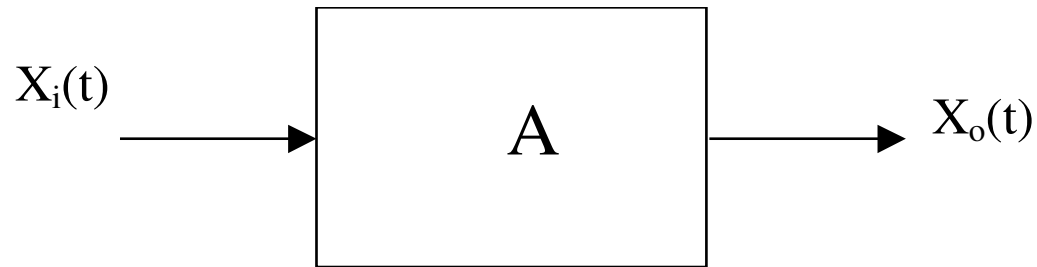


# **Chapitre 3**

## **Etages amplificateurs**

## **3.1. Introduction**

## 3.1. Introduction



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

$$P_o > P_i$$

(pour amplificateurs linéaires)

### **3.1.1. Paramètres**

### 3.1.1. Paramètres:

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

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

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

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

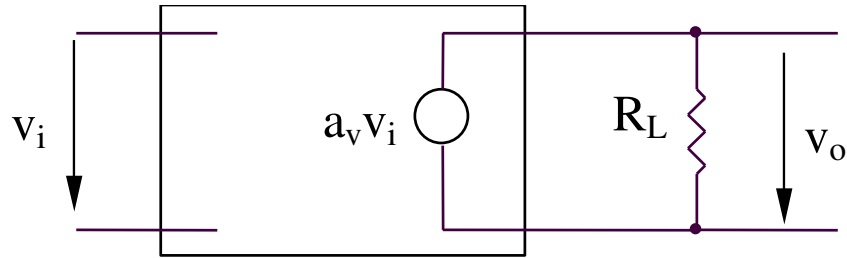
$$A_v = \frac{v_O}{v_I}$$

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

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

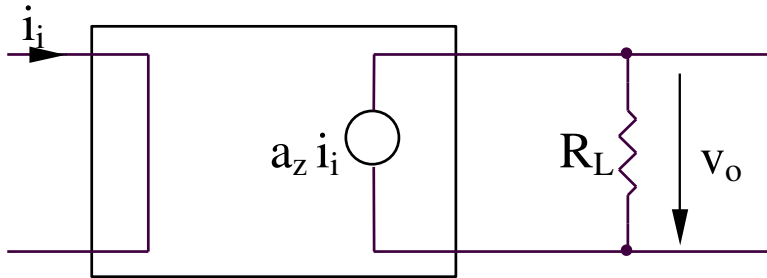
### **3.1.2. Amplificateurs idéales**

### 3.1.2. Amplificateurs idéales



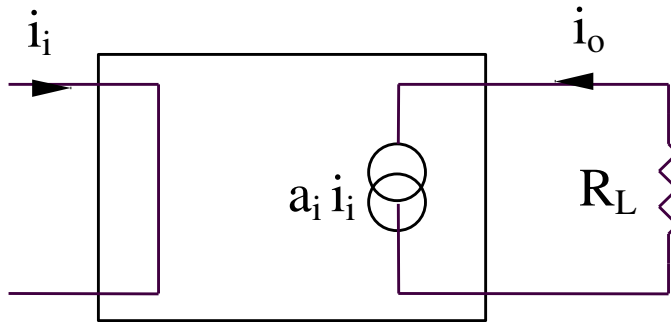
**Amplificateur de tension**

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



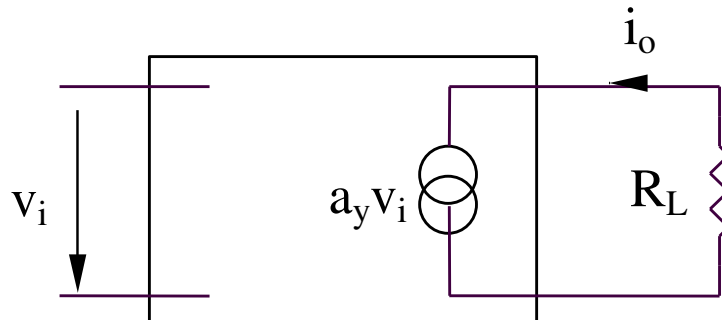
**Amplificateur transimpédance**

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



**Amplificateur de courant**

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



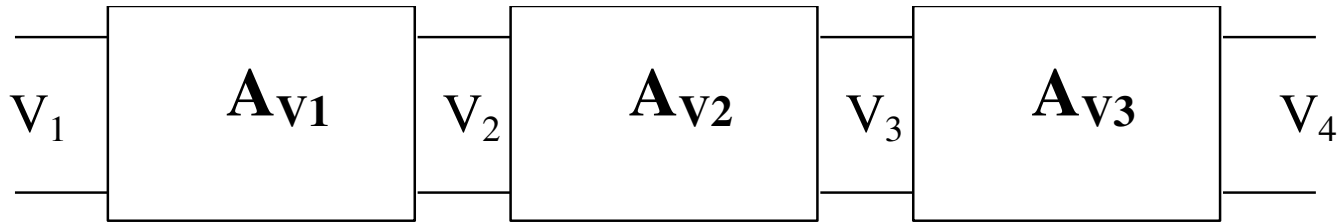
**Amplificateur transadmittance**

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

## **3.2. Le couplage des amplificateurs**



## 3.2. Le couplage des amplificateurs



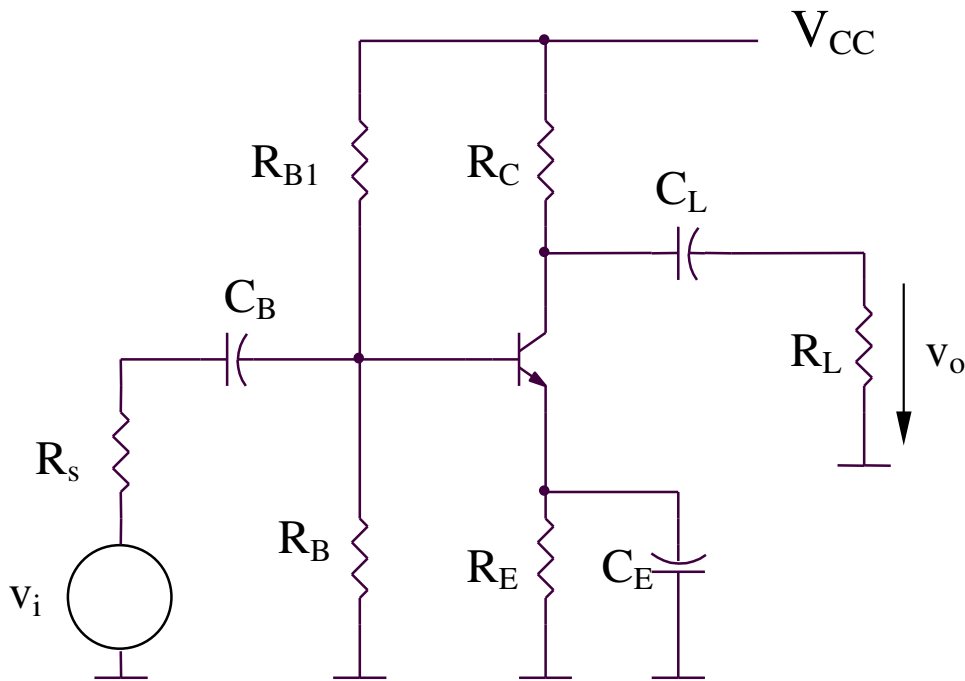
$$A_V = \frac{V_4}{V_1} = A_{V1} A_{V2} A_{V3}$$

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

### **3.3. Etages amplificateurs avec un transistor**

### **3.3.1. Montage émetteur commun**

### 3.3.1. Montage émetteur commun



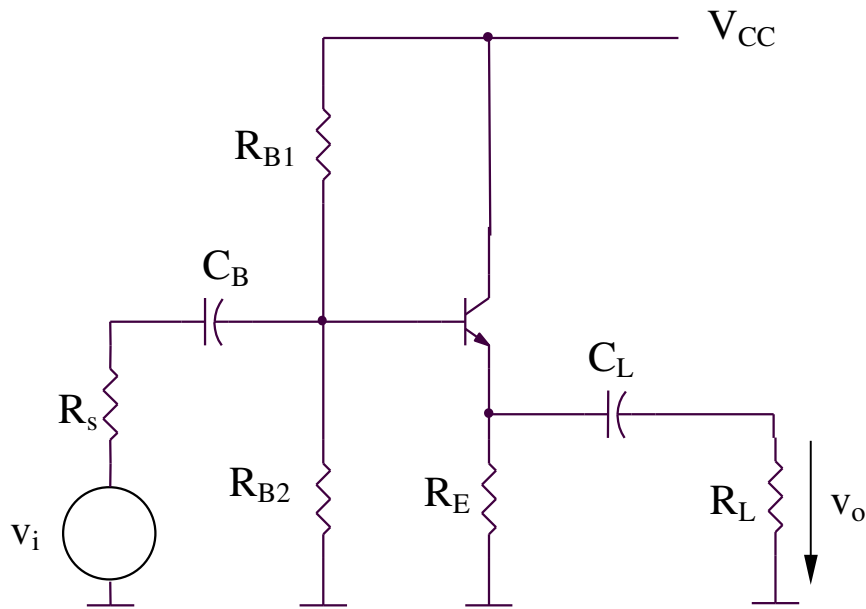
$$A_V = -g_m (R_C // R_L)$$

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

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

### **3.3.2. Montage collecteur commun**

### 3.3.2. Montage collecteur commun



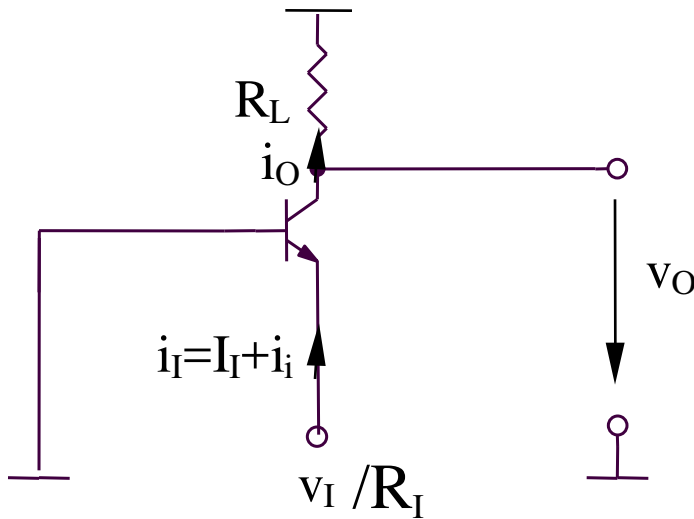
$$A_V = \frac{(\beta + 1)(R_E // R_L)}{r_{\pi} + (\beta + 1)(R_E // R_L)}$$

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

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

### **3.3.3. Montage base commune**

### 3.3.3. Montage base commune



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

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

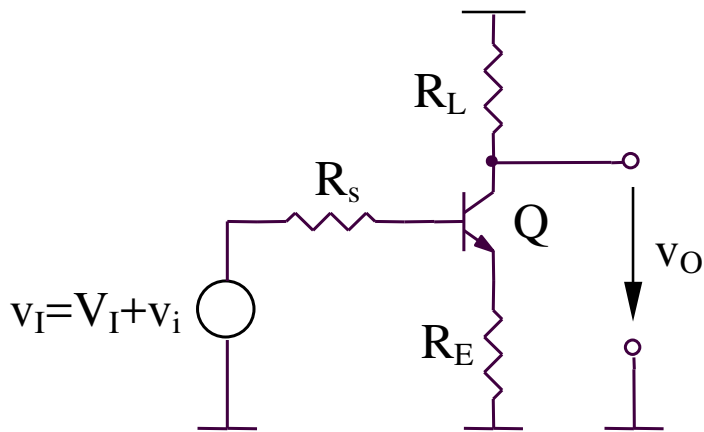
$$R_i = \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = R_L // r_o \left( 1 + \frac{\beta R_I}{r_\pi + R_I} \right)$$



### **3.3.4. Montage émetteur dégénéré**

### 3.3.4. Montage émetteur dégénéré



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

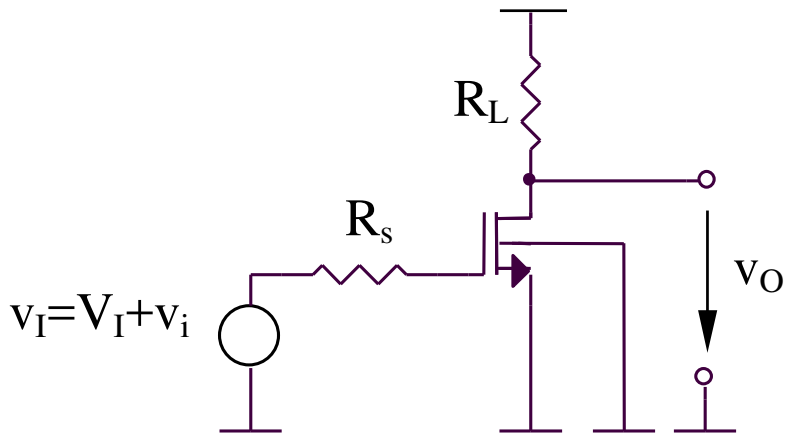
$$A_v = - \frac{\beta R_L}{R_s + r_\pi + (\beta + 1)R_E}$$

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

$$R_o \cong R_L$$

### **3.3.5. Montage source commune**

### 3.3.5. Montage source commune



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

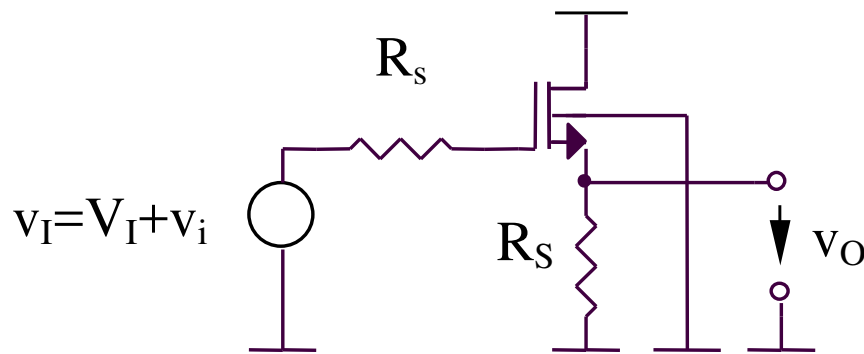
$$A_v = -g_m (R_L // r_{ds})$$

$$R_i = \infty$$

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

### **3.3.6. Montage drain commun**

### 3.3.6. Montage drain commun



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

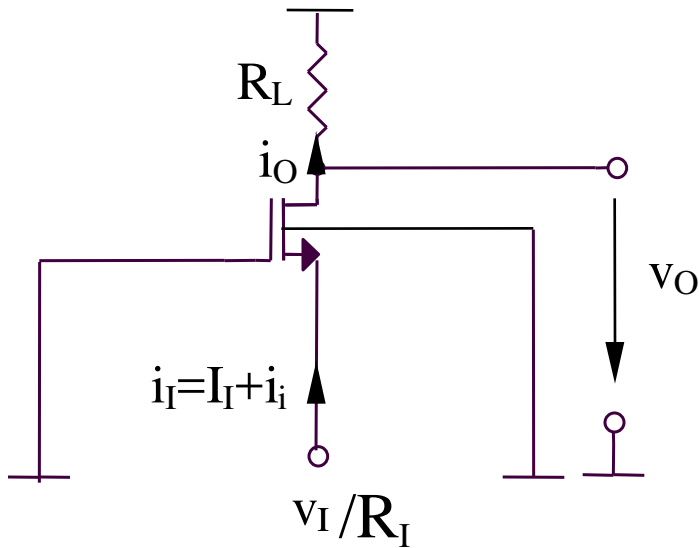
$$A_v = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} \cong 1$$

$$R_i = \infty$$

$$R_o = \frac{1}{g_m} // R_S$$

### **3.3.7. Montage grille commune**

### 3.3.7. Montage grille commune



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

$$A_v = g_m R_L$$

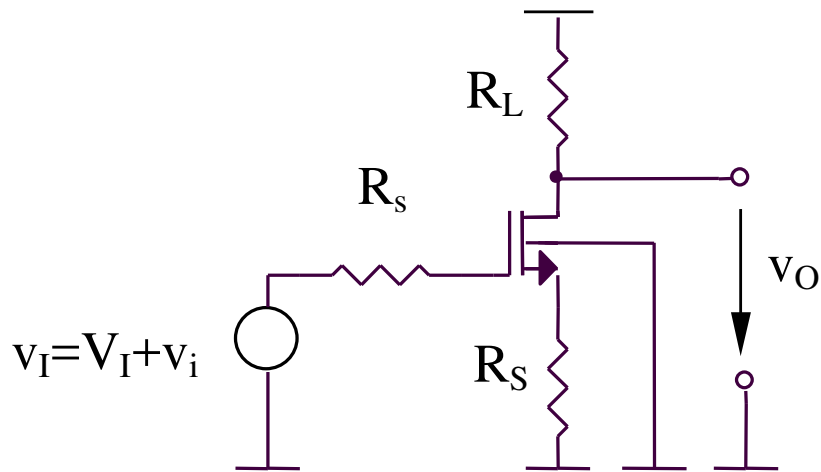
$$R_i = \frac{1}{g_m}$$

$$R_o = R_L // r_{ds} (1 + g_m R_I)$$



### **3.3.8. Montage source dégénéré**

### 3.3.8. Montage source dégrééré



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

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

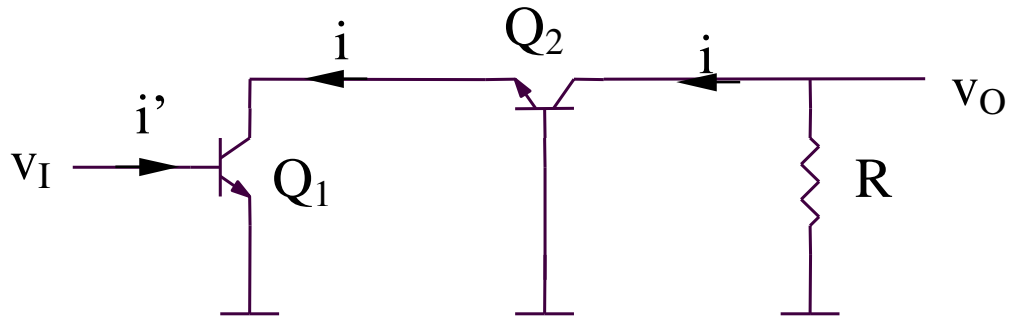
$$R_i = \infty$$

$$R_o \cong R_L$$

## **3.4. Etages amplificateurs à deux transistors**

### **3.4.1. Montage cascode**

### 3.4.1. Montage cascode



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

## **3.5. Etage amplificateur différentiel bipolaire**

## 3.5. 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

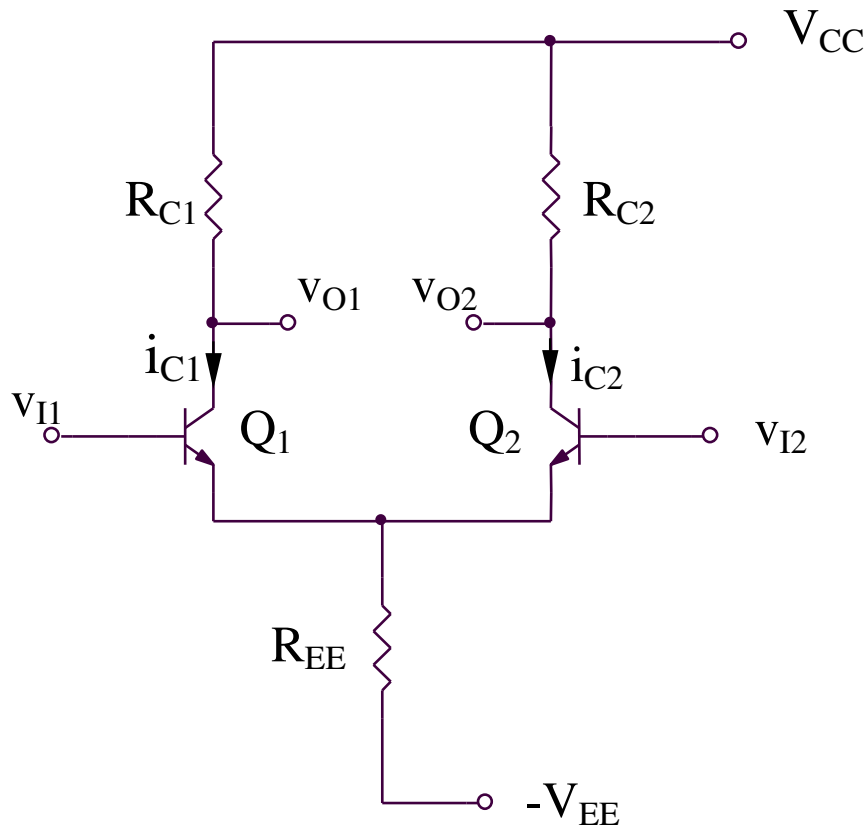
La sortie peut être prise:

- soit de façon symétrique:

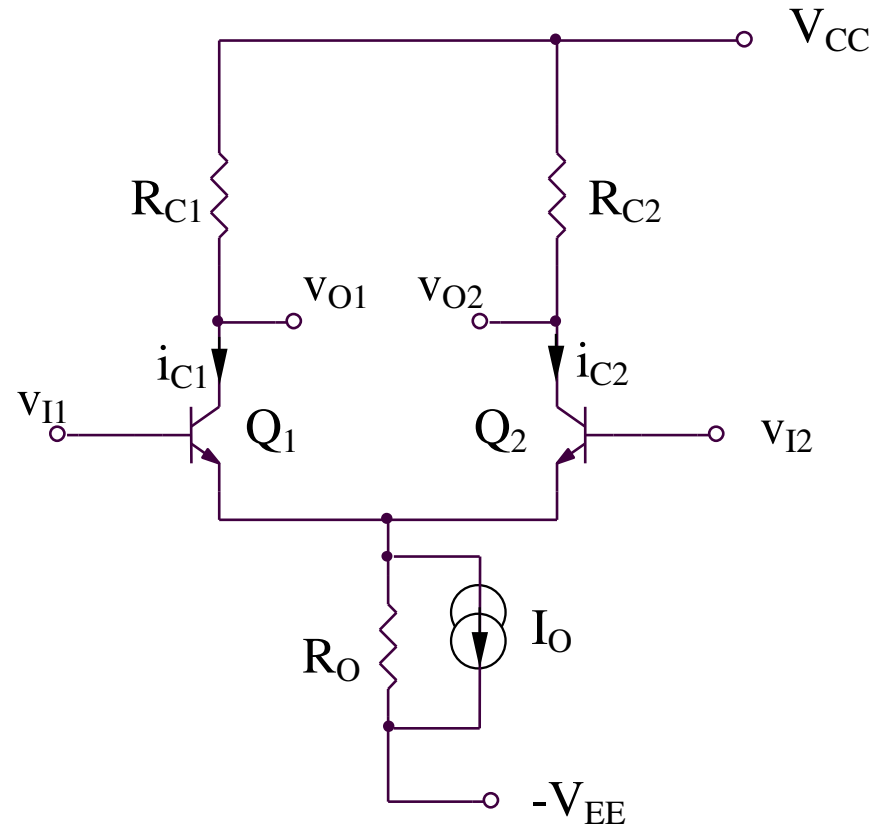
$$R_{C1} = R_{C2} \quad v_O = v_{O1} - v_{O2} = A(v_{I1} - v_{I2})$$

- 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



### **3.5.1. Analyse du grand signal**

### 3.5.1. 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:

$$\frac{i_{C1}(x)}{I_0} = \frac{1}{1+e^{-x}} = \frac{1}{2} + \frac{x}{4} - \frac{x^3}{48} + \dots \quad x = \frac{v_{I1} - v_{I2}}{V_{th}}$$

$$\frac{i_{C2}(x)}{I_0} = \frac{1}{1+e^x} = \frac{1}{2} - \frac{x}{4} + \frac{x^3}{48} - \dots \quad \alpha = 1$$

Donc, la tangente à la caractéristique  $i_{C1}(x)/I_0$  a l'équation suivante:

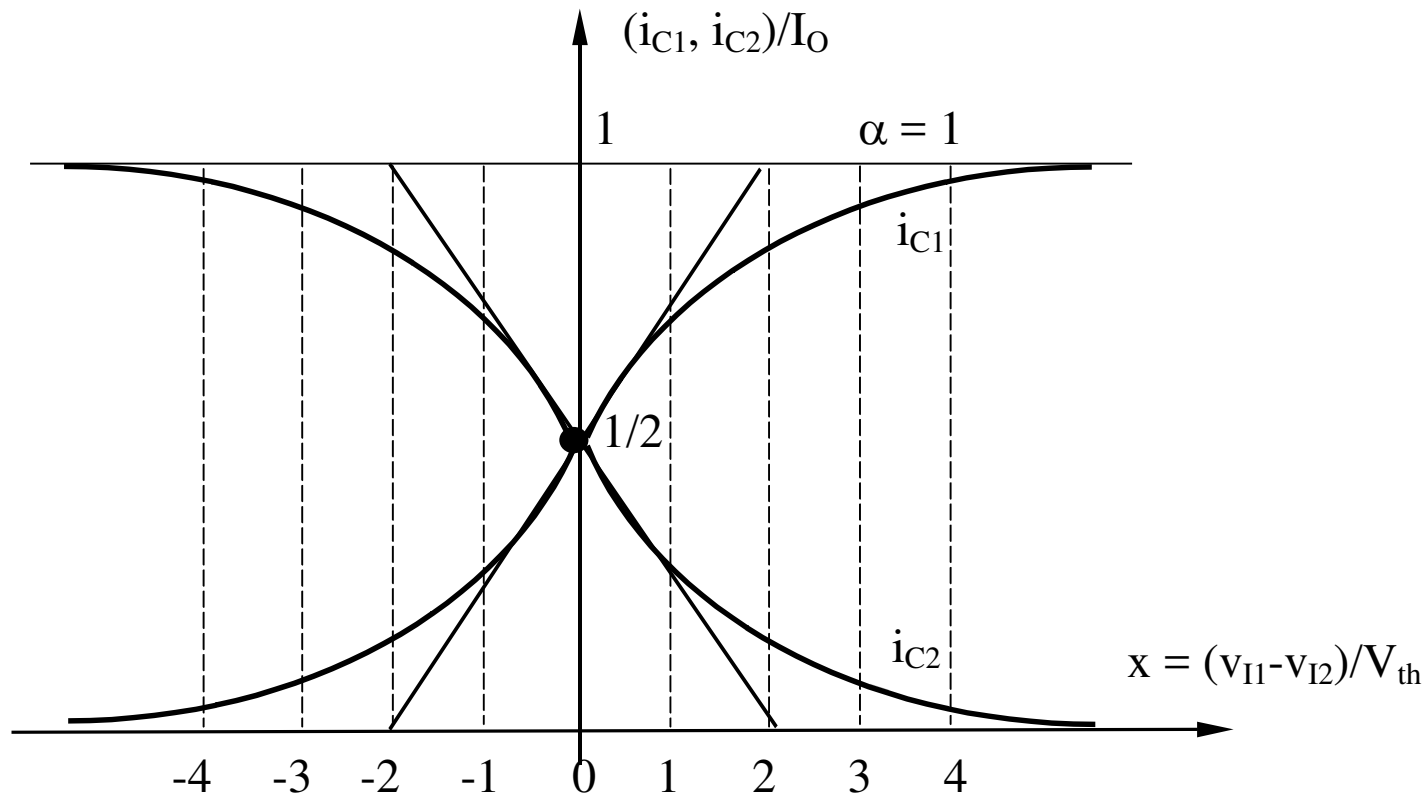
$$y = \frac{1}{2} + \frac{x}{4}$$

Si:

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

### Remarques:

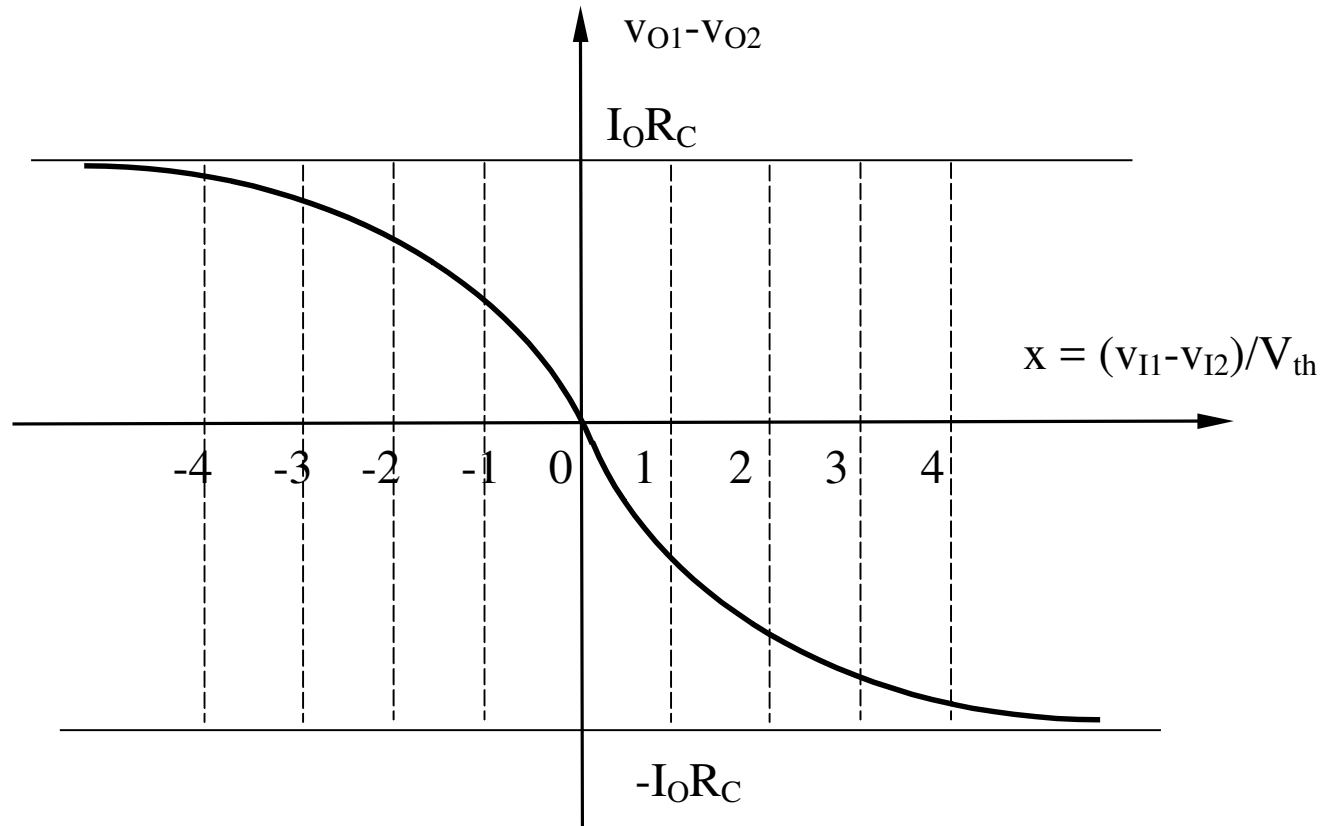
- pour  $v_{I1} = v_{I2}$  (ou  $x = 0$ ),  $i_{C1} = i_{C2} = I_0/2$
- pour un fonctionnement quasi-linéaire, l'excursion de la tension d'entrée doit être inférieure à  $2V_{th}$  (ou  $x = 2$ ), soit environ 50mV



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

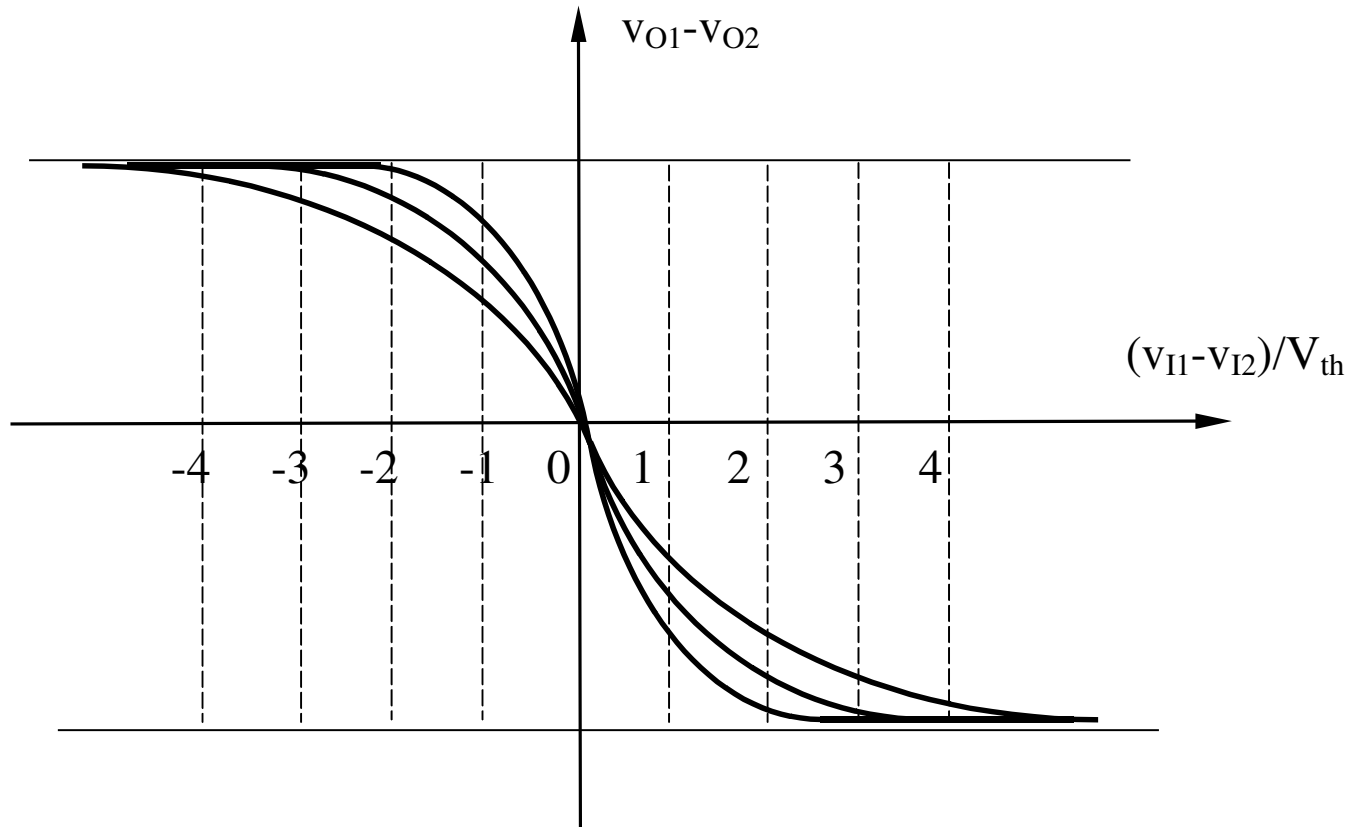
La tension symétrique de sortie est:

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



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)



### **3.5.2. Analyse du petit signal**

## 3.5.2. Analyse du petit signal

On distingue - le mode différentiel ( $v_{id}$ ,  $v_{od}$ )

- le mode commun ( $v_{ic}$ ,  $v_{oc}$ )

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

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

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

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

$$\Rightarrow v_{i1} = v_{ic} + v_{id} \quad ; \quad v_{o1} = v_{oc} + v_{od}$$

$$v_{i2} = v_{ic} - v_{id} \quad ; \quad v_{o2} = v_{oc} - v_{od}$$



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:

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

$$v_{o2} = v_{oc} - v_{od} = -A_{dd}v_{id} + A_{cc}v_{ic}$$

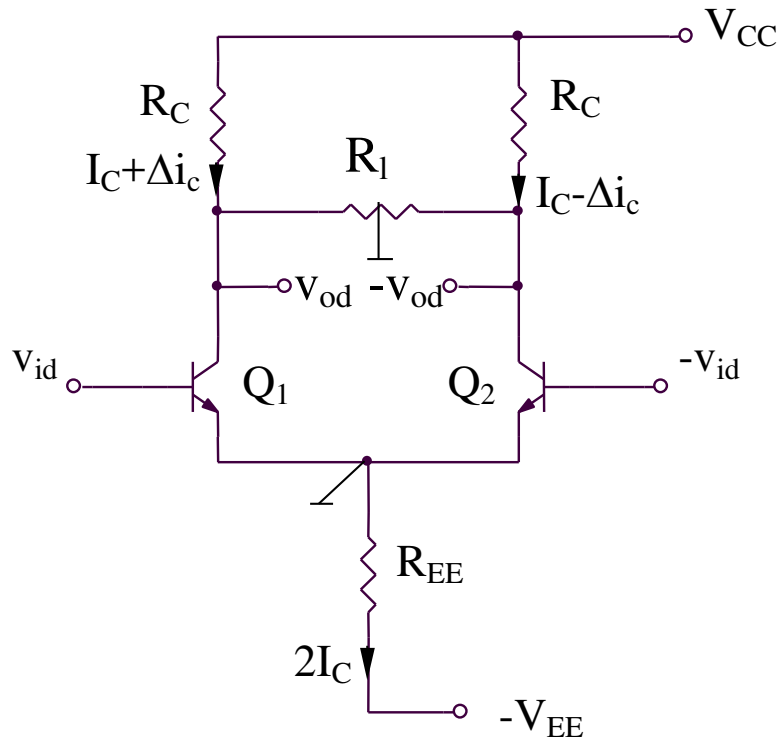
La Taux de Réjection du Mode Commun doit être aussi élevé que possible:

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

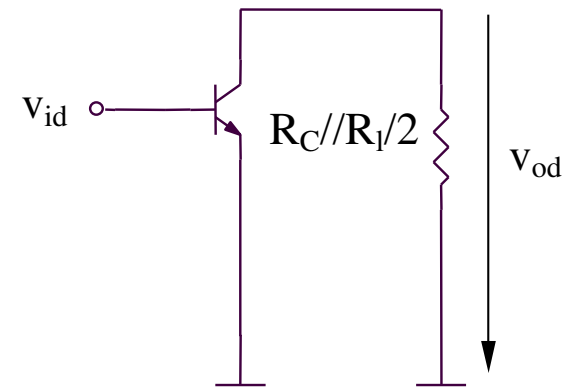
## Détermination des gains du petit signal: méthode du demi-circuit

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 ( $R_l$ ).



(a)



(b)

Gain différentiel en tension:

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

- sortie symétrique:

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

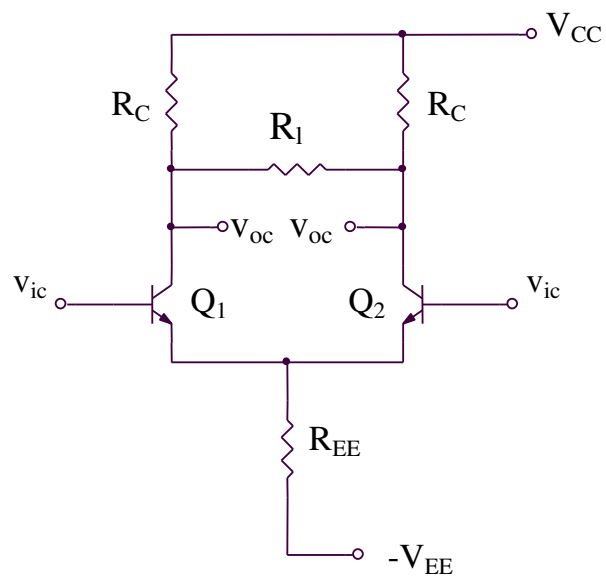
- sortie asymétrique:

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

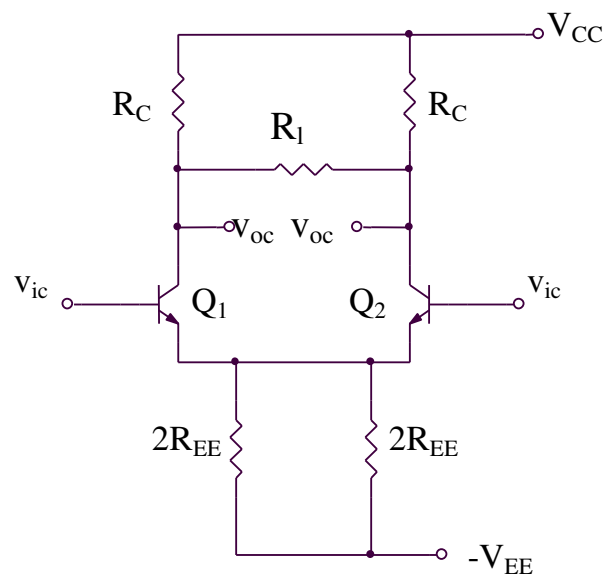
Résistance différentiel d'entrée:

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

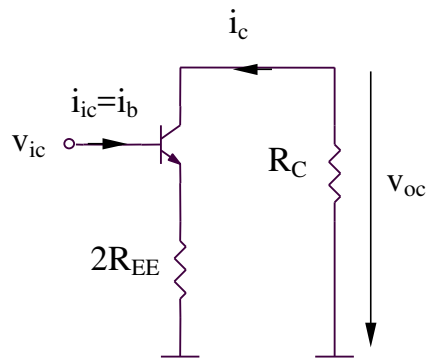
**Mode commun (  $v_{ic} \neq 0, v_{id} = 0 \Rightarrow v_{i1} = v_{ic}, v_{i2} = -v_{ic}$  )**



(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:

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

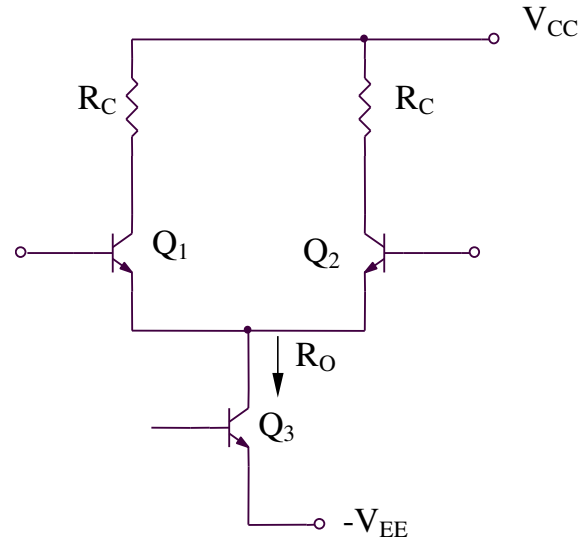
Par conséquent:

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

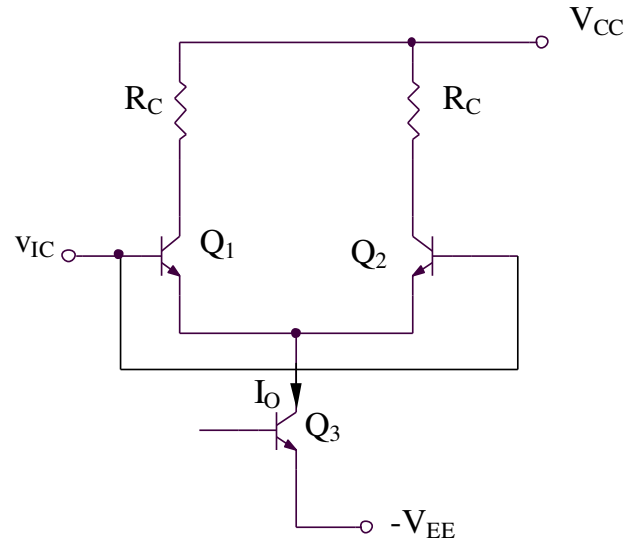
Pour augmenter de TRMC, il faut donc augmenter la chute de tension dans  $R_{EE}$ , en remplaceant  $R_{EE}$  par une source de courant. Alors:

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

où  $R_O$  est la résistance de sortie de  $Q_3$ .



## Détermination de gamme de tension d'entrée de mode commun



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

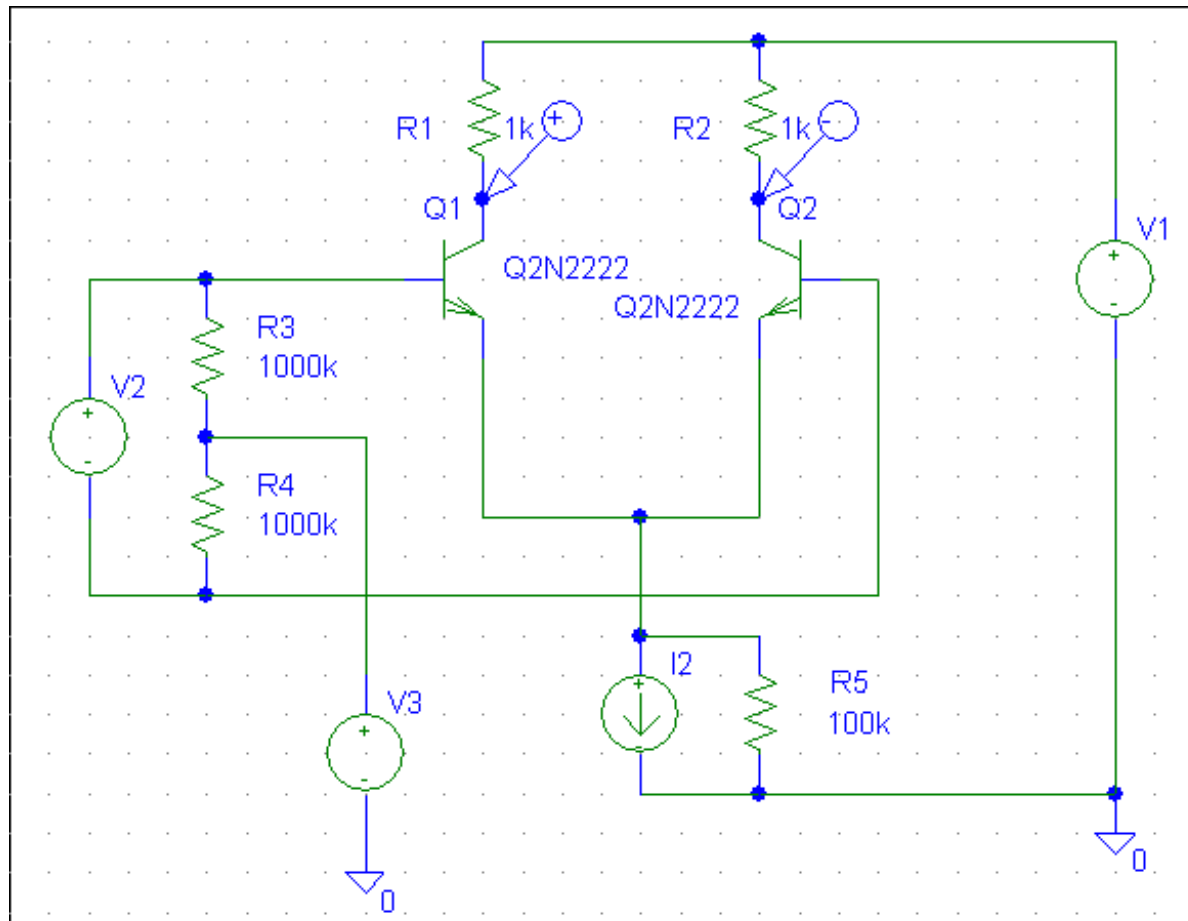
$$v_{IC}^{min} = -V_{EE} + V_{CE3sat} + V_{BE1}$$

**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 3.1: $V_O$ (V2)

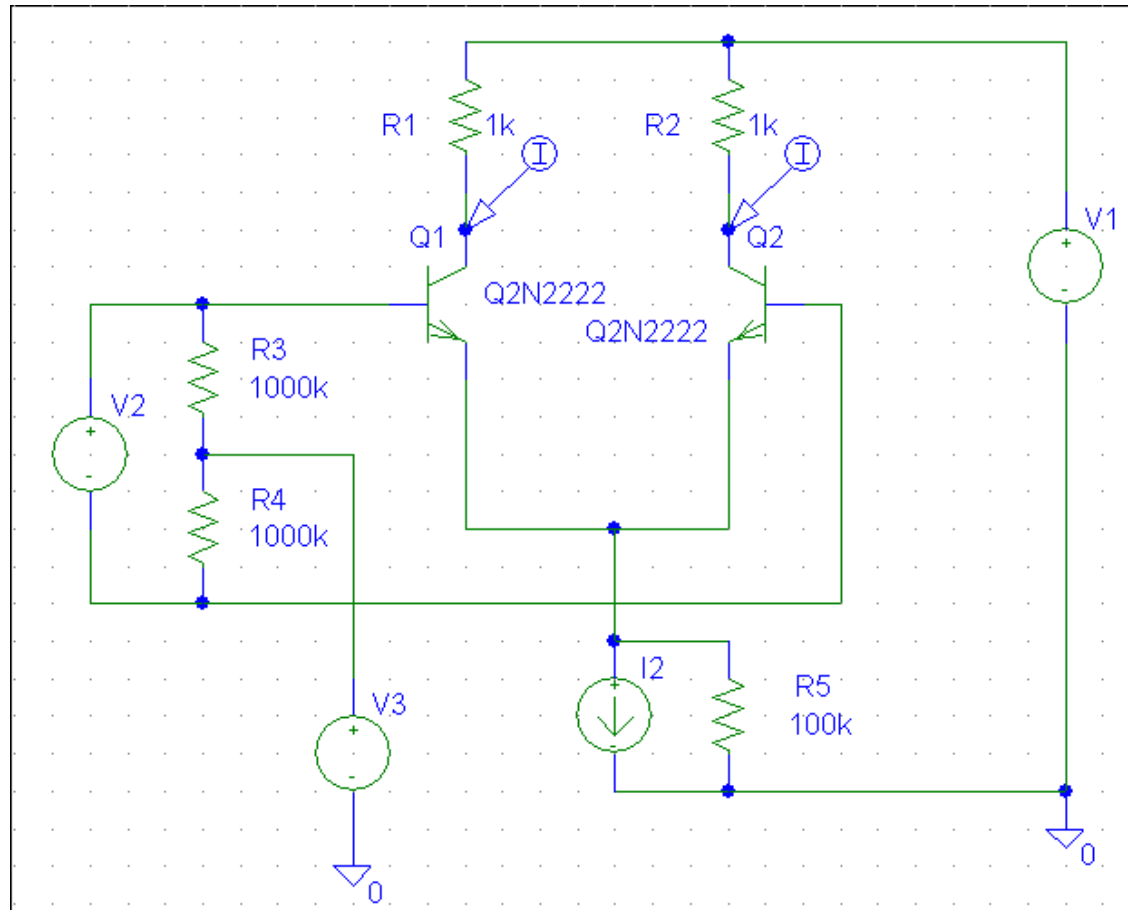




# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

## Analyse du grand signal en mode différentiel

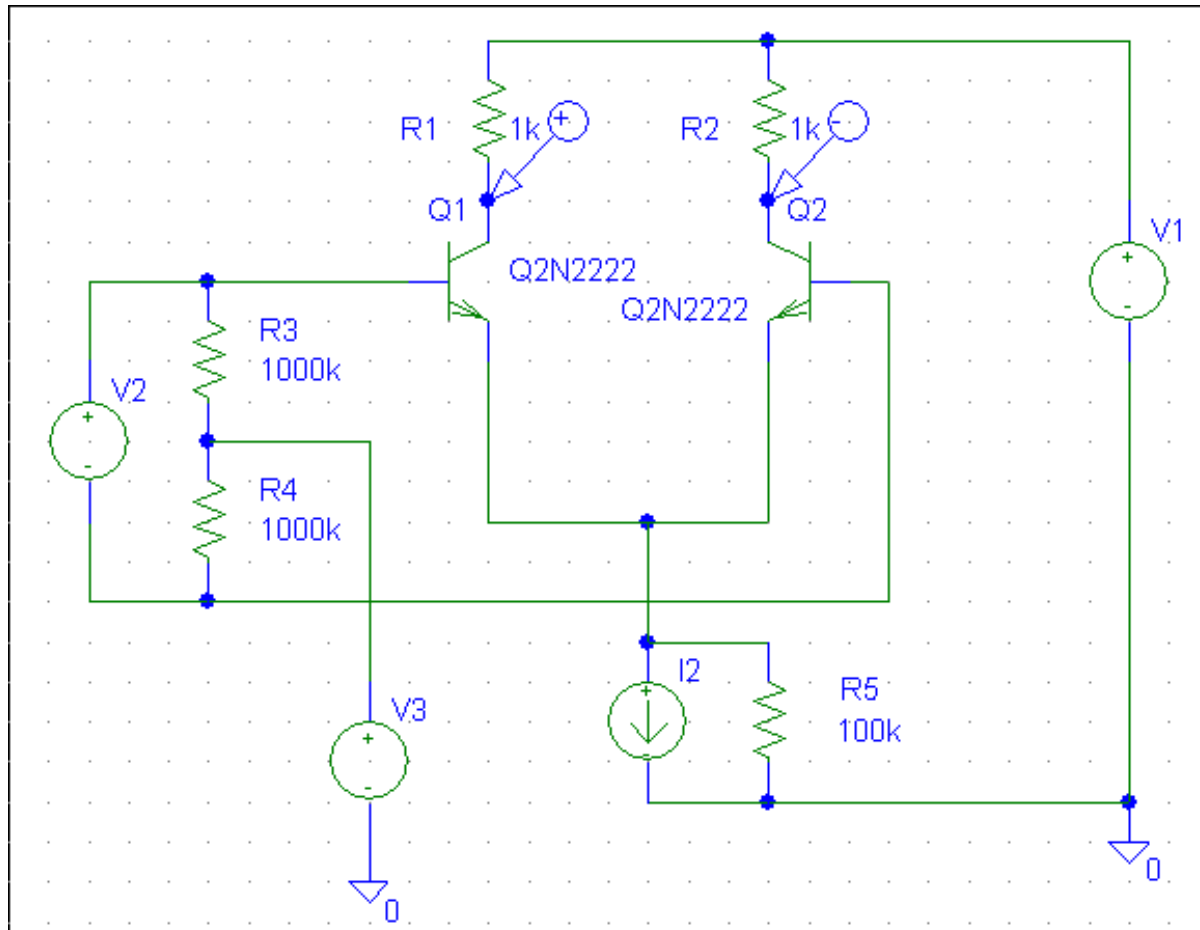
### SIM 3.2: $i_{C1}$ , $i_{C2}$ (V2)



# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

## Analyse du grand signal en mode différentiel

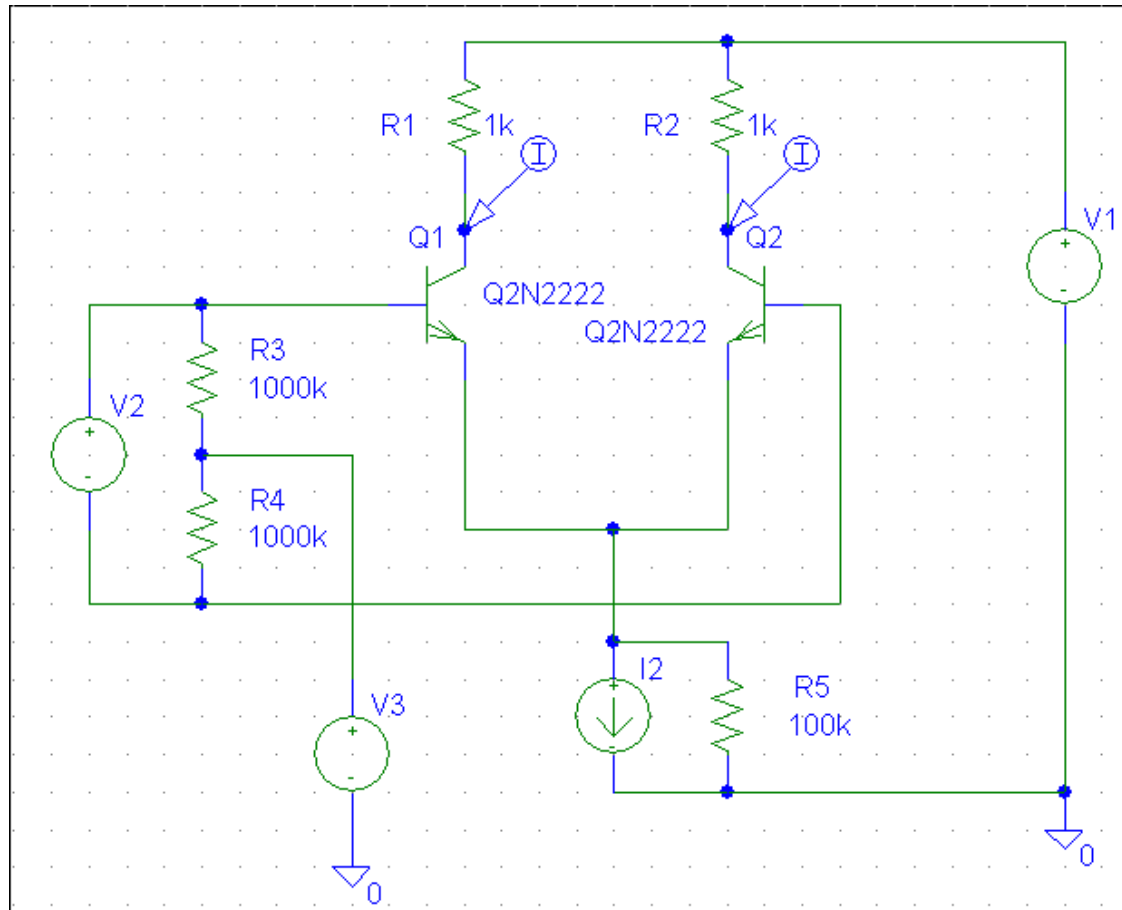
### SIM 3.3: $V_O$ (V2), I2 - paramètre



# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

## Analyse du grand signal en mode différentiel

### SIM 3.4: $i_{C1}$ , $i_{C2}$ (V2), I2 - paramètre

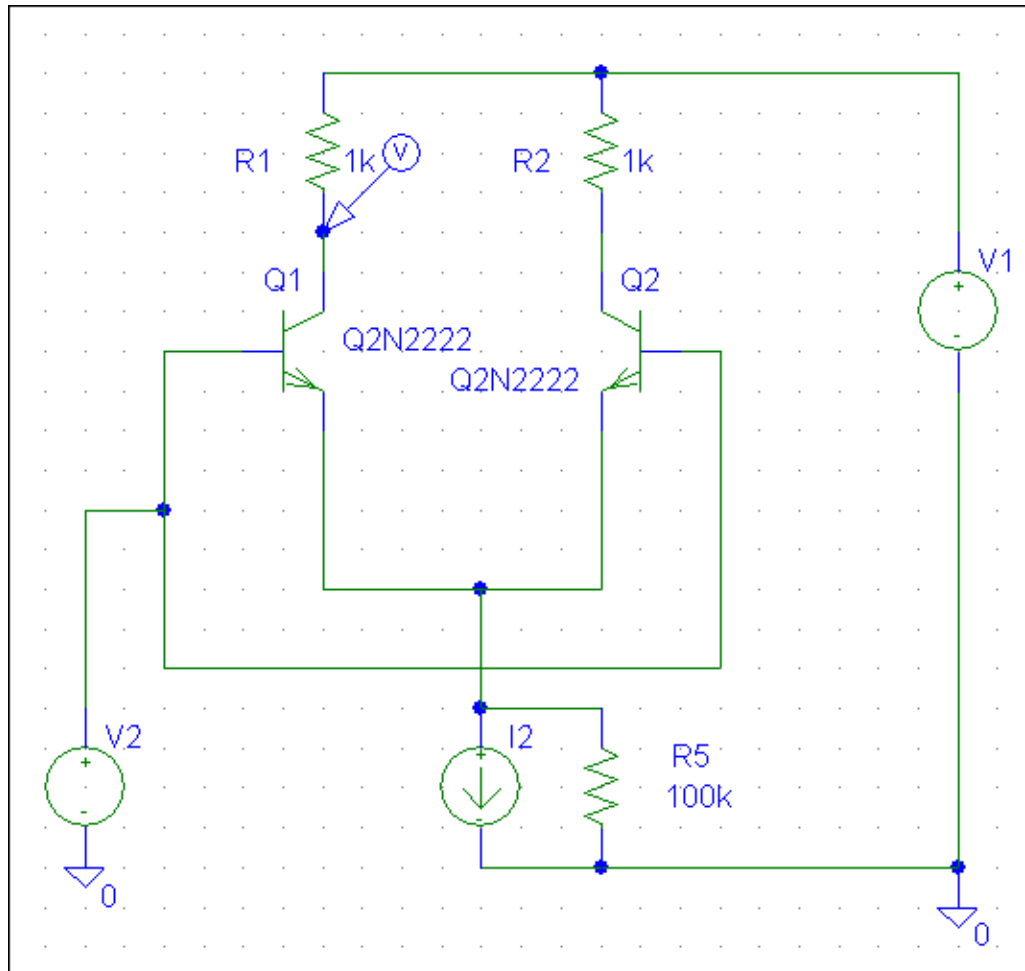


**SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire**  
**Analyse du grand signal en mode commun**

# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

## Analyse du grand signal en mode commun

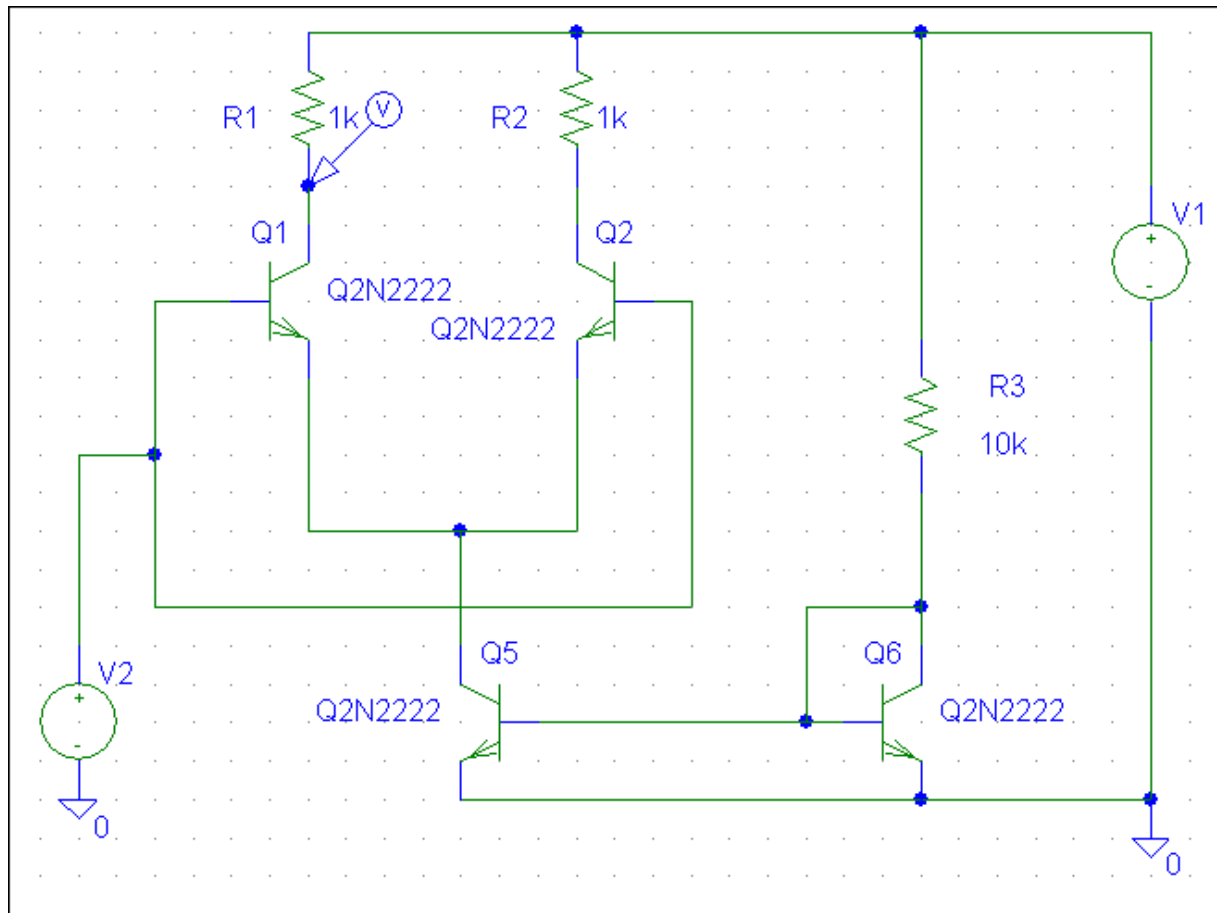
### SIM 3.5: $V_{C1}$ (V2)



# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel bipolaire

## Analyse du grand signal en mode commun

### SIM 3.6: $V_{C1}$ (V2), $V_{A5}$ - paramètre



### **3.5.3. La tension de décalage d'entrée**

### 3.5.3. 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:

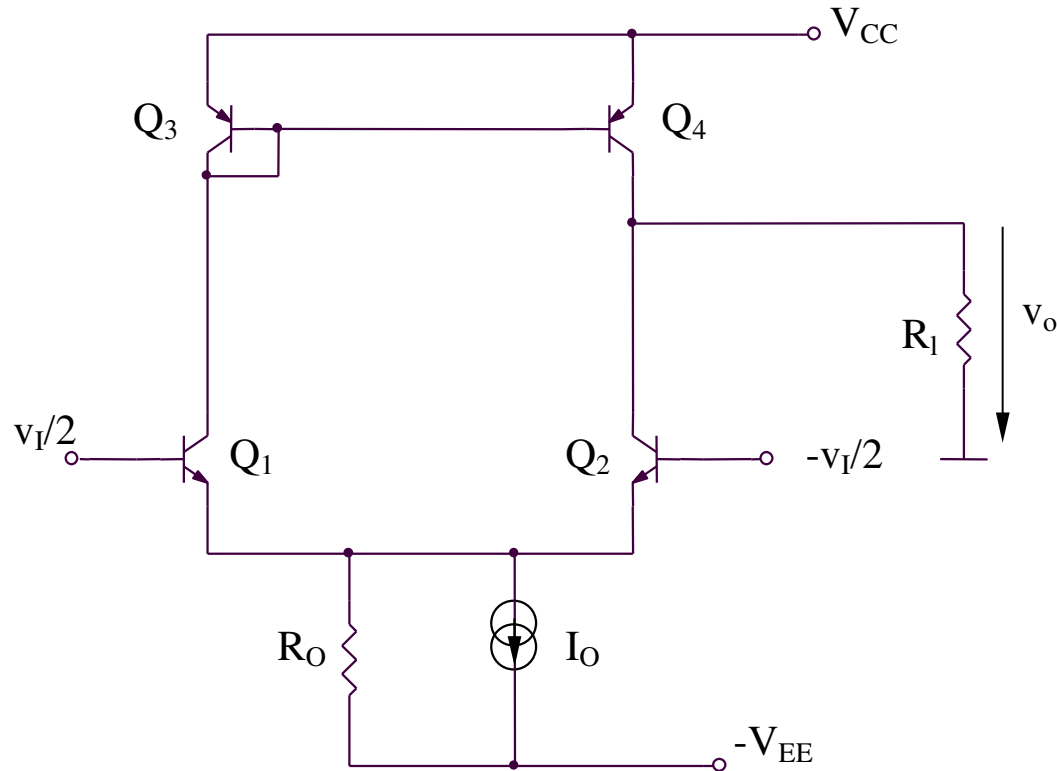
$$v_{IO} = V_{th} \ln \left[ \left( 1 - \frac{\Delta R_C}{R_C} \right) \left( 1 - \frac{\Delta I_S}{I_S} \right) \right] = -V_{th} \left( \frac{\Delta R_C}{R_C} + \frac{\Delta I_S}{I_S} \right)$$

Cas habituel:

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

### **3.5.4. Amplificateur différentiel avec charge active**

### 3.5.4. Amplificateur différentiel avec charge active



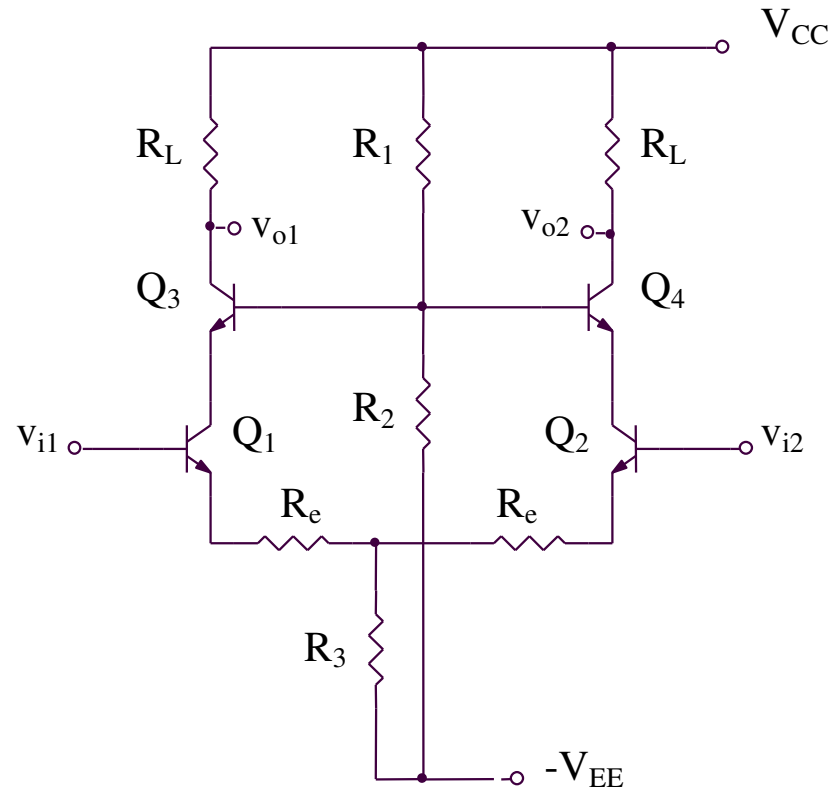
$$v_O = \left( g_{m1} \frac{v_I}{2} + g_{m2} \frac{v_I}{2} \right) (R_L // r_{o2} // r_{o4}) = g_{m1} v_I (R_L // r_{o2} // r_{o4})$$

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

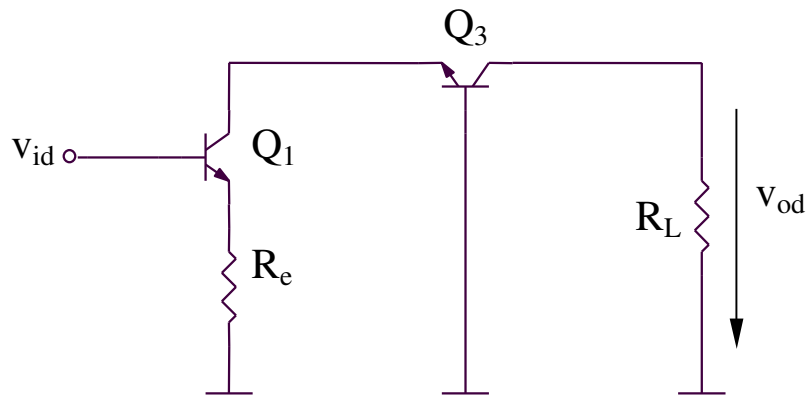
$$A_{dd} |_{R_L \rightarrow \infty} = g_{m1} (r_{o2} // r_{o4}) = \frac{g_{m1} r_{o2}}{2} = \frac{I_{C1}}{2} \frac{V_A}{I_{C1}} = \frac{V_A}{2V_{th}}$$

### **3.5.5. Amplificateur différentiel cascode**

### 3.5.5. Amplificateur différentiel cascode



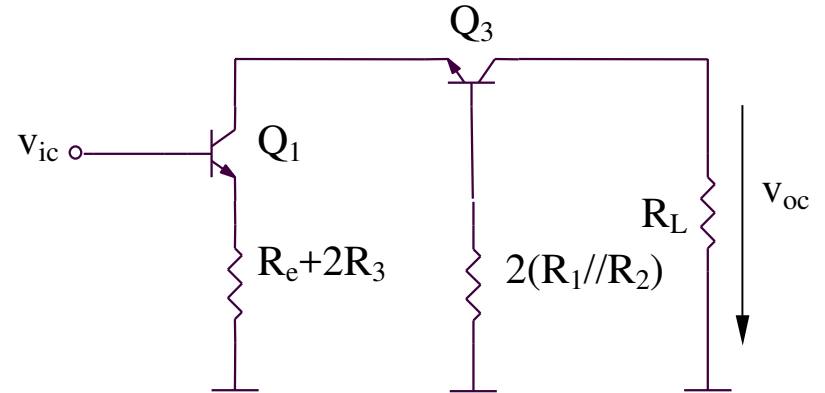
## Mode différentiel



Demi-circuit de mode différentiel

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

## Mode commun

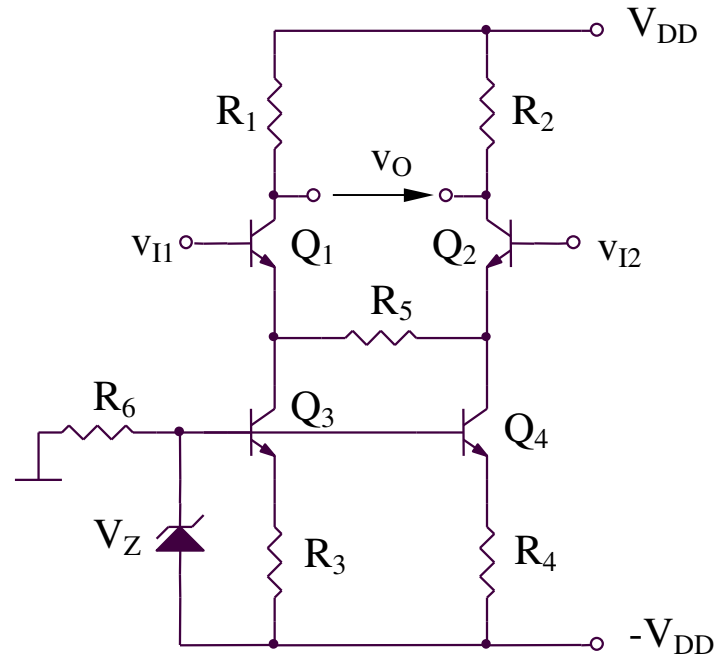


Demi-circuit de mode commun

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

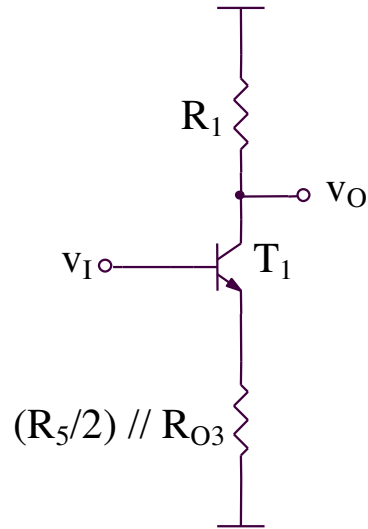
### **3.5.6. Amplificateur différentiel polarisé à une source double**

### 3.5.6. Amplificateur différentiel polarisé à une source double





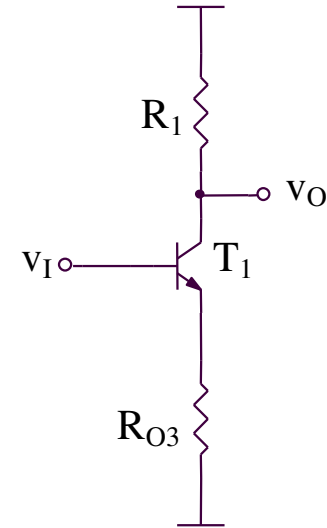
## Mode différentiel



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



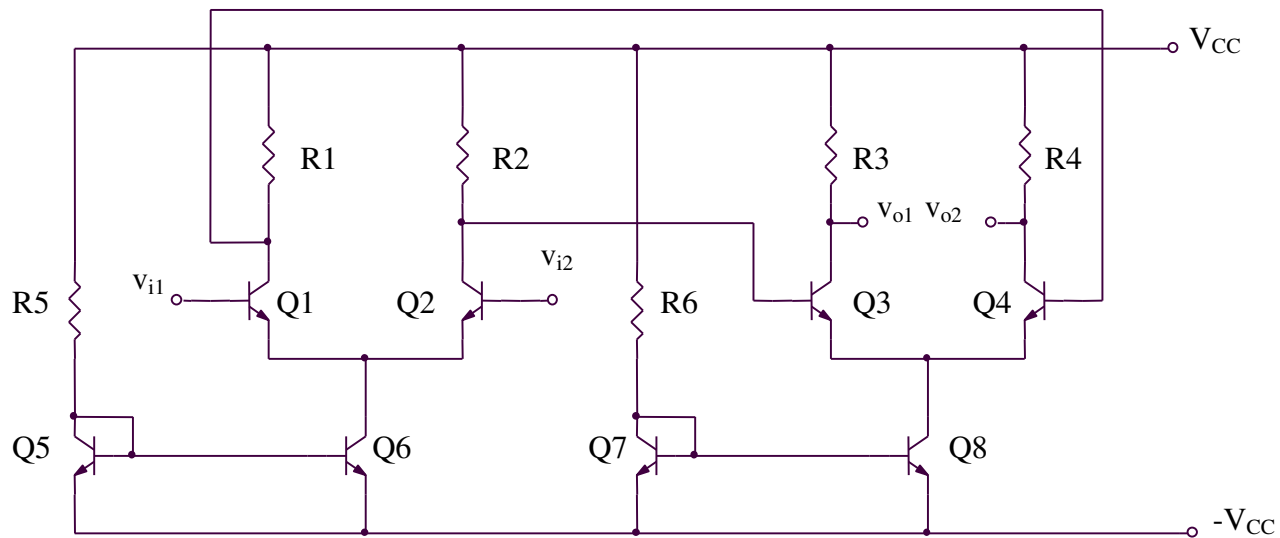
Demi-circuit de mode commun

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

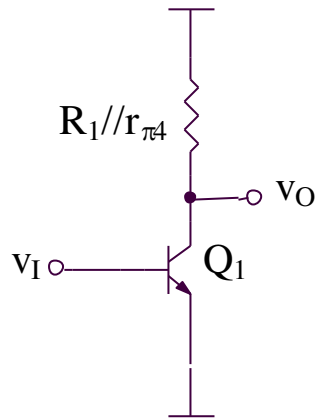
$$R_{O3} = r_{o3} \left( 1 + \frac{\beta R_3}{r_{\pi 3} + R_3 + R_6 // r_Z} \right)$$

### **3.5.7. Structure utilisant deux amplificateurs différentiels**

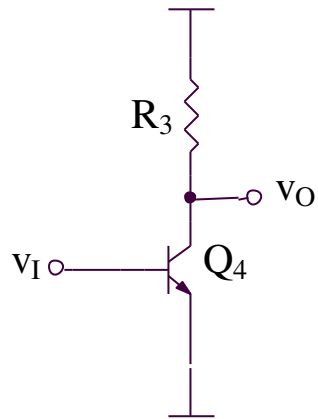
### 3.5.7. Structure utilisant deux amplificateurs différentiels



# Mode différentiel

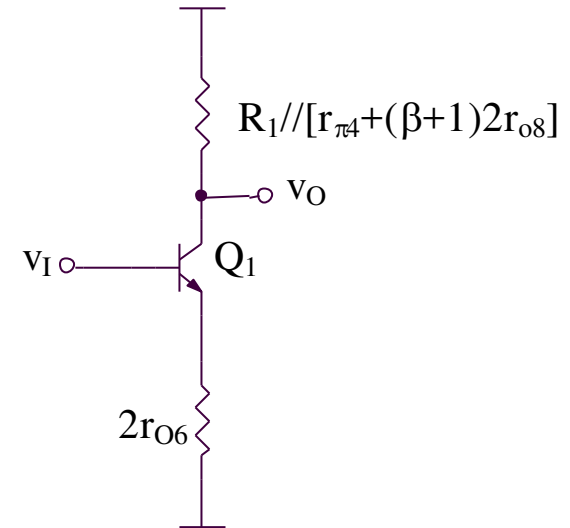


Demi-circuit de mode différentiel (1)

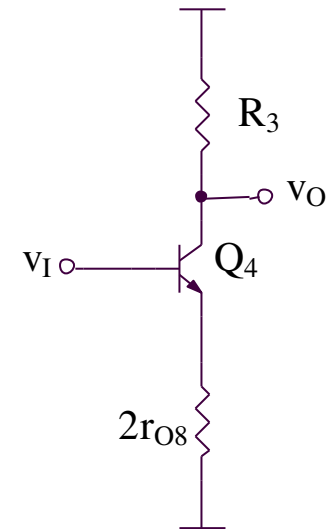


Demi-circuit de mode différentiel (2)

# 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 différentiel (2)

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

Gain de mode commun (1)

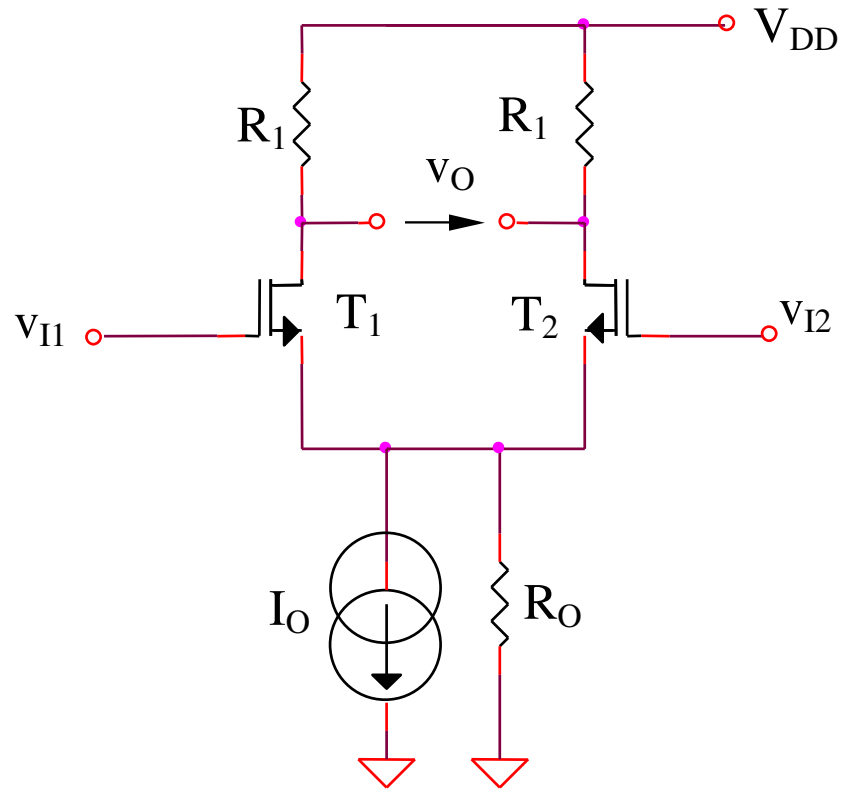
$$A_{cc1} = -\beta \frac{R_1 // [r_{\pi4} + (\beta + 1)2r_{o8}]}{r_{\pi1} + (\beta + 1)2r_{o6}}$$

Gain de mode commun (2)

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

## **3.6. Etage amplificateur différentiel MOS**

## 3.6. Etage amplificateur différentiel MOS



### **3.6.1. Analyse du grand signal**



### 3.6.1. 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:

$$v_O = R_1 (i_{D2} - i_{D1})$$

$$v_O = -I_O R_1 \sqrt{\frac{K v_I^2}{I_O} - \frac{K^2 v_I^4}{4 I_O^2}} = -\frac{R_1 v_I}{2} \sqrt{4 K I_O - K^2 v_I^2}$$

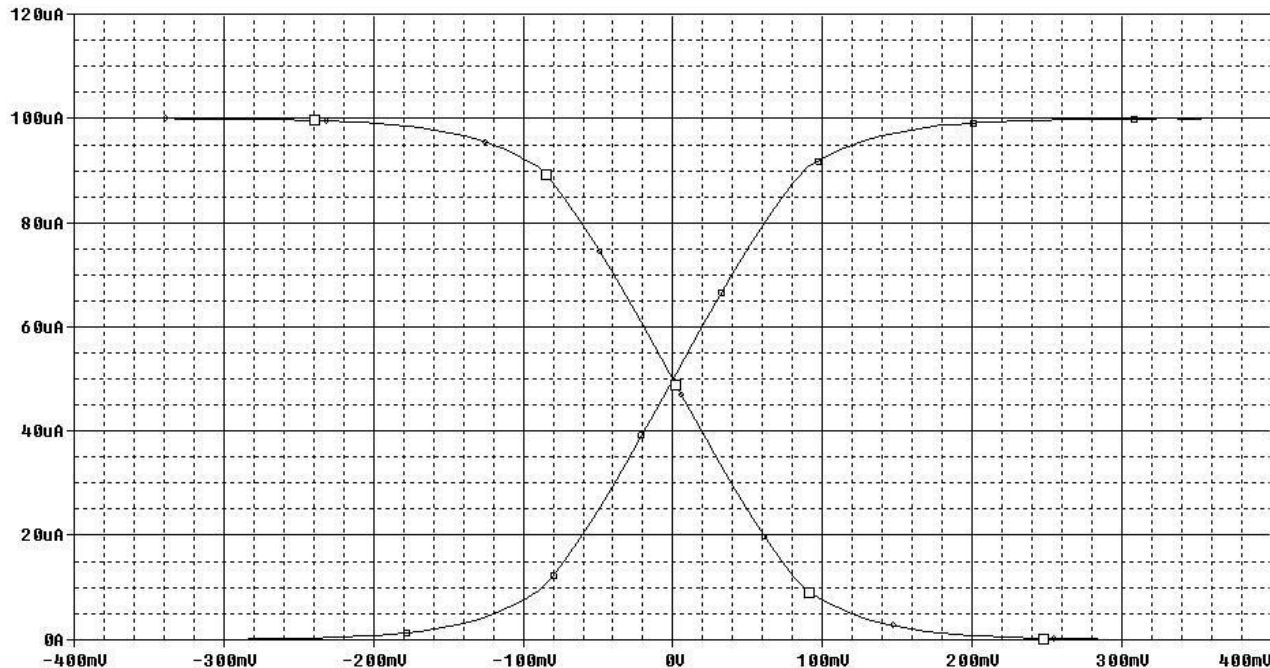
L'expansion en série Taylor de la tension de sortie est:

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

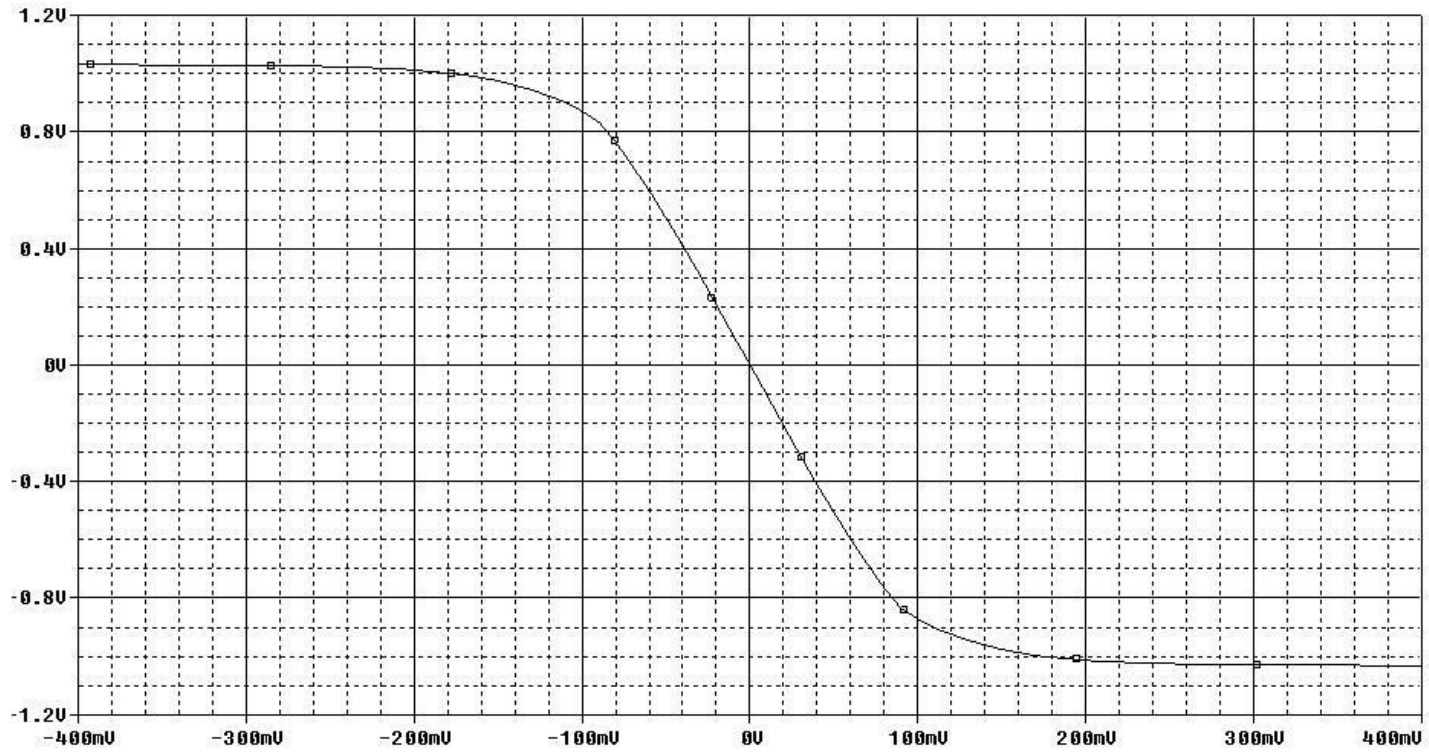
$$v_O(v_I) = a_1 v_I + a_3 v_I^3 + a_5 v_I^5 + \dots$$

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  $v_O(v_I)$

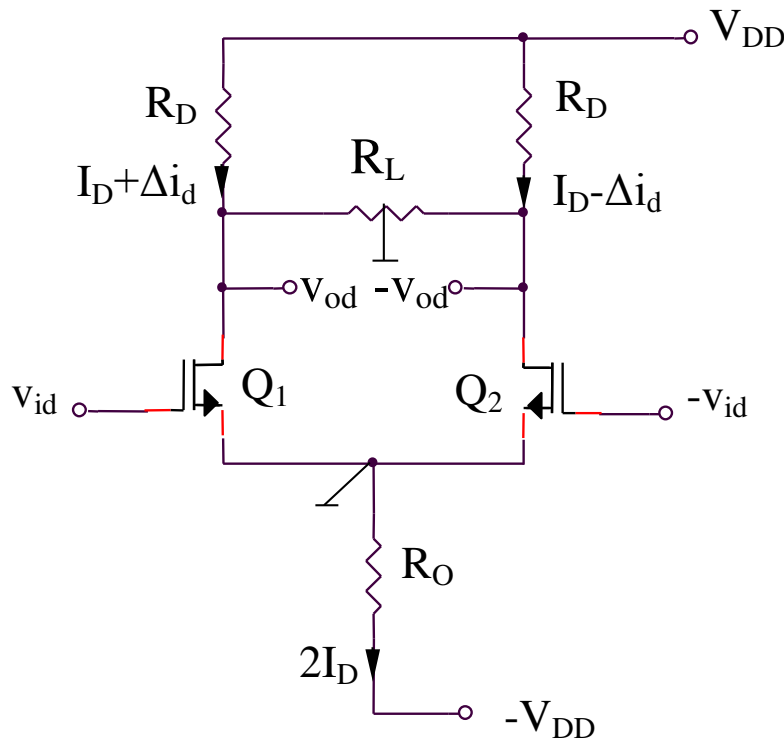
### **3.6.2. Analyse du petit signal**

## 3.6.2. Analyse du petit signal

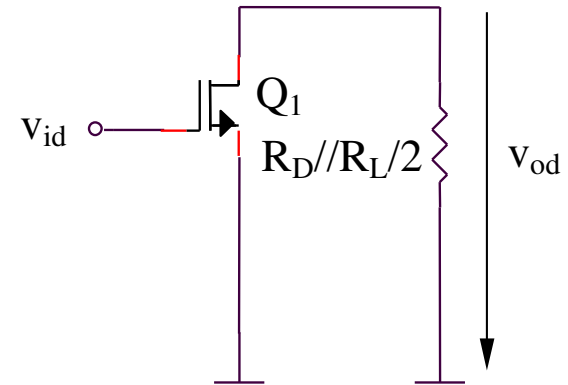
### Détermination des gains en petit signal: méthode du demi-circuit

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:

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

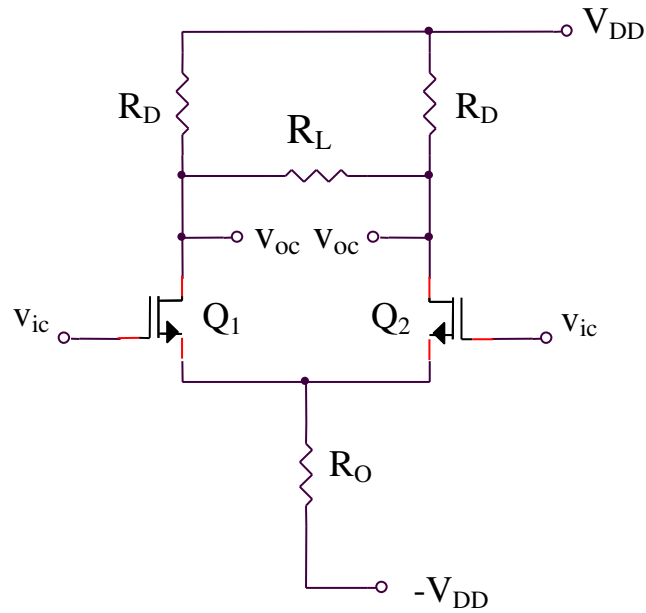
- sortie asymétrique:

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

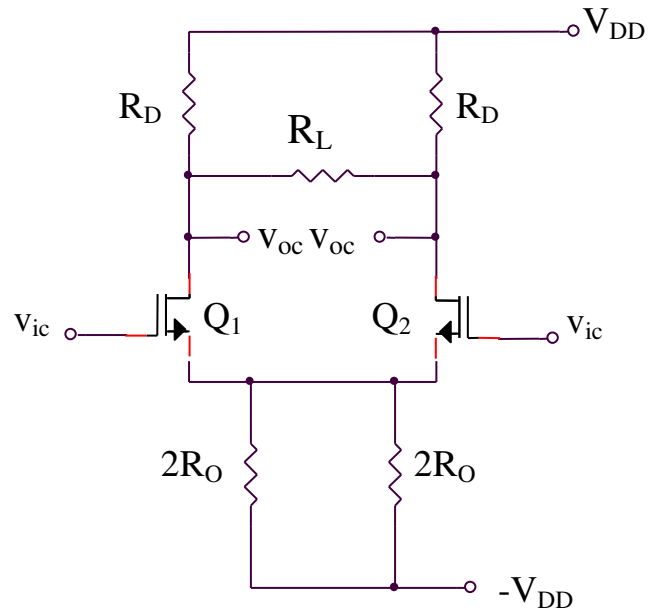
Résistance différentiel d'entrée:

$$R_{id} = \infty$$

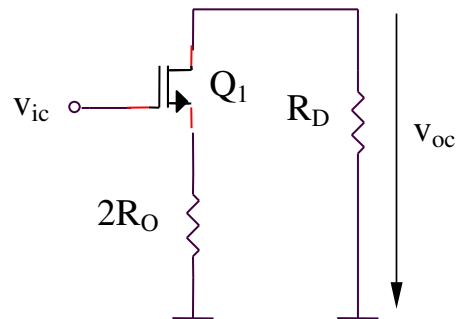
**Mode commun (  $v_{ic} \neq 0$ ,  $v_{id} = 0 \Rightarrow v_{i1} = v_{ic}$ ,  $v_{i2} = v_{ic}$  )**



(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:

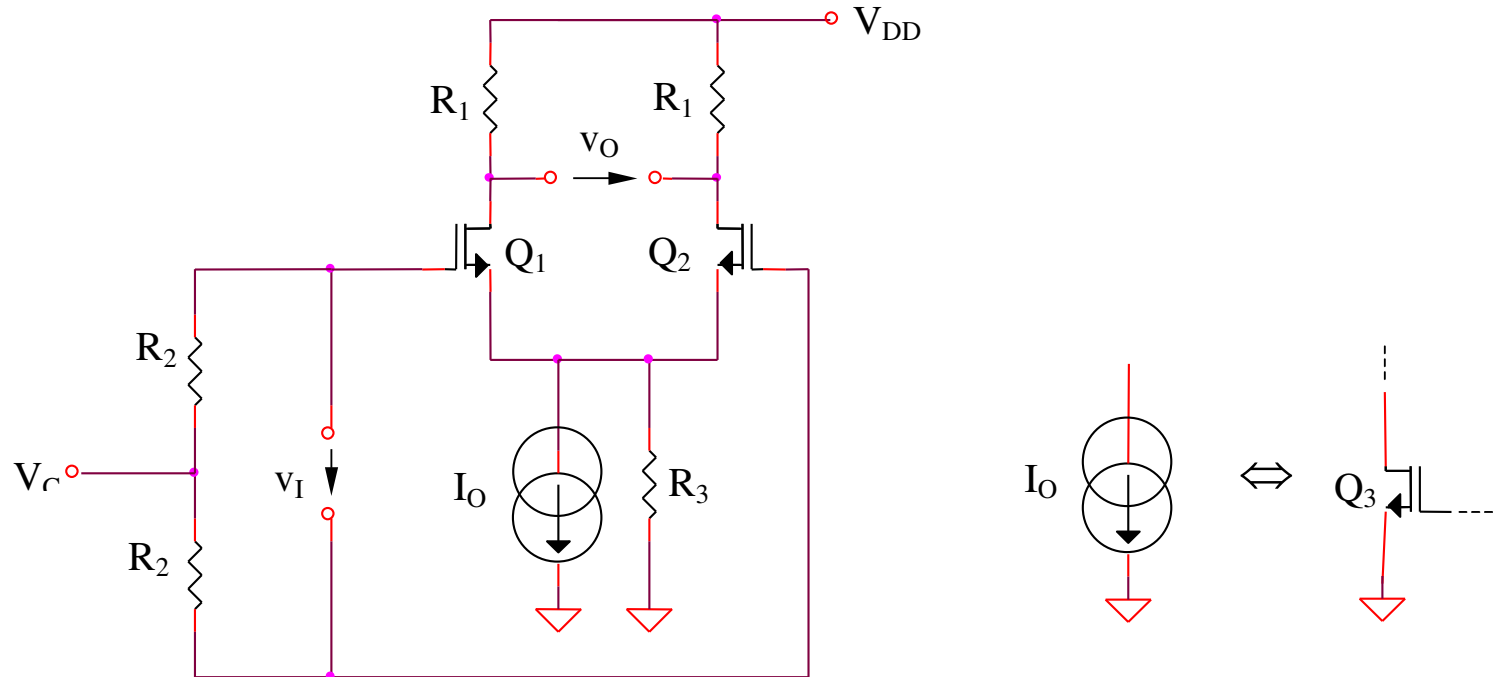
$$TRMC = \frac{2g_{m1}R_LR_O}{2R_D + R_L}$$

Pour augmenter de TRMC, il faut donc augmenter le résistance  $R_O$ , en remplaceant le source de courant par un source de courant cascode.



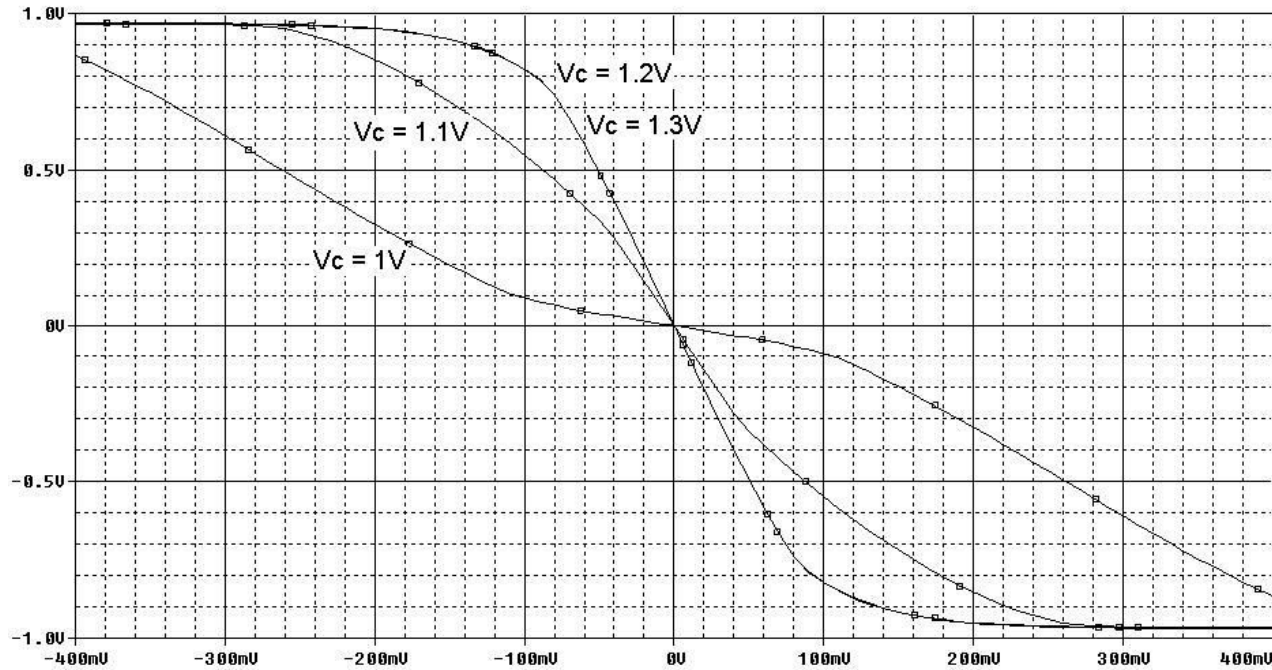
### **3.6.3. Domain maximal de la tension d'entrée en mode commun**

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



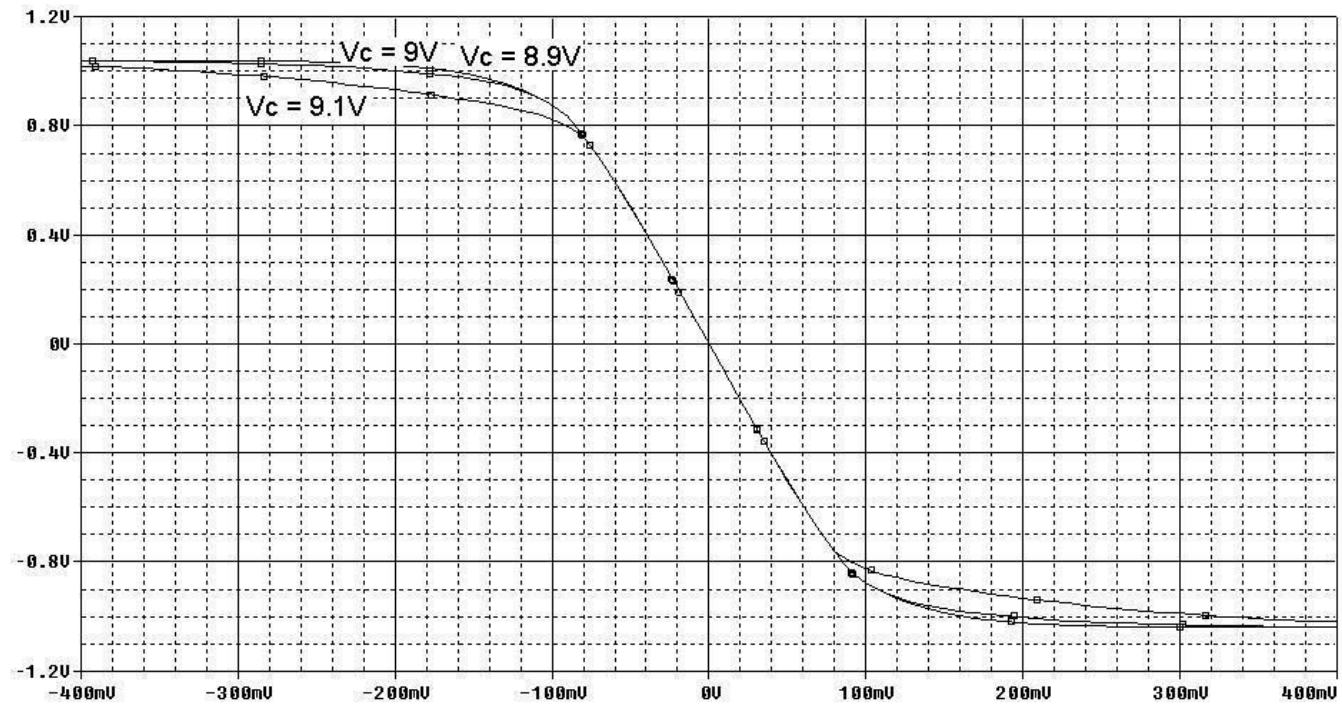
$$V_{C\min} = v_{GS1} + v_{DS3\text{sat}} = v_{GS1} + v_{GS3} - V_T = V_T + (\sqrt{2} + 1) \sqrt{\frac{I_O}{K}}$$

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



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

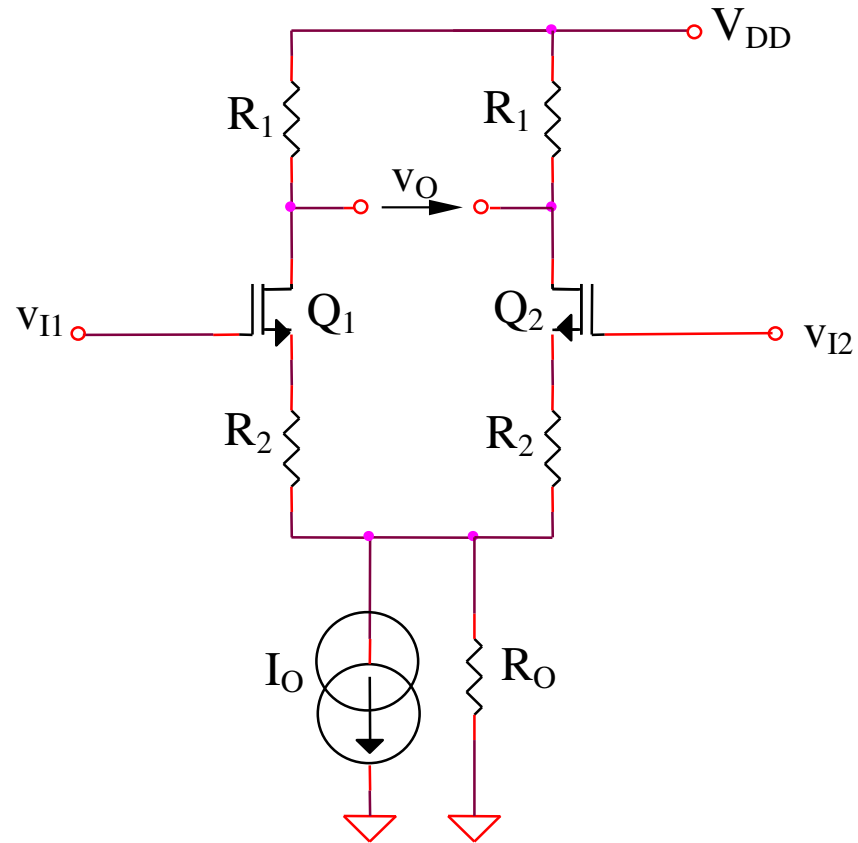
$$V_{C \min} \cong 1.2V$$



$v_O(v_I)$  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).

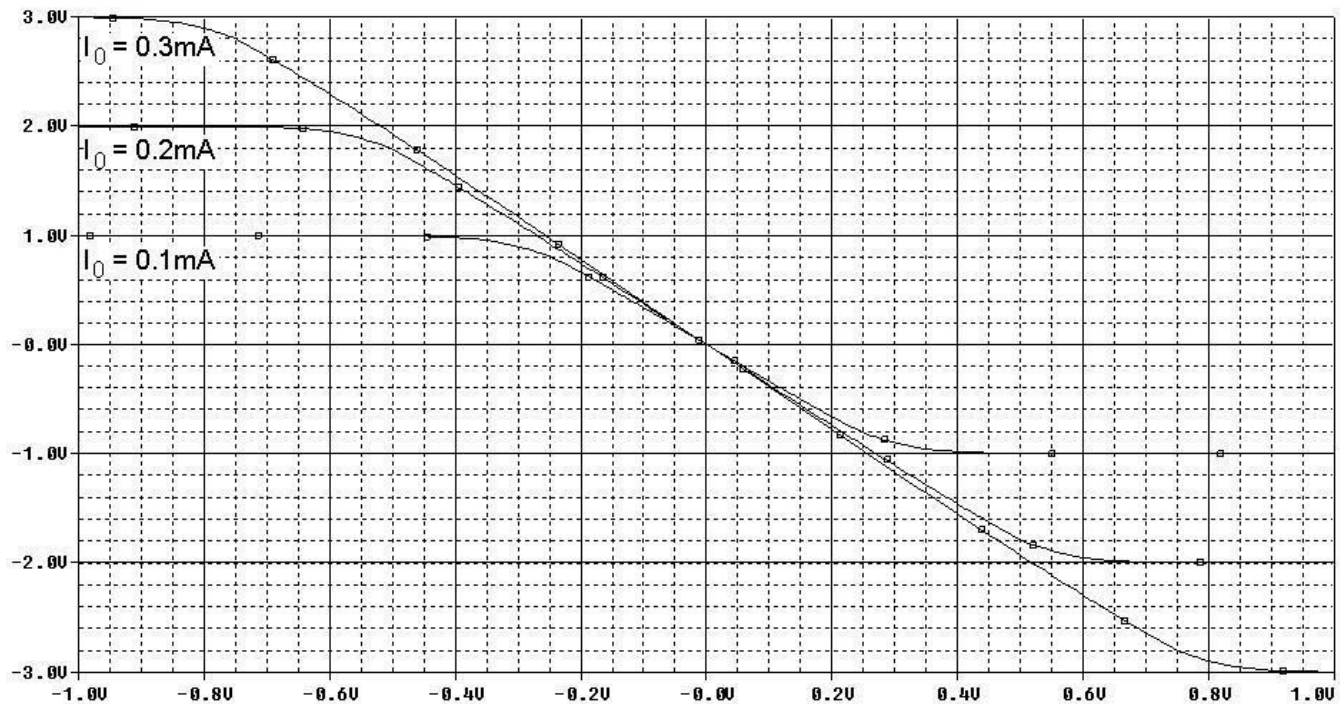


$$A_{dd} = -\frac{g_m R_1}{1 + g_m R_2}$$

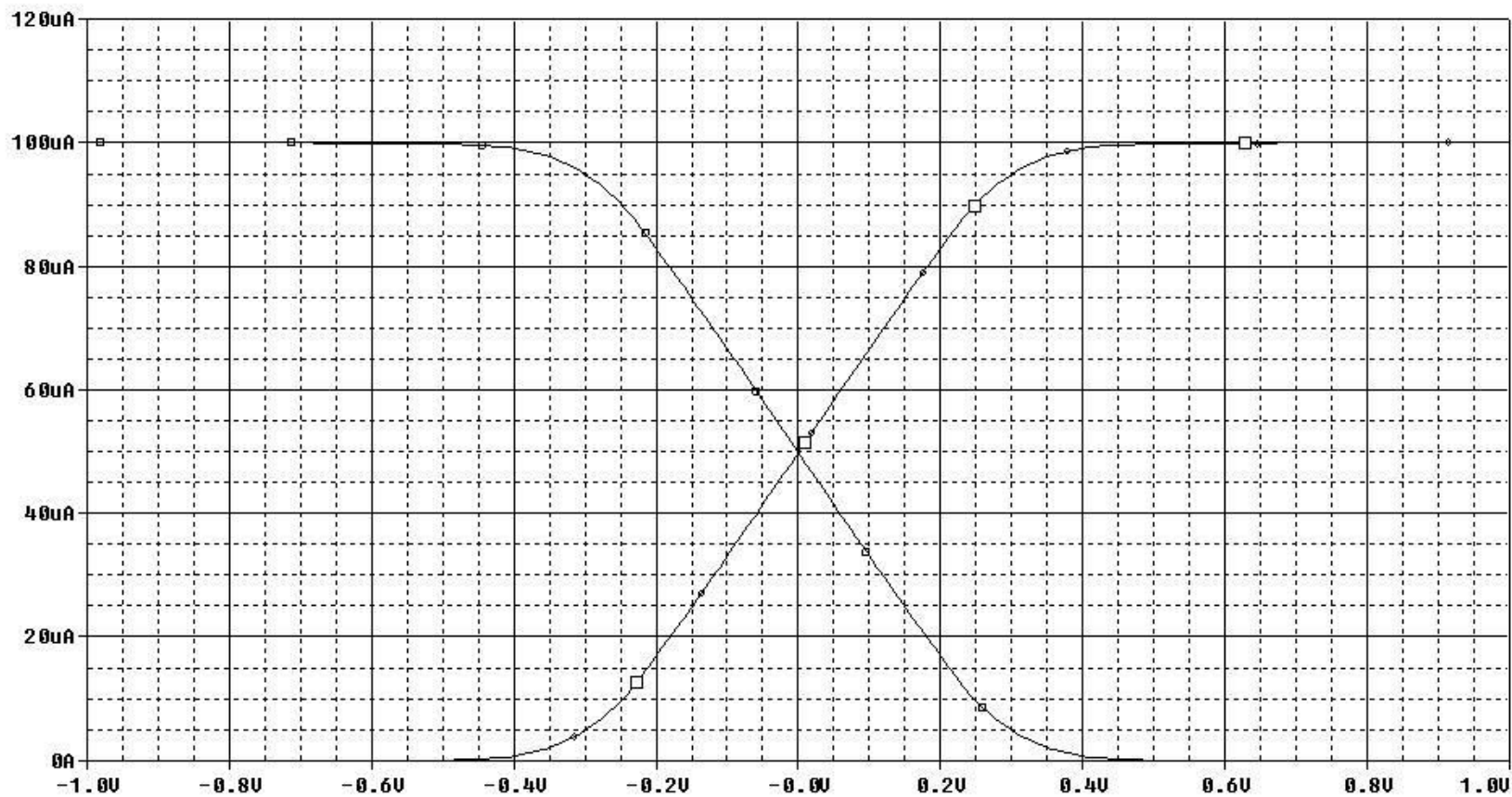
$$A_{cc} = -\frac{g_m R_1}{1 + g_m (R_2 + 2R_O)}$$

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

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



$v_O(v_I)$  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**

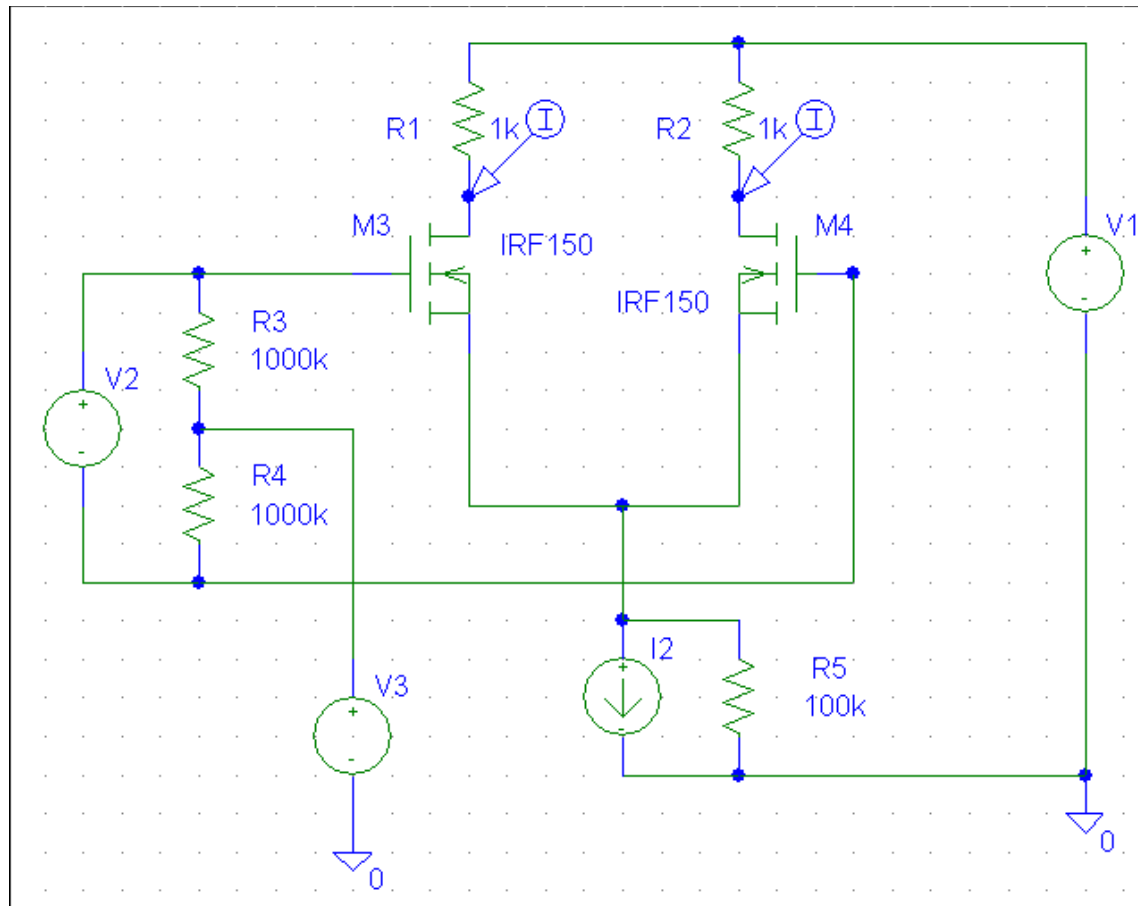




# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

## Analyse du grand signal en mode différentiel

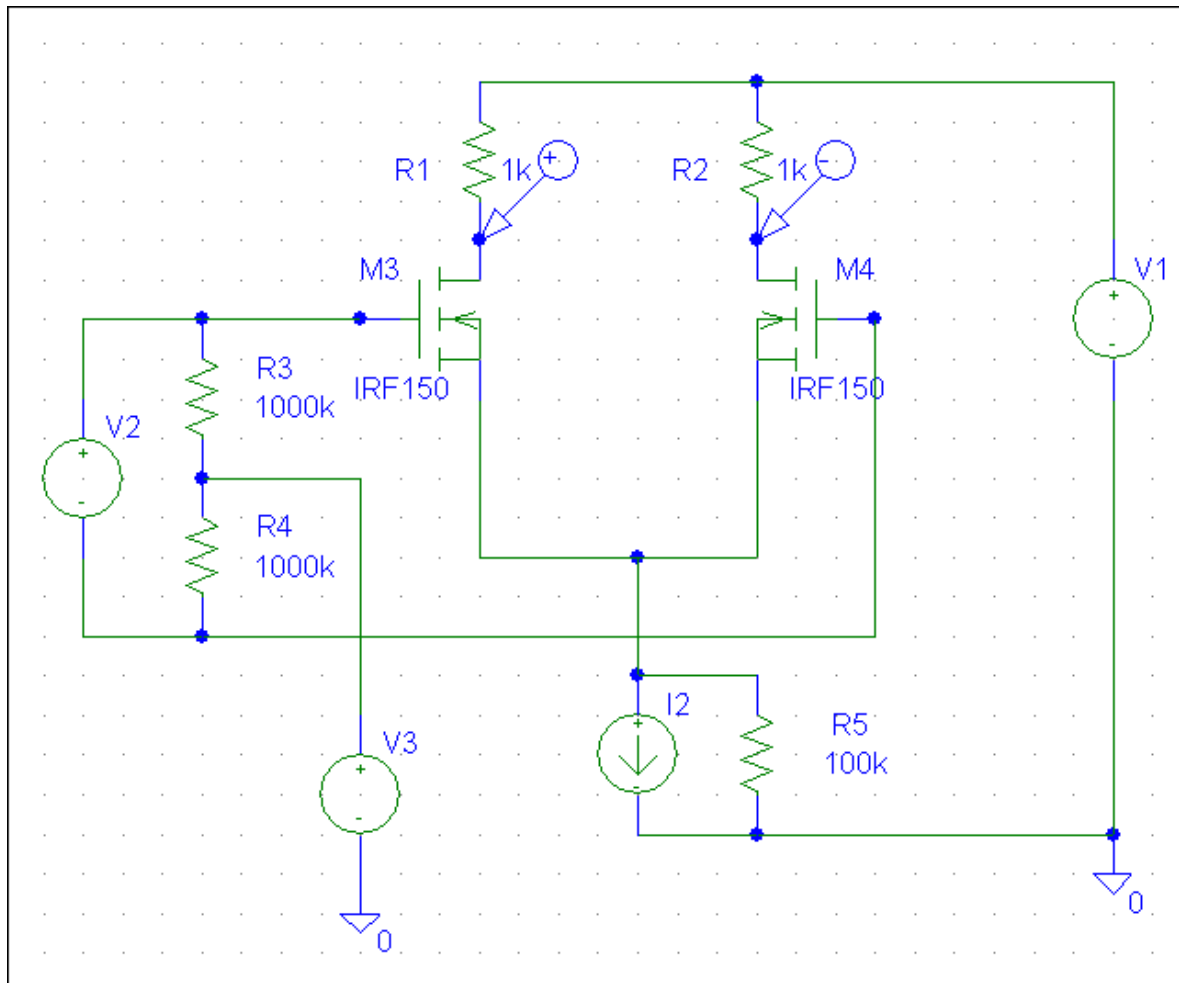
### SIM 3.8: $i_{D1}$ , $i_{D2}$ (V2)



# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

## Analyse du grand signal en mode différentiel

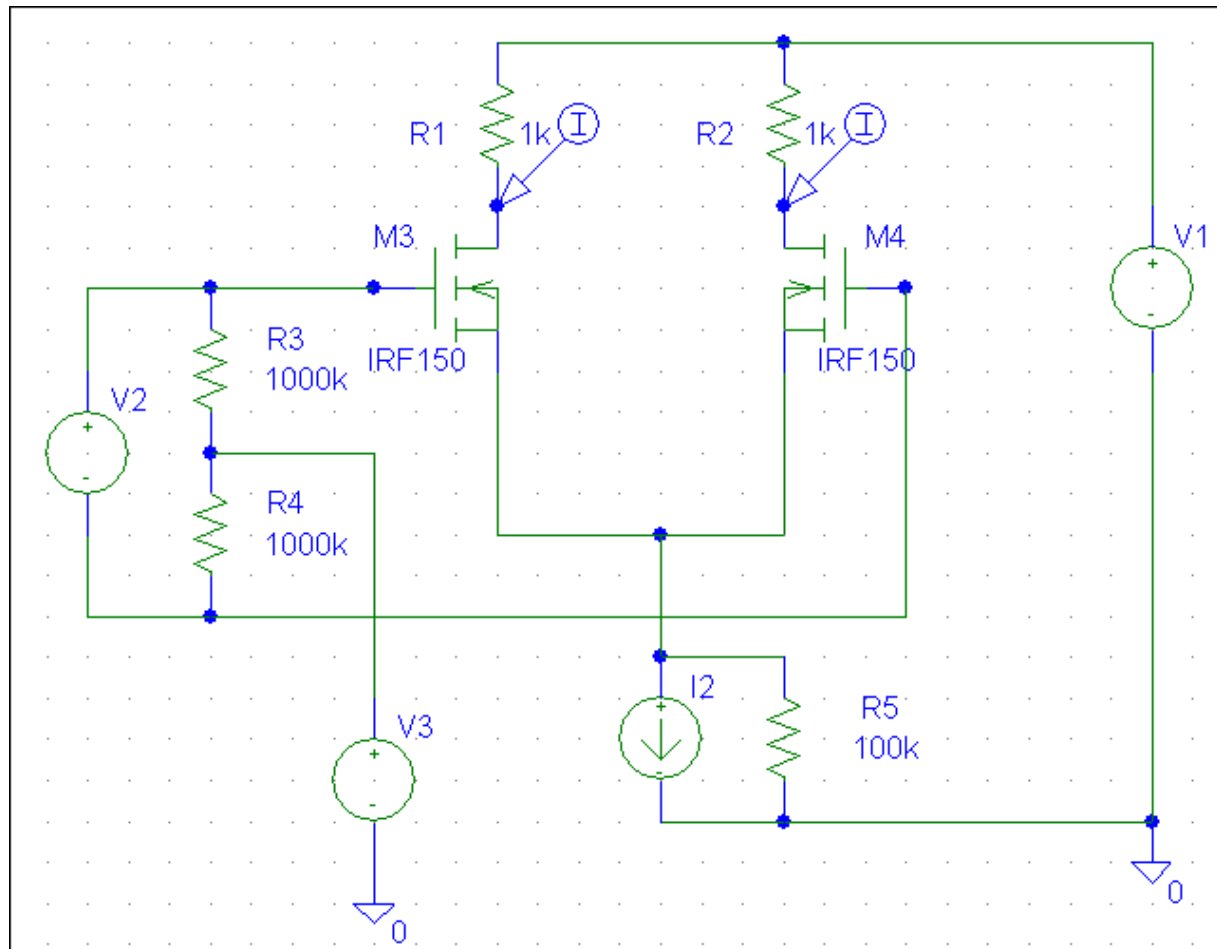
### SIM 3.9: $V_O$ (V2), I2 - paramètre



# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

## Analyse du grand signal en mode différentiel

### SIM 3.10: $i_{D1}$ , $i_{D2}$ (V2), I2 - paramètre

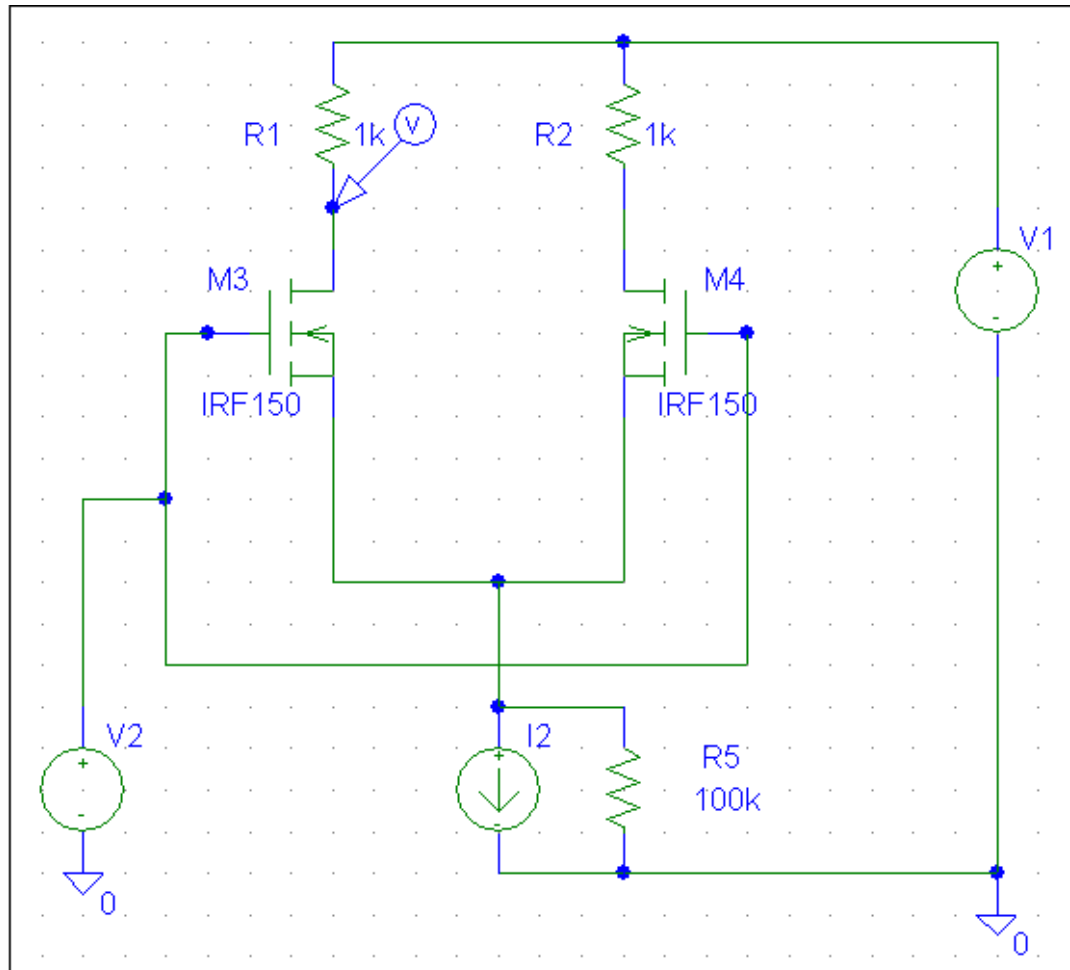


**SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS**  
**Analyse du grand signal en mode commun**

# SIMULATIONS pour l'amplificateur différentiel CMOS

## Analyse du grand signal en mode commun

### SIM 3.11: $V_{C1}$ (V2)



### **3.6.4. La tension de décalage d'entrée**

### 3.6.4. 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:

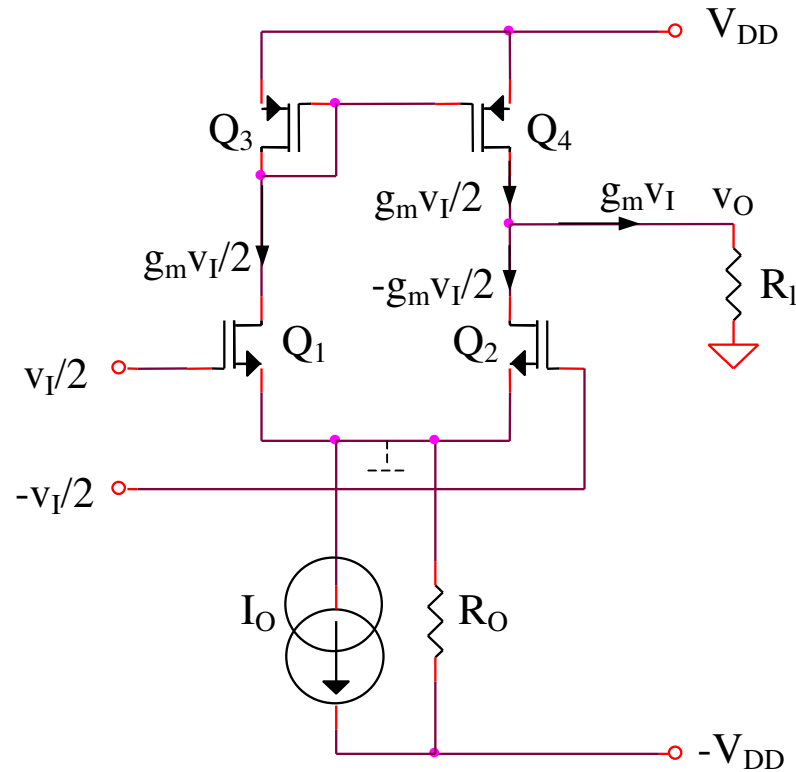
$$\frac{\Delta i_D}{i_D} = \frac{\Delta R}{R}$$

Il résulte:

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

### **3.6.5. Amplificateur différentiel avec charge active**

### 3.6.5. Amplificateur différentiel avec charge active

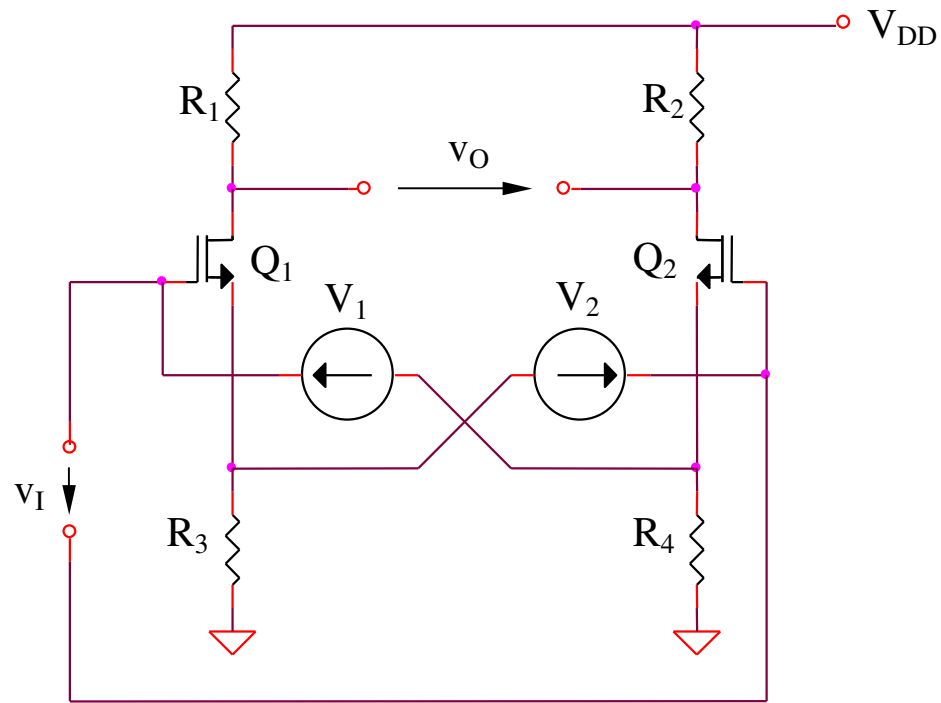


$$A_{dd} = g_m (r_{ds2} // r_{ds4} // R_1)$$

$$A_{dd} \Big|_{R_1 \rightarrow \infty} = g_m (r_{ds2} // r_{ds4}) = g_m \frac{r_{ds}}{2} = \frac{1}{2\lambda} \sqrt{\frac{K}{I_O}}$$

### **3.6.6. Amplificateur différentiel avec la somme constante de tension de porte-source**

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



$$i_{D1} = \frac{K}{2}(v_{GS1} - V_T)^2 \qquad i_{D2} = \frac{K}{2}(v_{GS2} - V_T)^2$$

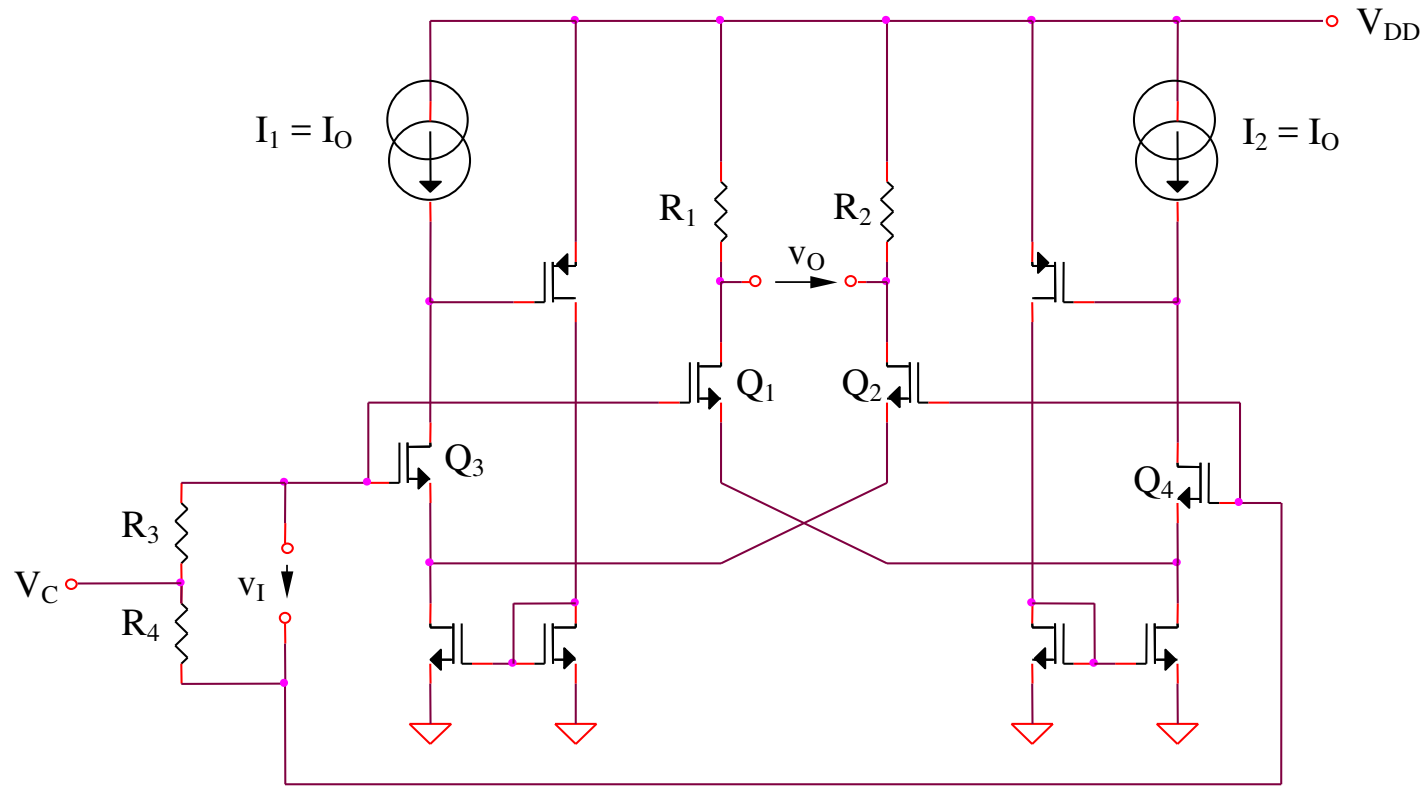
$$v_O = R_1(i_{D2} - i_{D1}) = \frac{KR_1}{2}(v_{GS2} - v_{GS1})(v_{GS2} + v_{GS1} - 2V_T)$$

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

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

$$V_1 = V_2 = V$$

# Réalisation possible



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