\frac{1 - \frac{\Delta R_C}{2R_C} \quad 1 - \frac{\Delta I_S}{2I_S}}{1 + \frac{\Delta R_C}{2R_C} \quad 1 - \frac{\Delta I_S}{2I_S}} \right)$$

Pour:

$$\Delta R_C \ll R_C \text{ et } \Delta I_S \ll I_S$$

$$x = \Delta R_C / 2R_C \text{ ou } x = \Delta I_S / 2I_S$$

on peut écrire:

$$\frac{1-x}{1+x} \cong (1-x)(1-x) \cong 1-2x$$

Donc:

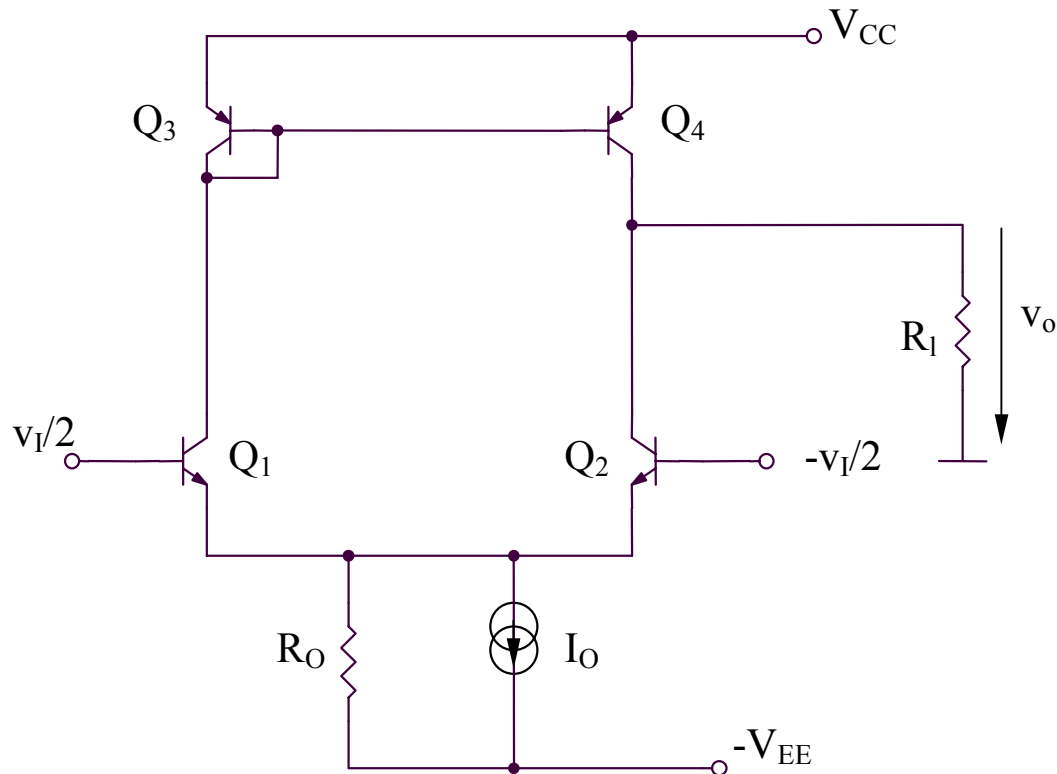
$$v_{IO} = V_{th} \ln \left[\left(1 - \frac{\Delta R_C}{R_C} \right) \left(1 - \frac{\Delta I_S}{I_S} \right) \right] = -V_{th} \left(\frac{\Delta R_C}{R_C} + \frac{\Delta I_S}{I_S} \right)$$

Cas habituel:

$$\frac{\Delta R_C}{R_C} = 0.01; \quad \frac{\Delta I_S}{I_S} = 0.05 \Rightarrow v_{IO} = 1.5 \text{ mV}$$

2.5.4. Amplificateur différentiel avec charge active

2.5.4. Amplificateur différentiel avec charge active



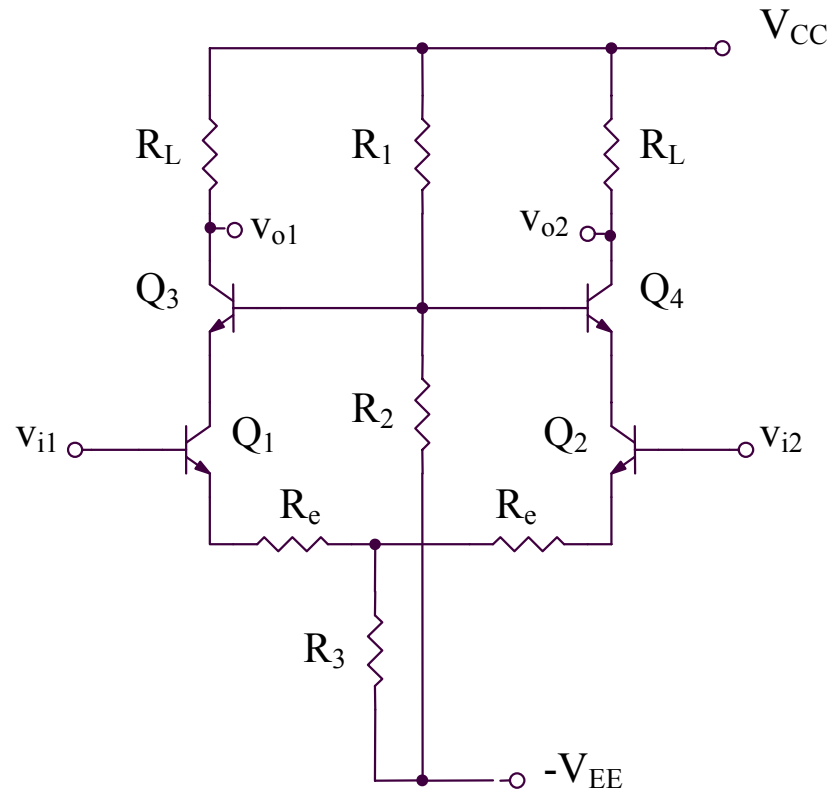
$$v_O = \left(g_{m1} \frac{v_I}{2} + g_{m2} \frac{v_I}{2} \right) (R_L \parallel r_{o2} \parallel r_{o4}) = g_{m1} v_I (R_L \parallel r_{o2} \parallel r_{o4})$$

$$A_{dd} = g_{m1} (R_L \parallel r_{o2} \parallel r_{o4})$$

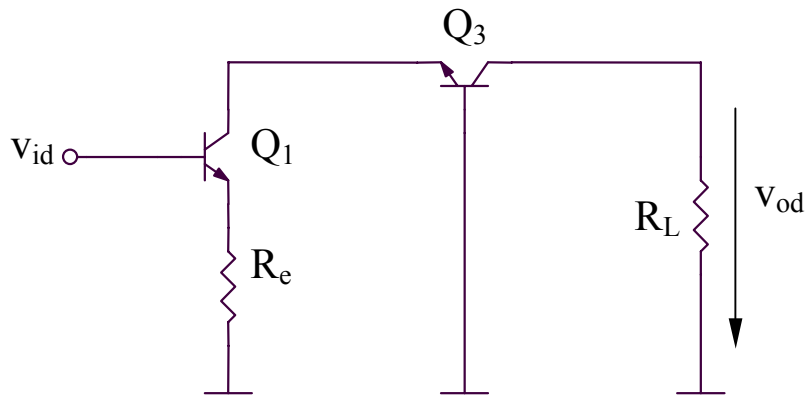
$$A_{dd} \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = g_{m1} (r_{o2} \parallel r_{o4}) = \frac{g_{m1} r_{o2}}{2} = \frac{I_{C1}}{2V_{th}} \frac{V_A}{I_{C1}} = \frac{V_A}{2V_{th}}$$

2.5.5. Amplificateur différentiel cascode

2.5.5. Amplificateur différentiel cascode



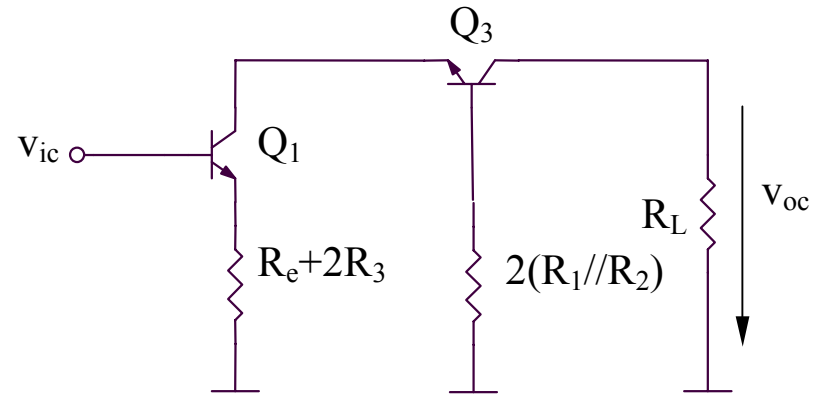
Mode différentiel



Demi-circuit de mode différentiel

$$A_{dd} = -\frac{\beta R_L}{r_{\pi} + (\beta + 1)R_E}$$

Mode commun

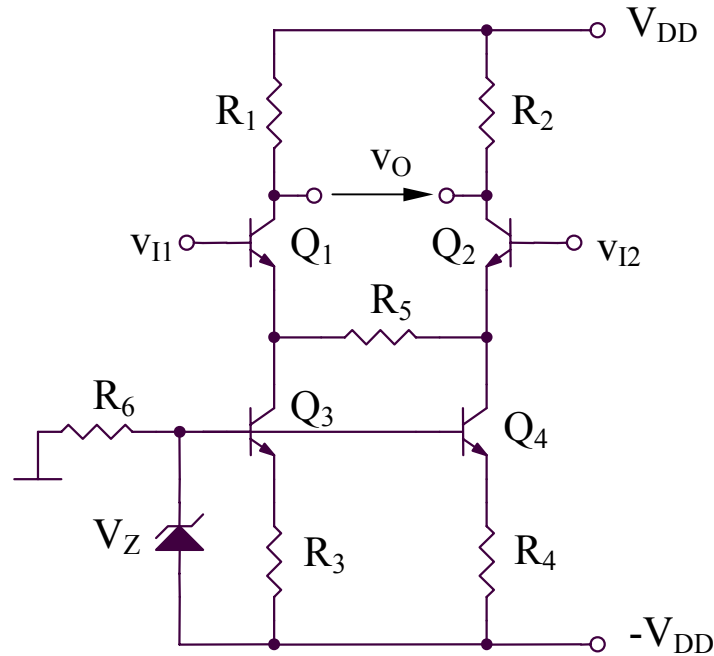


Demi-circuit de mode commun

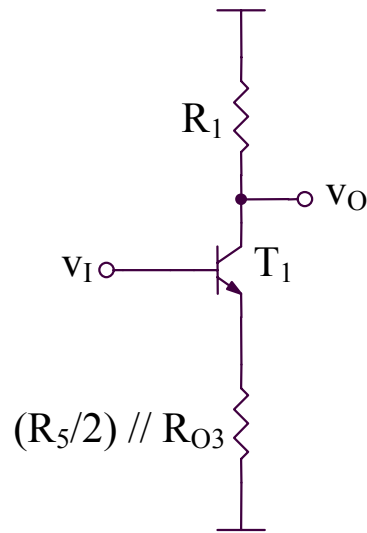
$$A_{cc} = -\frac{\beta R_L}{r_{\pi} + (\beta + 1)(R_E + 2R_3)}$$

2.5.6. Amplificateur différentiel polarisé à une source double

2.5.6. Amplificateur différentiel polarisé à une source double



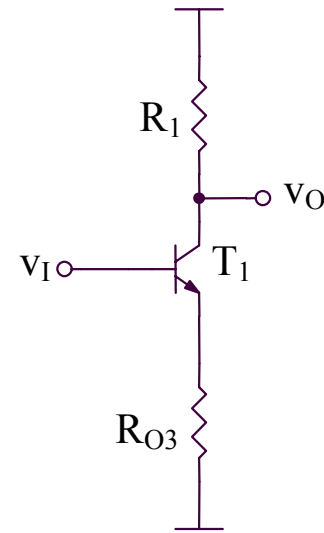
Mode différentiel



Demi-circuit de mode différentiel

$$A_{dd} = -\frac{\beta R_1}{r_{\pi 1} + (\beta + 1) \left(\frac{R_5}{2} // R_{O3} \right)}$$

Mode commun



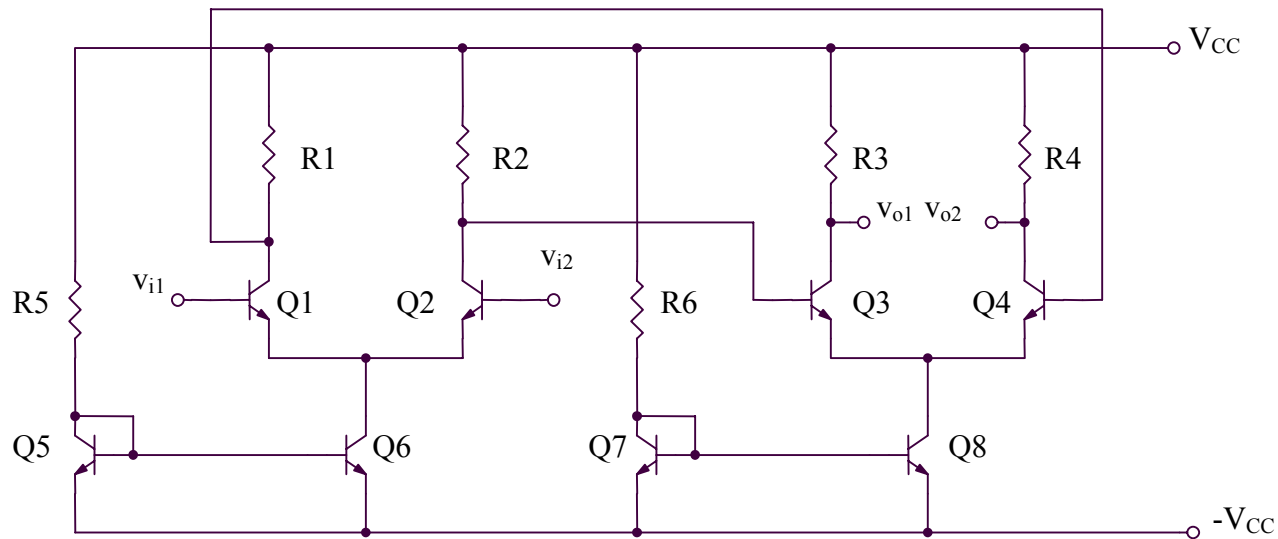
Demi-circuit de mode commun

$$A_{cc} = -\frac{\beta R_1}{r_{\pi 1} + (\beta + 1) R_{O3}} \cong -\frac{R_1}{R_{O3}}$$

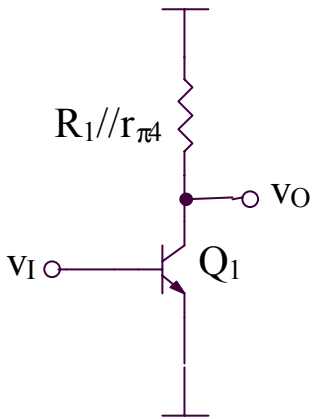
$$R_{O3} = r_{o3} \left(1 + \frac{\beta R_3}{r_{\pi 3} + R_3 + R_6 // r_Z} \right)$$

2.5.7. Structure utilisant deux amplificateurs différentiels

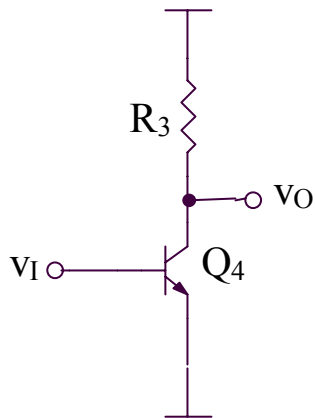
2.5.7. Structure utilisant deux amplificateurs différentiels



Mode différentiel

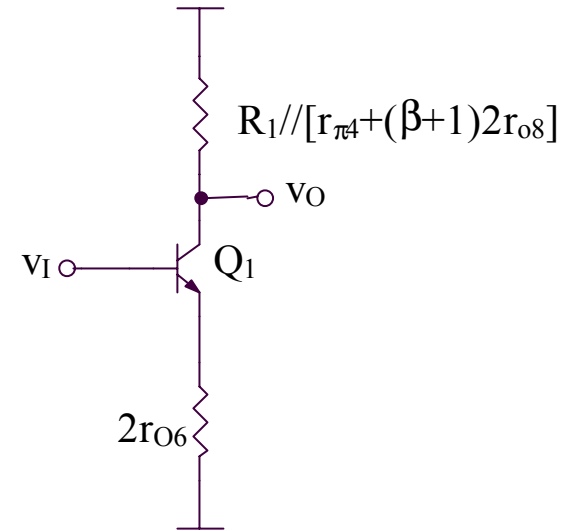


Demi-circuit de mode différentiel (1)

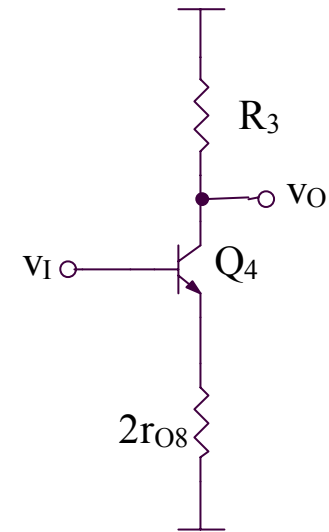


Demi-circuit de mode différentiel (2)

Mode commun



Demi-circuit de mode commun (1)



Demi-circuit de mode commun (2)

Gain de mode différentiel (1)

$$A_{dd1} = -g_{m1}(R_1 // r_{\pi4})$$

Gain de mode commun (1)

$$A_{cc1} = -\beta \frac{R_1 // [r_{\pi4} + (\beta + 1)2r_{o8}]}{r_{\pi1} + (\beta + 1)2r_{o6}}$$

Gain de mode différentiel (2)

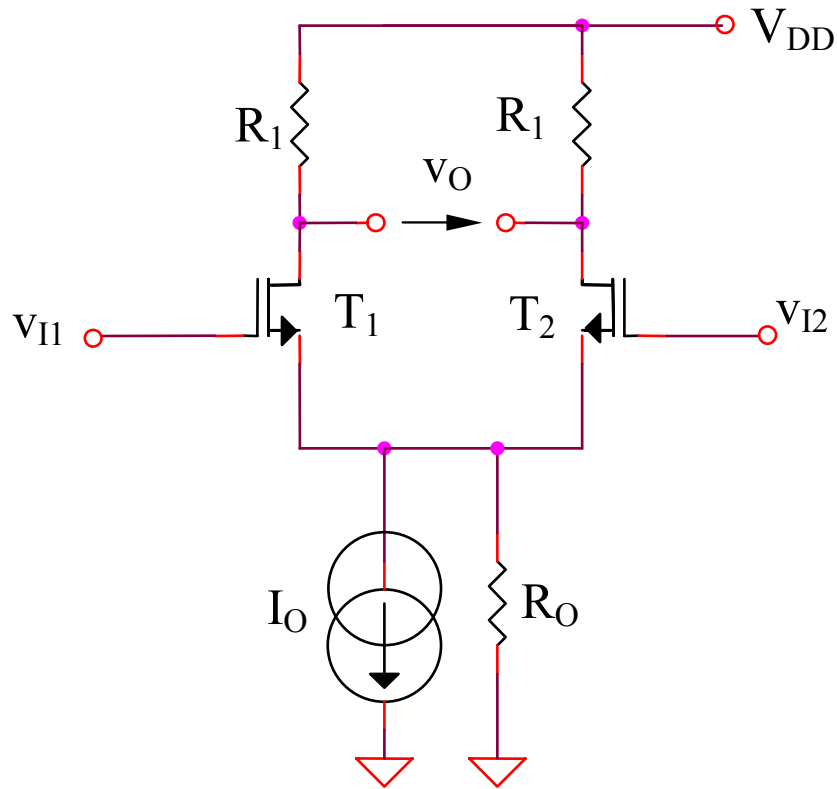
$$A_{dd2} = -g_{m4}R_3$$

Gain de mode commun (2)

$$A_{cc2} = -\beta \frac{R_3}{r_{\pi1} + (\beta + 1)2r_{o8}}$$

2.6. Etage amplificateur différentiel MOS

2.6. Etage amplificateur différentiel MOS



2.6.1. Analyse du grand signal

2.6.1. Analyse du grand signal

$$v_{I1} - v_{I2} = v_{GS1} - v_{GS2} = \left(V_T + \sqrt{\frac{2i_{D1}}{K}} \right) - \left(V_T + \sqrt{\frac{2i_{D2}}{K}} \right) = \sqrt{\frac{2}{K}} (\sqrt{i_{D1}} - \sqrt{i_{D2}})$$

$$i_{D1} + i_{D2} = I_O$$

$$v_I = v_{I1} - v_{I2}$$

$$\Rightarrow i_{D1}^2 - I_O i_{D1} + \frac{1}{4} \left(I_O - \frac{K v_I^2}{2} \right)^2 = 0$$

Donc:

$$i_{D1} = \frac{I_O}{2} + \frac{I_O}{2} \sqrt{\frac{K v_I^2}{I_O} - \frac{K^2 v_I^4}{4 I_O^2}} \quad i_{D2} = \frac{I_O}{2} - \frac{I_O}{2} \sqrt{\frac{K v_I^2}{I_O} - \frac{K^2 v_I^4}{4 I_O^2}}$$

Pour $v_I = \sqrt{\frac{2I_O}{K}}$ il résulte $i_{D1} = I_O$, $i_{D2} = 0$.

La tension symétrique de sortie est:

$$v_O = R_I (i_{D2} - i_{D1})$$

$$v_O = -I_O R_I \sqrt{\frac{K v_I^2}{I_O} - \frac{K^2 v_I^4}{4 I_O^2}} = -\frac{R_I v_I}{2} \sqrt{4 K I_O - K^2 v_I^2}$$

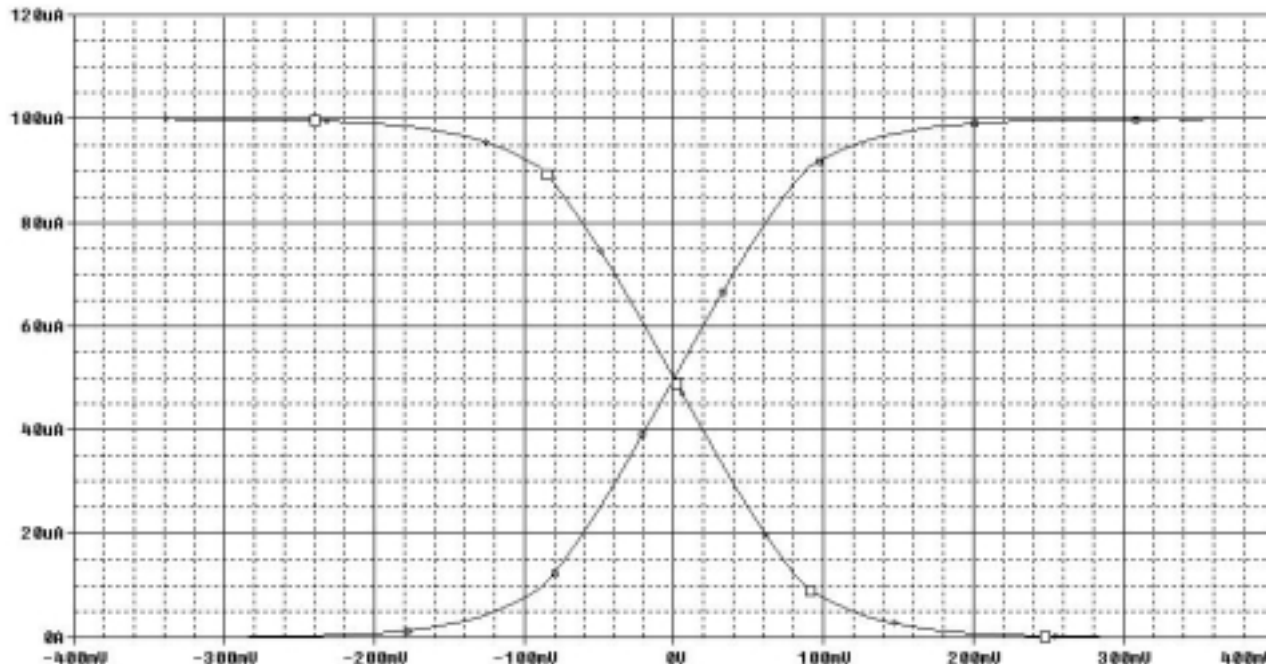
L'expansion en série Taylor de la tension de sortie est:

$$v_O(v_I) = -K^{1/2} I_O^{1/2} R_1 v_I + \frac{K^{3/2} R_1}{8 I_O^{1/2}} v_I^3 + \frac{K^{5/2} R_1}{128 I_O^{3/2}} v_I^5 + \dots$$

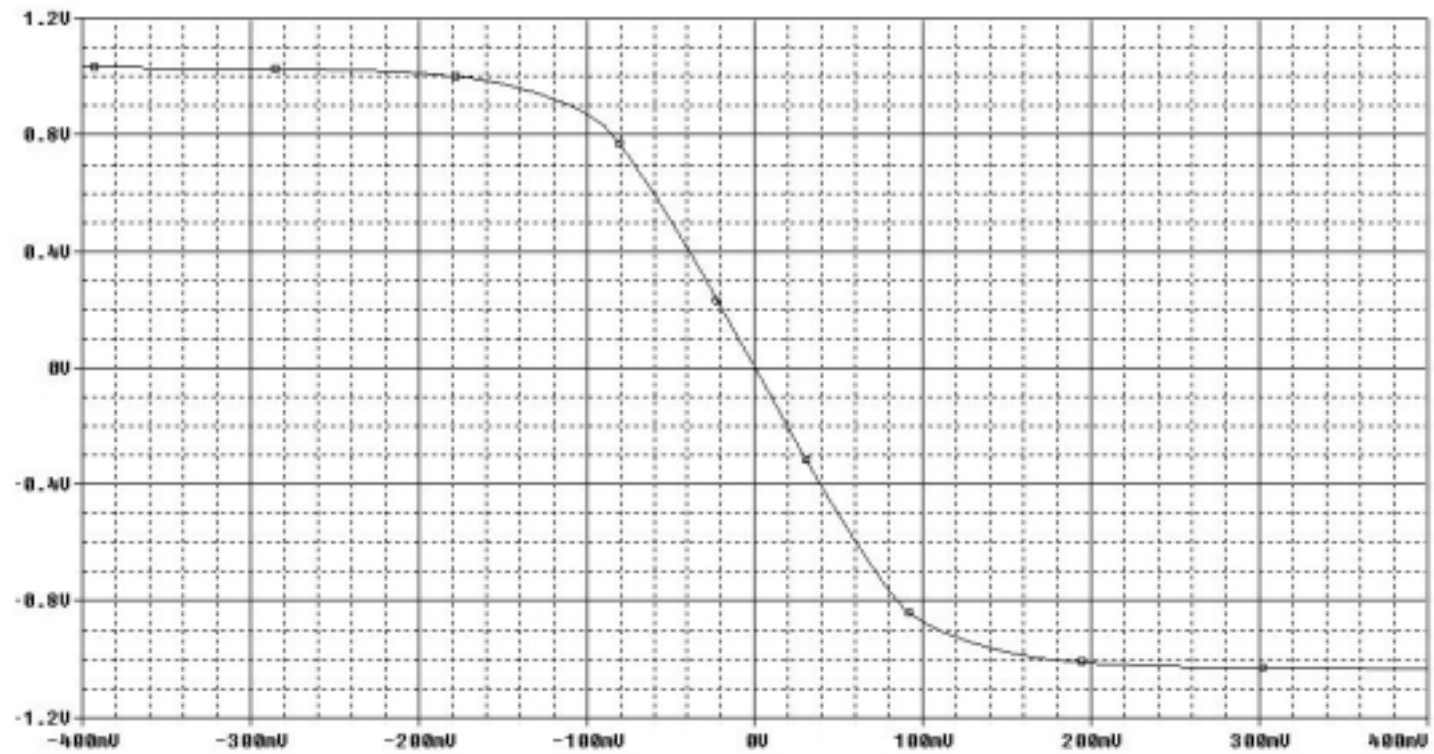
$$v_O(v_I) = a_1 v_I + a_3 v_I^3 + a_5 v_I^5 + \dots$$

Le gain de mode différentiel a l'expression suivante:

$$A_{dd} = a_1 = -R_1 \sqrt{K I_O}$$



Caractéristiques $i_{D1}, i_{D2}(v_I)$



Caractéristique $v_O(v_I)$

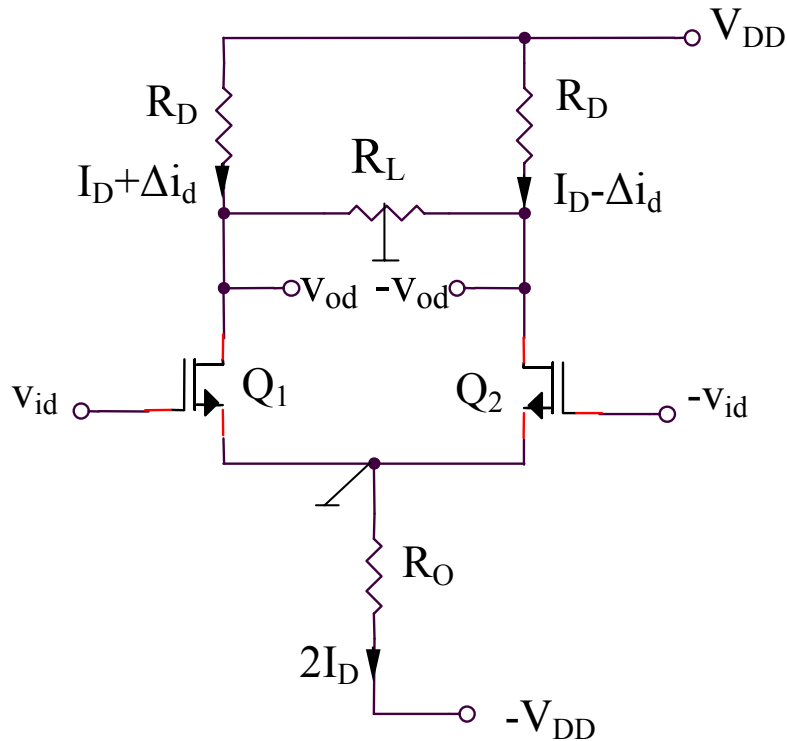
2.6.2. Analyse du petit signal

2.6.2. Analyse du petit signal

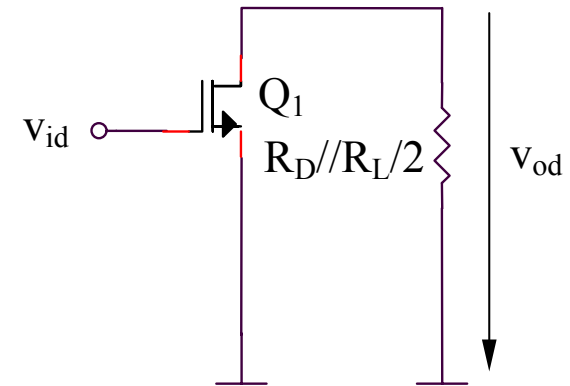
Détermination des gains en petit signal: méthode du demi-circuit

Mode différentiel ($v_{id} \neq 0$, $v_{ic} = 0 \Rightarrow v_{i1} = v_{id}$, $v_{i2} = -v_{id}$)

A été introduit une résistance de charge supplémentaire (R_L).



(a)



(b)

Gain de tension en mode différentiel:

$$A_{dd} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = -g_{m1} \left(R_D // \frac{R_L}{2} \right)$$

- sortie symétrique:

$$A = \frac{2v_{od}}{2v_{id}} = A_{dd}$$

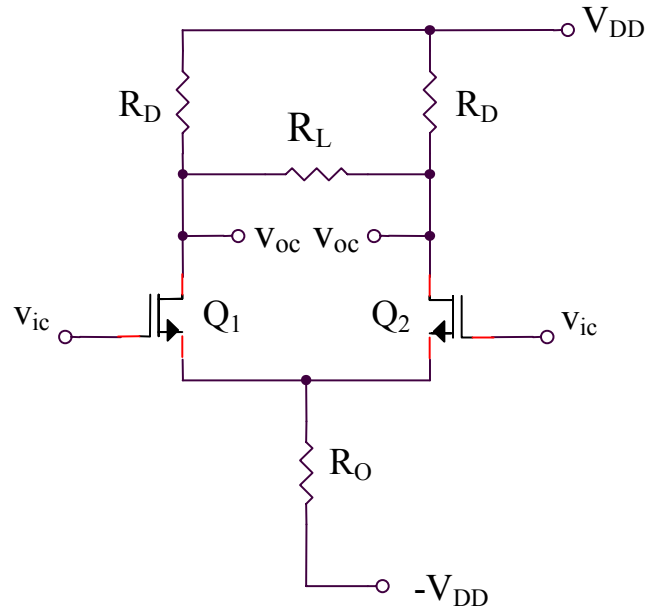
- sortie asymétrique:

$$A = \frac{v_{od}}{2v_{id}} = \frac{A_{dd}}{2}$$

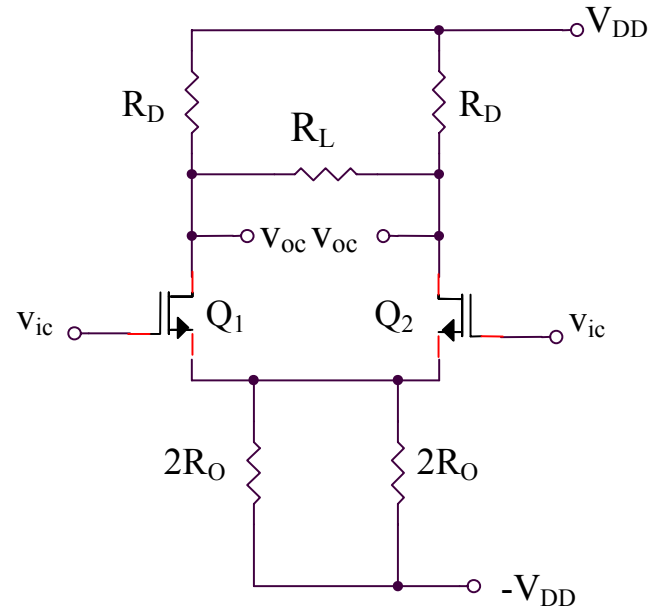
Résistance différentiel d'entrée:

$$R_{id} = \infty$$

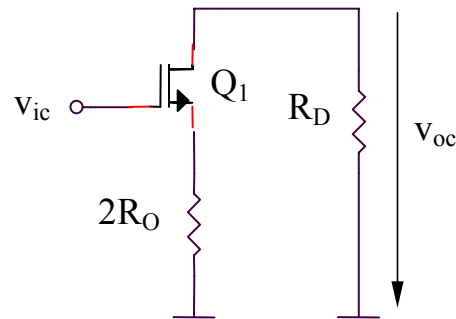
Mode commun ($v_{ic} \neq 0$, $v_{id} = 0 \Rightarrow v_{i1} = v_{ic}$, $v_{i2} = v_{ic}$)



(a)



(b)



(c)

Gain de tension en mode commun:

$$A_{cc} = \frac{v_{oc}}{v_{ic}} = -\frac{g_{m1}R_D}{1 + g_{m1}2R_O} \cong -\frac{R_D}{2R_O}$$

Résistance d'entrée en mode commun:

$$R_{ic} = \infty$$

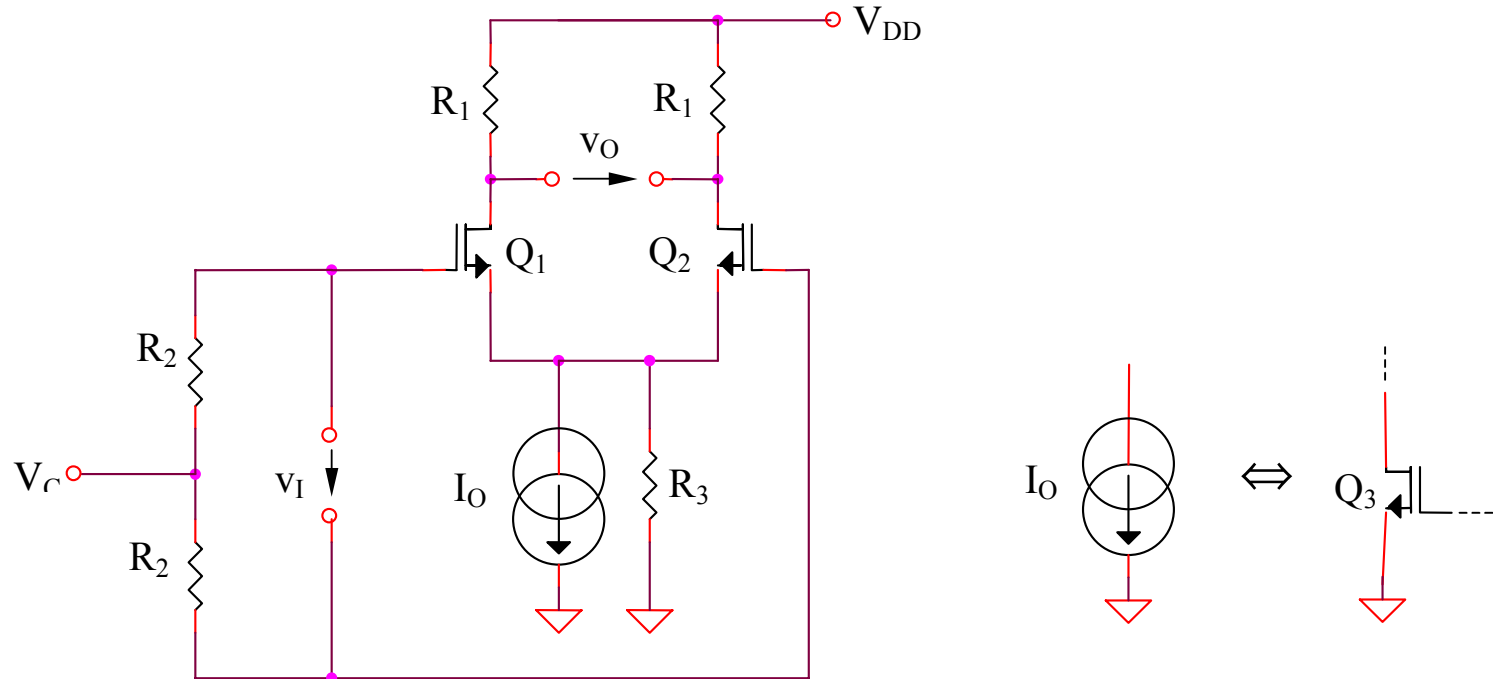
Donc:

$$TRMC = \frac{2g_{m1}R_LR_O}{2R_D + R_L}$$

Pour augmenter de TRMC, il faut donc augmenter la résistance R_O , en remplaçant la source de courant par une source de courant cascode.

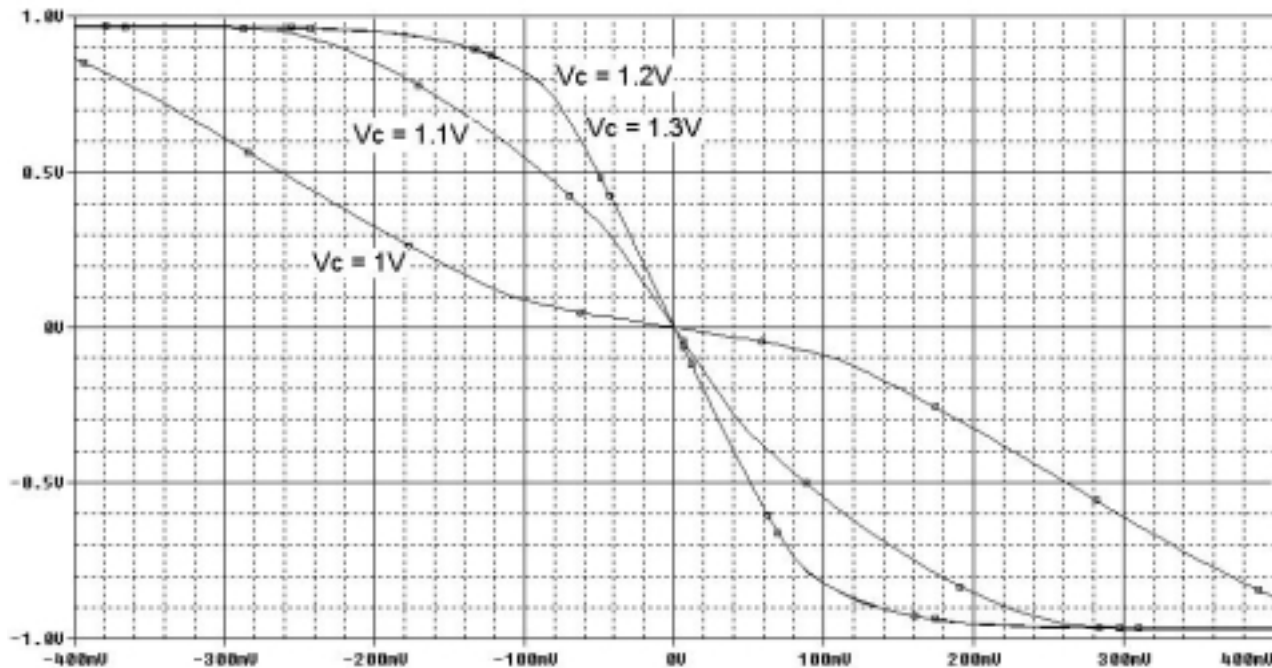
2.6.3. Domain maximal de la tension d'entrée en mode commun

2.6.3. Domain maximal de la tension d'entrée en mode commun



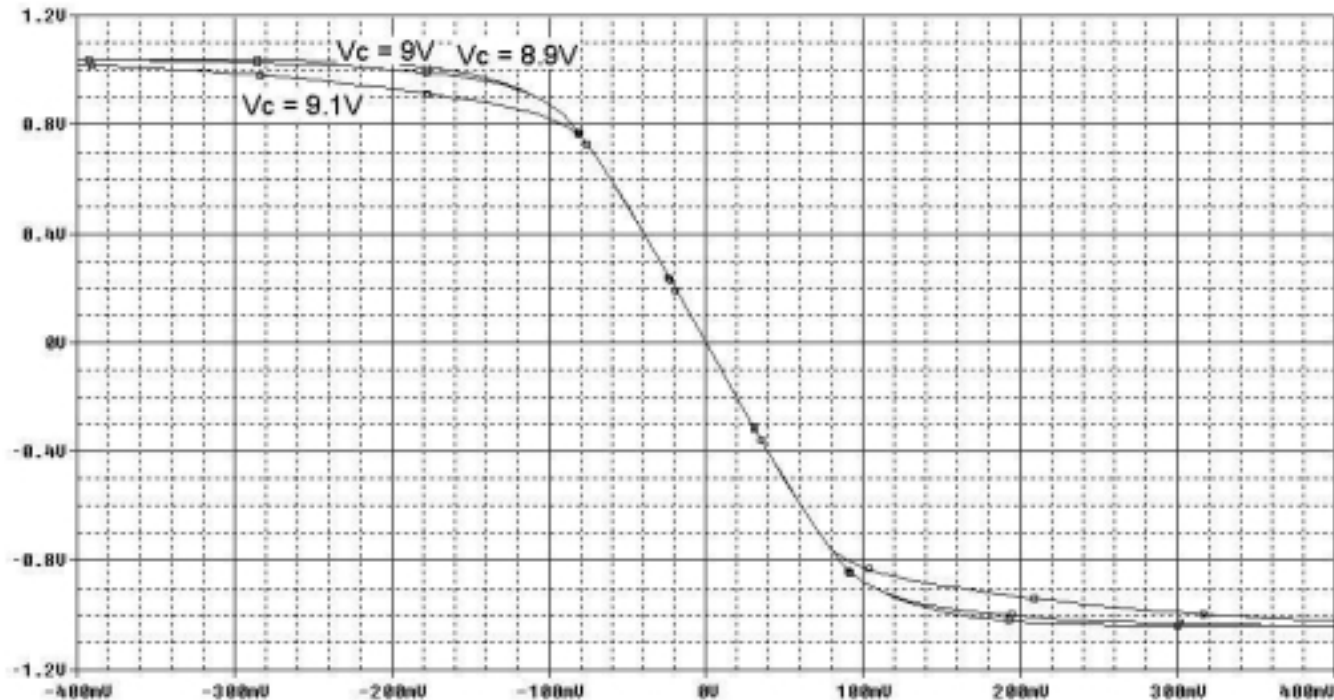
$$V_{C \min} = v_{GS1} + v_{DS3 \text{sat}} = v_{GS1} + v_{GS3} - V_T = V_T + (\sqrt{2} + 1) \sqrt{\frac{I_O}{K}}$$

$$V_{C \max} = V_{DD} - \frac{I_O R_1}{2} - v_{DS1 \text{sat}} + v_{GS1} = V_{DD} - \frac{I_O R_1}{2} + V_T$$



$v_O(v_I)$ caractéristiques pour multiples tensions d'entrée de mode commun

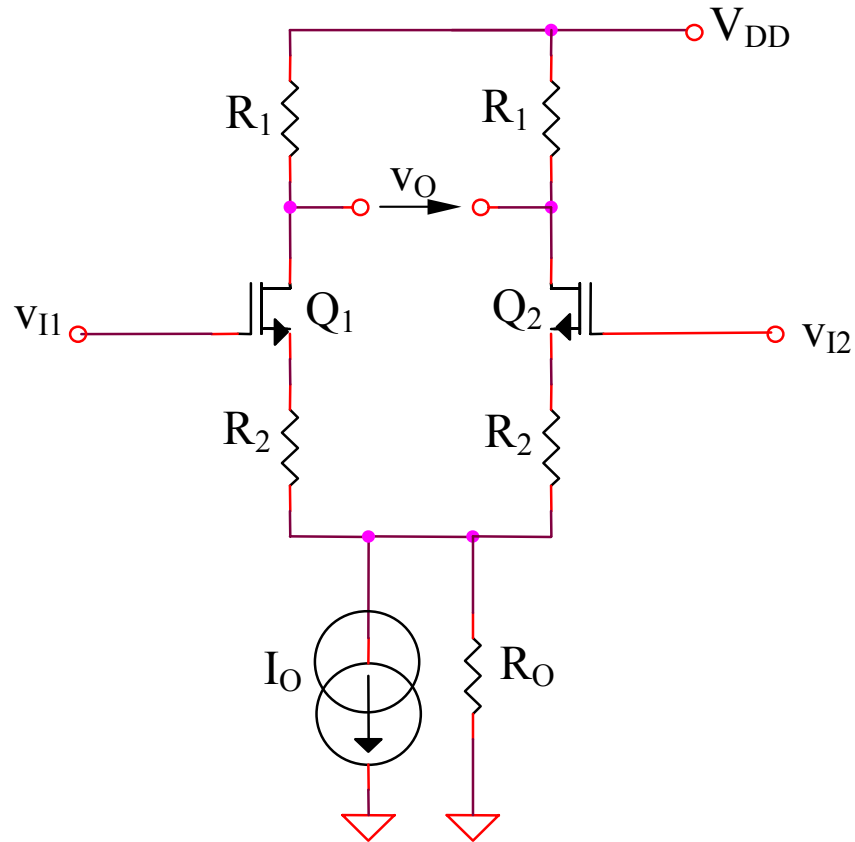
$$V_{C\min} \cong 1.2V$$



$v_O(v_I)$ caractéristiques pour multiples tensions d'entrée de mode commun

$$V_{C \max} \cong 9V$$

On peut augmenter la plage de tension d'entrée en amplification linéaire par adjonction de résistances en série dans les sources (dégénération de source).

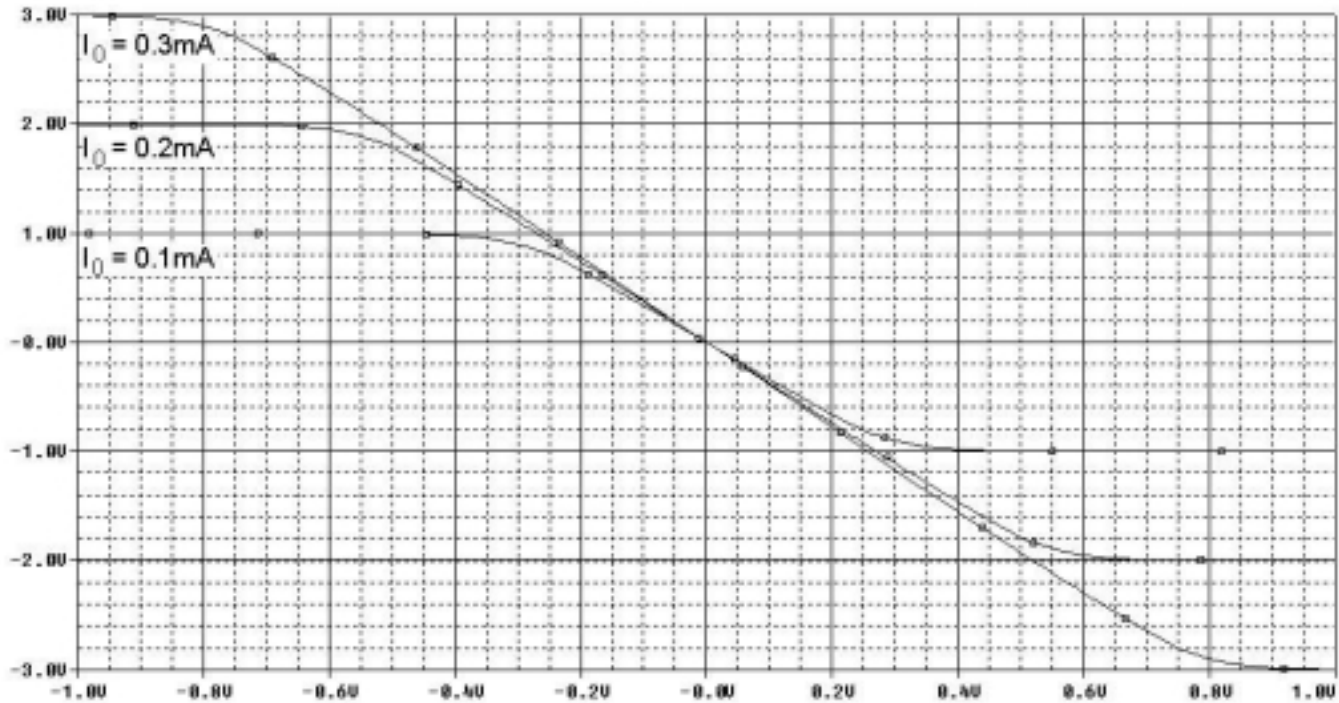


$$A_{dd} = -\frac{g_m R_1}{1 + g_m R_2}$$

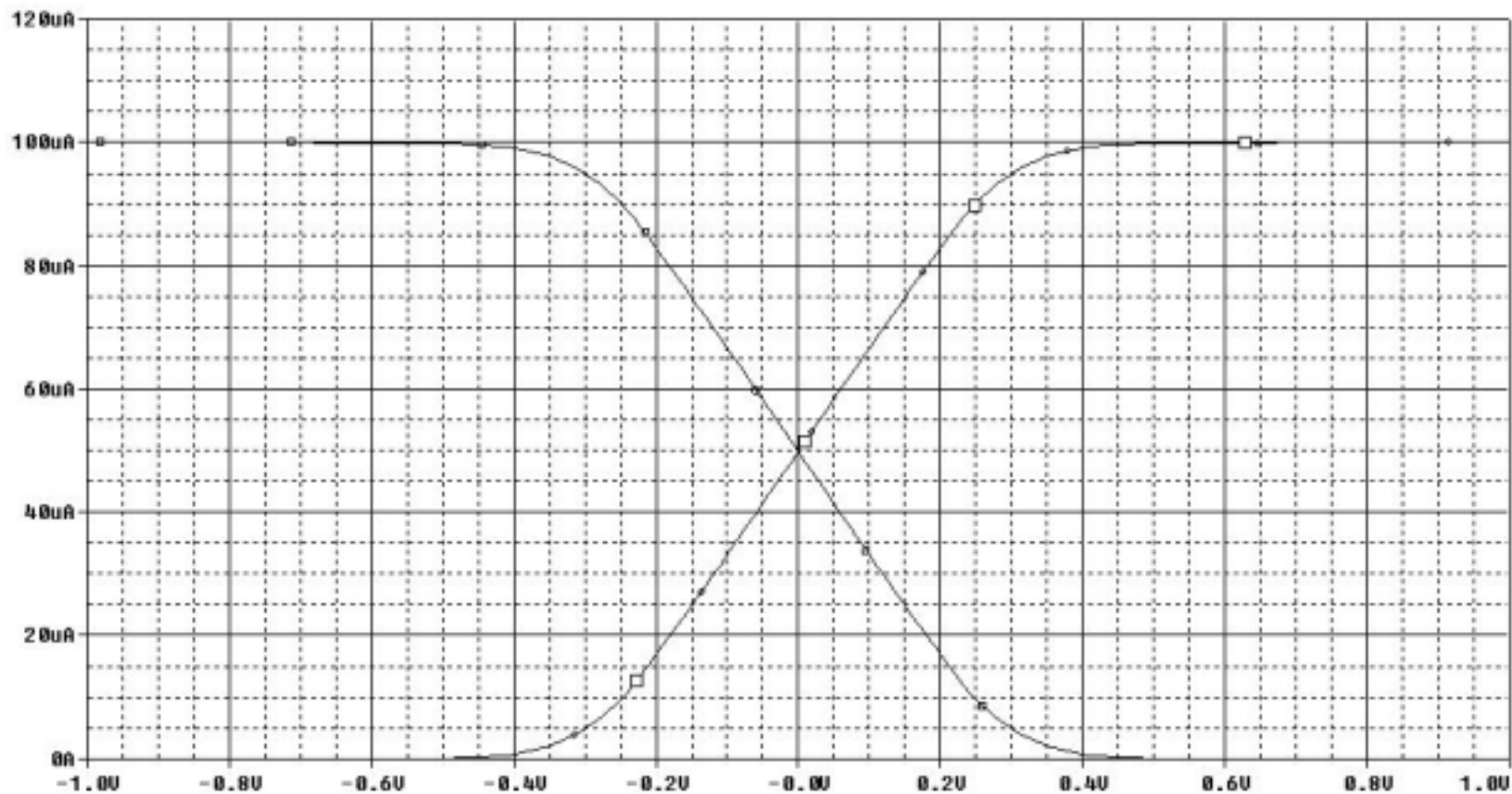
$$A_{cc} = -\frac{g_m R_1}{1 + g_m (R_2 + 2R_O)}$$

$$V_{C\min} = v_{GS1} + v_{DS3sat} + \frac{I_O R_2}{2} = v_{GS1} + v_{GS3} - V_T + \frac{I_O R_2}{2} = V_T + (\sqrt{2} + 1) \sqrt{\frac{I_O}{K}} + \frac{I_O R_2}{2}$$

$$V_{C\max} = V_{DD} - \frac{I_O R_1}{2} - v_{DS1sat} + v_{GS1} = V_{DD} - \frac{I_O R_1}{2} + V_T$$



$v_O(v_I)$ caractéristiques pour multiples courants de polarisation



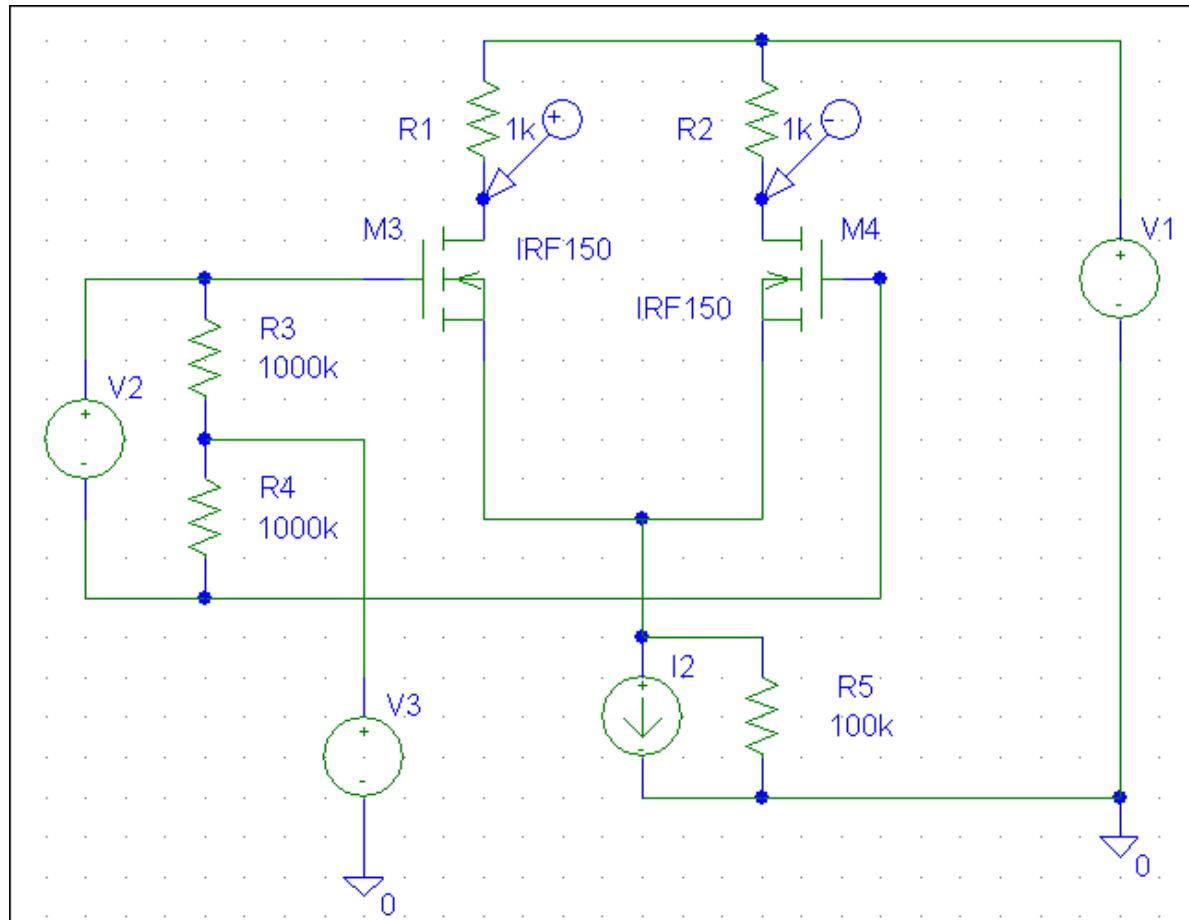
Caractéristiques $i_{D1}, i_{D2}(v_I)$

SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS
Analyse du grand signal en mode différentiel

SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

Analyse du grand signal en mode différentiel

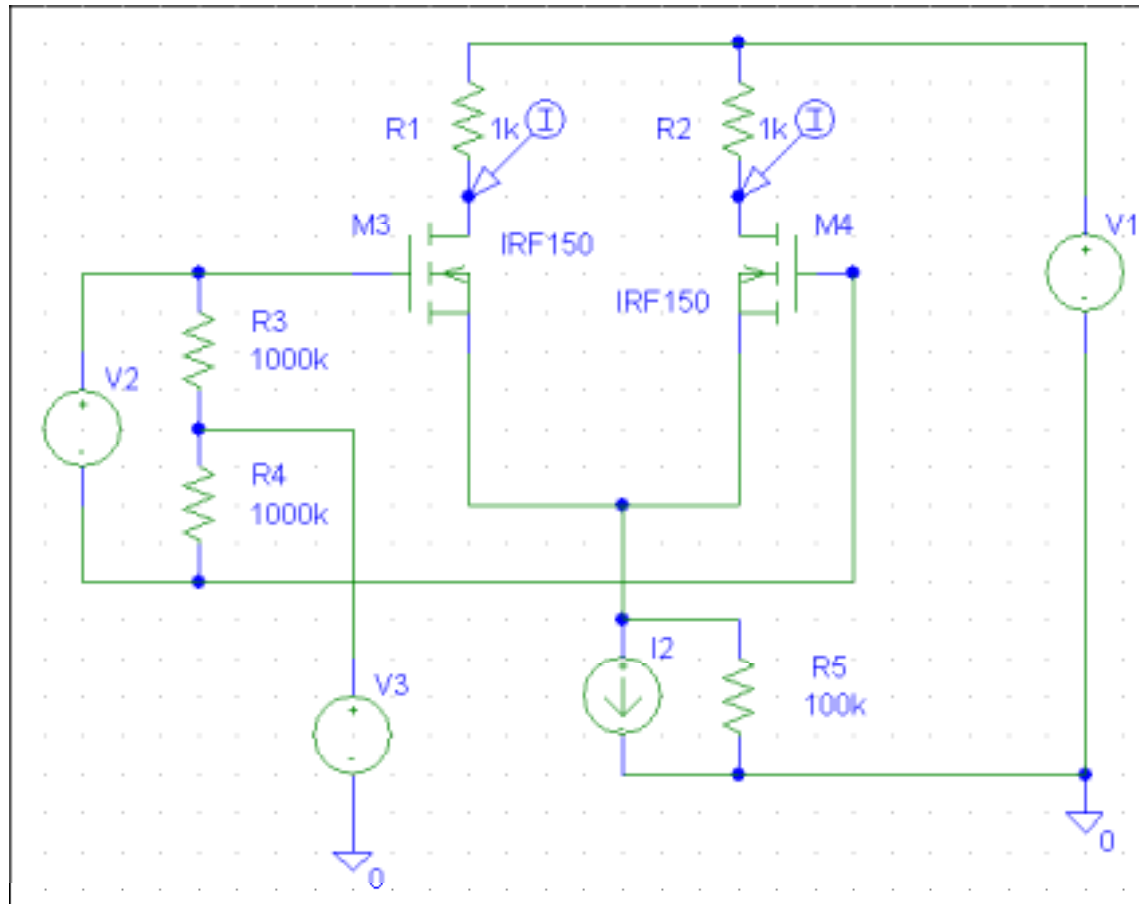
SIM 2.7: V_O (V2)



SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

Analyse du grand signal en mode différentiel

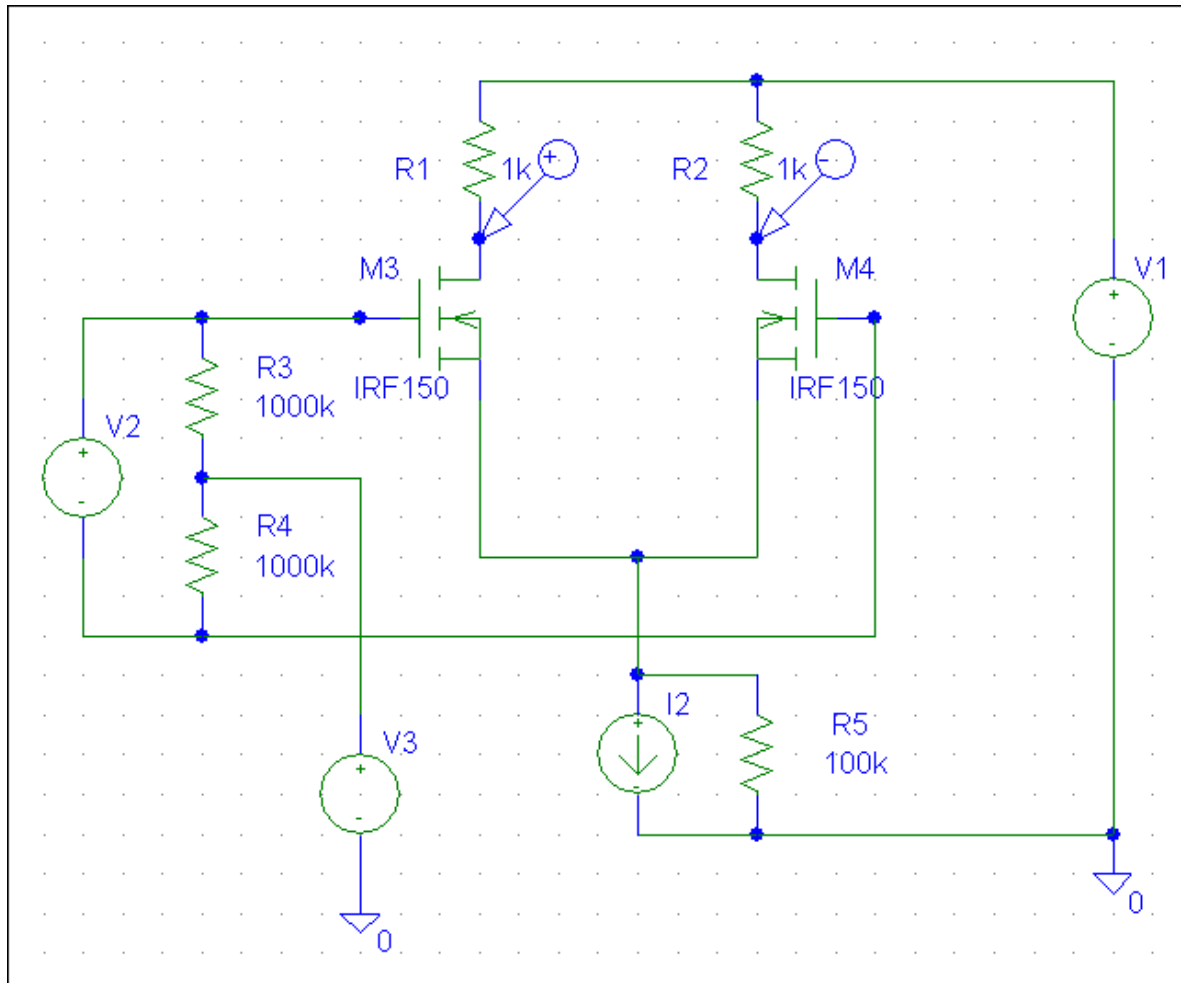
SIM 2.8: i_{D1} , i_{D2} (V2)



SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

Analyse du grand signal en mode différentiel

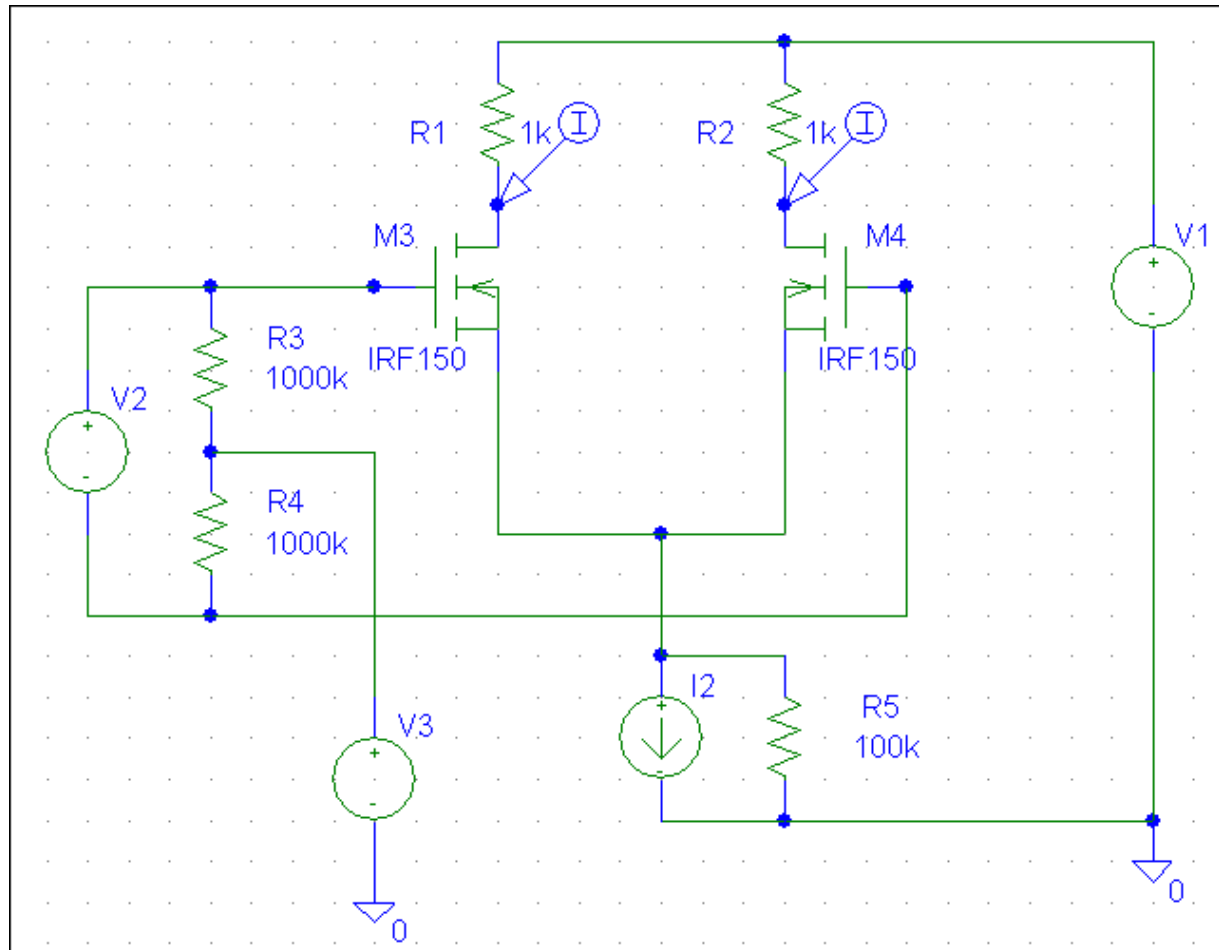
SIM 2.9: V_O (V2), I2 - paramètre



SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

Analyse du grand signal en mode différentiel

SIM 2.10: i_{D1} , i_{D2} (V2), I2 - paramètre

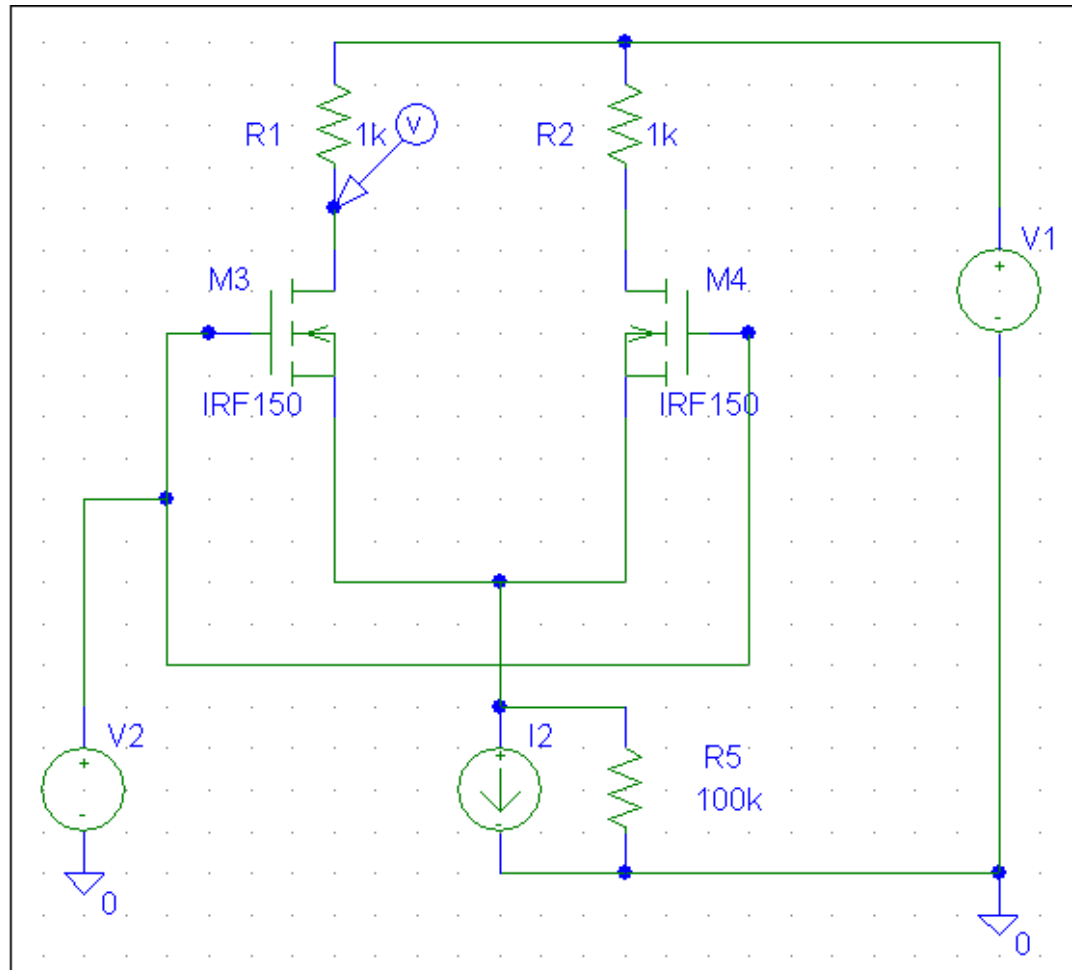


SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS
Analyse du grand signal en mode commun

SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

Analyse du grand signal en mode commun

SIM 2.11: V_{C1} (V2)



2.6.4. La tension de décalage d'entrée

2.6.4. La tension de décalage d'entrée

Si les deux transistors de l'étage différentiel ne sont pas identiques, il est nécessaire d'appliquer une tension d'entrée (nommée tension de décalage d'entrée V_{IO}) pour obtenir une tension de sortie de valeur nulle.

$$V_{IO} = v_{GS1} - v_{GS2} = (V_{T1} - V_{T2}) + \left(\sqrt{\frac{2i_{D1}}{K'(W/L)_1}} - \sqrt{\frac{2i_{D2}}{K'(W/L)_2}} \right)$$

$$V_{IO} = \Delta V_T + \sqrt{\frac{2(i_D + \Delta i_D / 2)}{K'[(W/L) - \Delta(W/L)/2]}} - \sqrt{\frac{2(i_D - \Delta i_D / 2)}{K'[(W/L) + \Delta(W/L)/2]}}$$

$$V_{IO} = \Delta V_T + \sqrt{\frac{2i_D}{K'(W/L)}} \left[\sqrt{1 + \frac{\Delta i_D}{2i_D} + \frac{\Delta(W/L)}{2(W/L)}} - \sqrt{1 - \frac{\Delta i_D}{2i_D} - \frac{\Delta(W/L)}{2(W/L)}} \right]$$

Semblable avec l'amplificateur différentiel bipolaire il résulte:

$$V_{IO} = \Delta V_T + \frac{V_{GS} - V_T}{2} \left[\frac{\Delta i_D}{i_D} + \frac{\Delta(W/L)}{(W/L)} \right]$$

Mais:

$$\left(i_D + \frac{\Delta i_D}{2}\right)\left(R - \frac{\Delta R}{2}\right) = \left(i_D - \frac{\Delta i_D}{2}\right)\left(R + \frac{\Delta R}{2}\right)$$

équivalent avec:

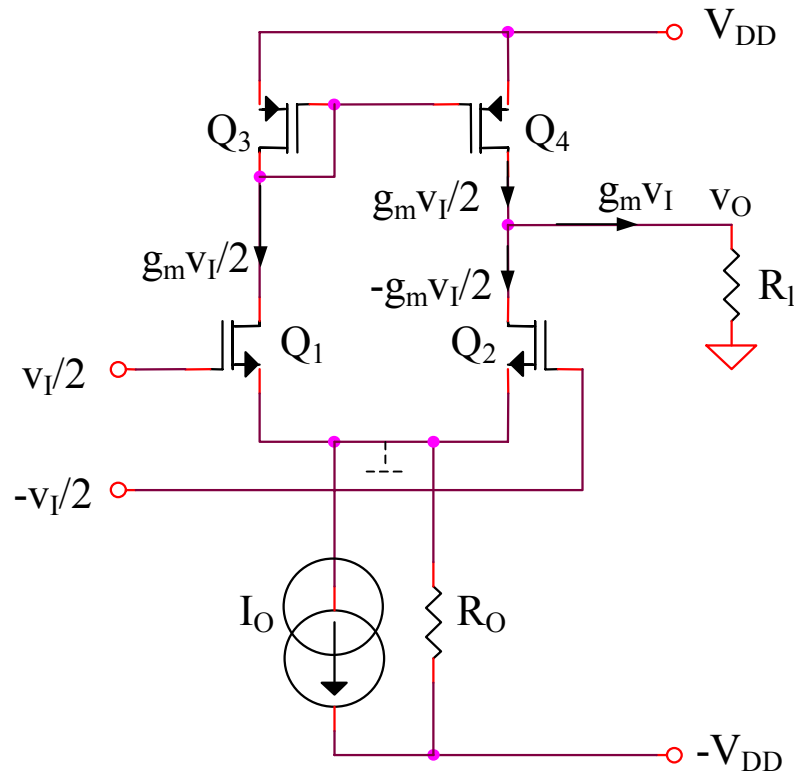
$$\frac{\Delta i_D}{i_D} = \frac{\Delta R}{R}$$

Il résulte:

$$V_{IO} = \Delta V_T + \frac{V_{GS} - V_T}{2} \left[\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta(W/L)}{(W/L)} \right]$$

2.6.5. Amplificateur différentiel avec charge active

2.6.5. Amplificateur différentiel avec charge active

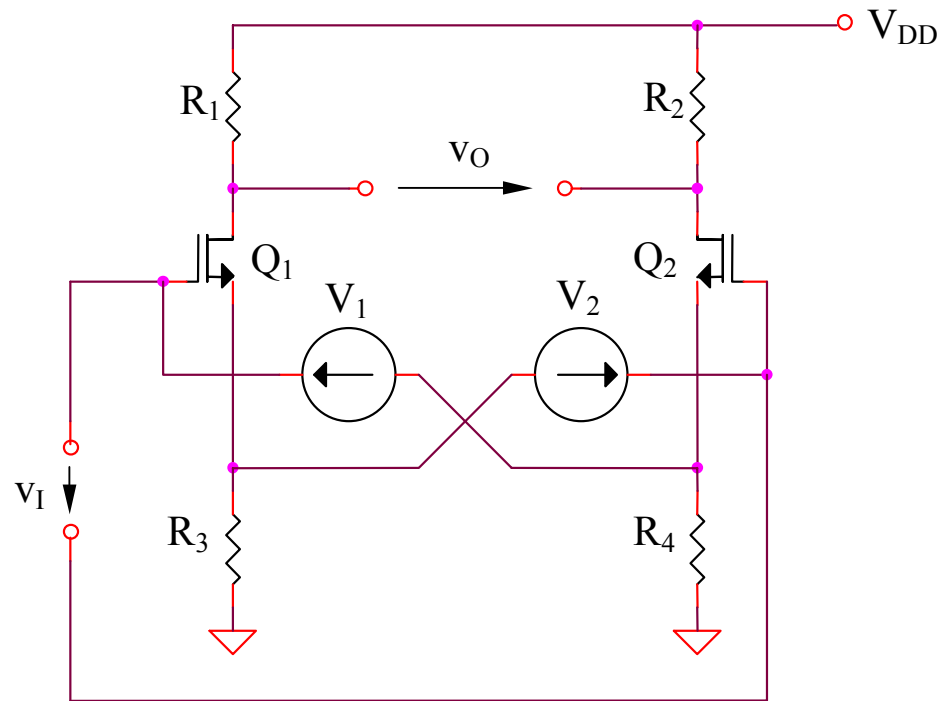


$$A_{dd} = g_m (r_{ds2} // r_{ds4} // R_l)$$

$$A_{dd} \Big|_{R_l \rightarrow \infty} = g_m (r_{ds2} // r_{ds4}) = g_m \frac{r_{ds}}{2} = \frac{1}{2\lambda} \sqrt{\frac{K}{I_O}}$$

2.6.6. Amplificateur différentiel avec la somme constante de tension de porte-source

2.6.6. Amplificateur différentiel avec la somme constante de tension de porte-source



$$i_{D1} = \frac{K}{2} (v_{GS1} - V_T)^2$$

$$i_{D2} = \frac{K}{2} (v_{GS2} - V_T)^2$$

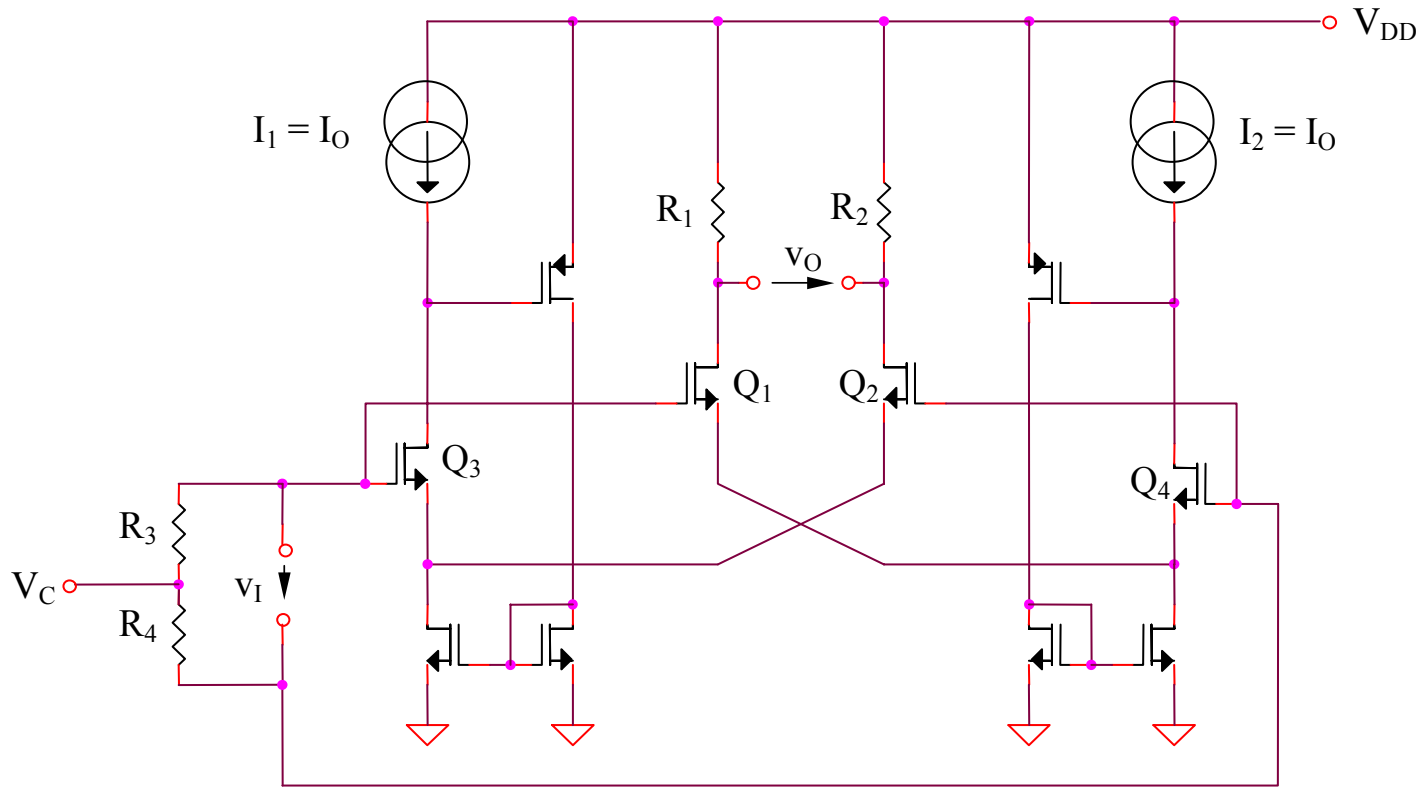
$$v_O = R_1 (i_{D2} - i_{D1}) = \frac{KR_1}{2} (v_{GS2} - v_{GS1})(v_{GS2} + v_{GS1} - 2V_T)$$

$$v_I = V_1 - v_{GS2} = v_{GS1} - V_2 \Rightarrow \begin{cases} v_{GS1} - v_{GS2} = 2v_I \\ v_{GS1} + v_{GS2} = 2V \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} v_O = -2KR_1 (V - V_T) v_I \\ A_{dd} = \frac{v_O}{v_I} = -2KR_1 (V - V_T) \end{cases}$$

$$V_1 = V_2 = V$$

Réalisation possible



$$V_1 = V_2 = V_{GS3} = V_{GS4} = V_T + \sqrt{\frac{2I_O}{K}} \quad \Rightarrow \quad A_{dd} = -2R_1 \sqrt{2KI_O}$$