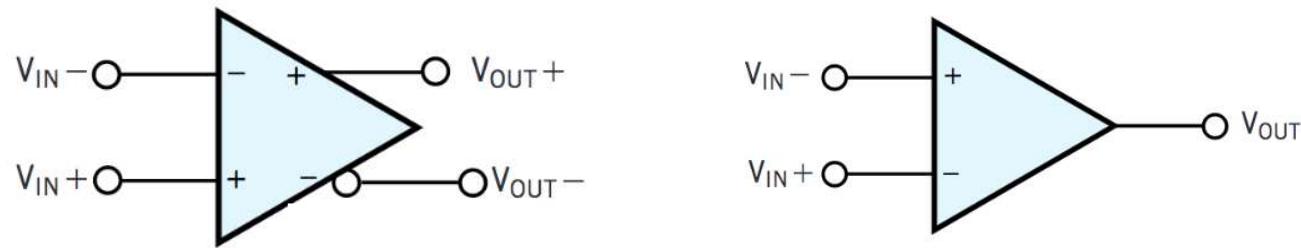


Bipolaire: Amplificateur Différentiel en Circuits Intégrés



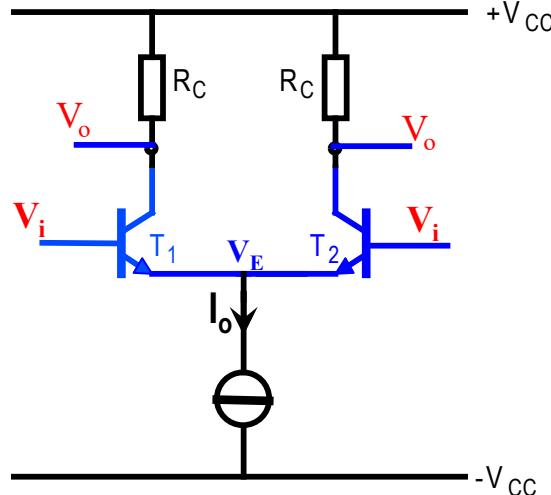
Electronique II
Adil Koukab

Table des matières

- Ampli diff: Fonctionnement et Polarisation DC
- Analyse petits signaux
 - Gain différentiel
 - Gain mode commun
 - Due à une source de courant non-idiéale.
 - Due à un défaut de symétrie
- Ampli diff à charges actives et à sortie asymétrique

Ampli diff: topology

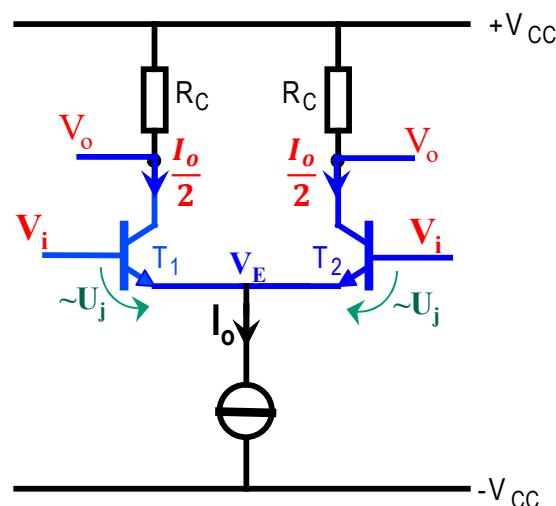
- L'Ampli diff est largement utilisé en circuits intégrés essentiellement pour sa capacité à rejeter les signaux parasites du mode commun.



- L'ampli différentiel est constitué de deux transistors identiques qui constituent la **paire différentielle**, (possible seulement en Cls)
 - d'une charge passive ou active.
 - Il est polarisé par une **source de courant**
 - Ceci permet un **couplage direct** avec l'étages précédent (sans capacité de couplage) qui fixe aussi le potentiel DC des bases c.à.d. V_i .

Ampli diff: Polarisation et point de fonctionnement

- En régime statique



- Le potentiel DC à l'entrée (V_i) est fixé par l'étage précédent.

$$V_{E1} = V_{E2} = V_E \approx V_i - U_j$$

- la symétrie du circuit donne

$$I_{c1} = I_{c2} = \frac{I_o}{2}$$

- Ceci donne à la sortie

$$V_{c1} = V_{c2} = V_o = V_{cc} - \frac{I_o}{2} R_c$$

- Point de fonctionnement → Paramètres ac

$$g_{m1,2} = \frac{I_o}{2U_T} = \beta g_{be1,2} \quad \text{et} \quad g_{CE} = \frac{I_o}{2V_A}$$

Table des matières

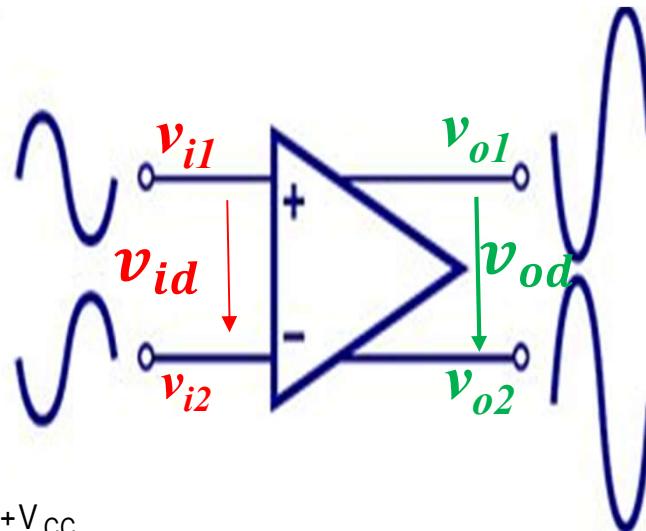
- Ampli diff: Fonctionnement et Polarisation DC
- Analyse petits signaux
 - Gain différentiel
 - Gain mode commun
 - Due à une source de courant non-idiéale.
 - Due à un défaut de symétrie
- Ampli diff à charges actives et à sortie asymétrique

Analyse petit signaux: Gain différentiel

Signaux diff. in

$$v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$$

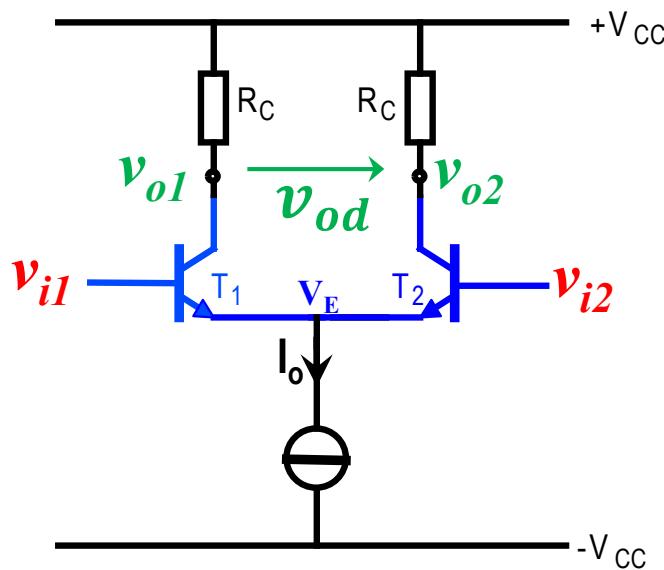
$$v_{i1} = - v_{i2} = \frac{v_{id}}{2}$$



Signaux diff out

$$v_{od} = v_{o1} - v_{o2}$$

$$v_{o1} = - v_{o2} = \frac{v_{od}}{2}$$



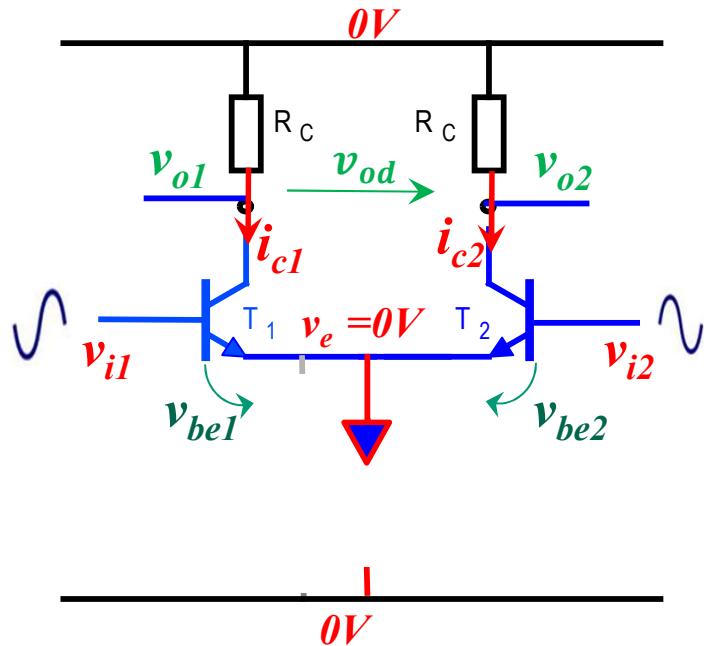
Gain différentiel

$$A_{md} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = \frac{v_{o1} - v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}} = \frac{v_{o1}}{v_{i1}} = \frac{v_{o2}}{v_{i2}}$$

➤ Il suffit de connaître $\frac{v_{o1}}{v_{i1}}$ pour en déduire $\frac{v_{od}}{v_{id}}$

Analyse petit signaux: Gain différentiel

Construction du schémas petit signaux



- En ac la source de crt \equiv sa résistance interne
(ex: $r_s = 1/g_{ce}$ dans le cas d'un miroir de courant simple)
- Intuitivement:
Signaux différentiel + Circuit symétrique
 $\Rightarrow v_e = 0$



- Le nœud e est une masse virtuelle en ac

Démonstration:

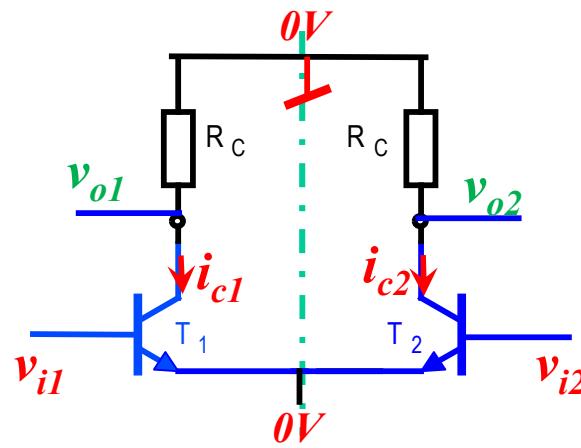
$$v_{o1} = -v_{o2} \rightarrow i_{c1} = -i_{c2} \rightarrow g_m v_{be1} = -g_m v_{be2}$$

$$\rightarrow g_m (v_{b1} - v_e) = -g_m (v_{b2} - v_e) \quad or \quad v_{b1} = v_{i1} = -v_{i2} = -v_{b2}$$

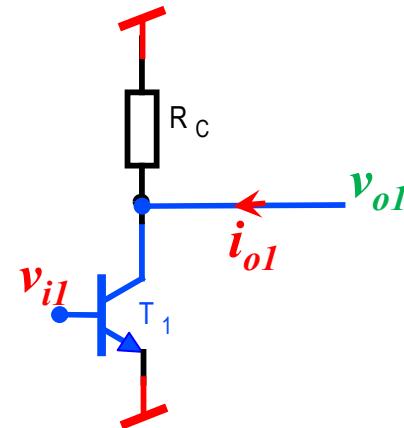
$$\rightarrow v_e = -v_e \quad \Rightarrow v_e = 0$$

Gain différentiel: $A_{m,d} = \frac{v_{0d}}{v_{id}} = \frac{v_{01}}{v_{i1}}$

Schémas petit signaux



Méthode du demi-circuit équivalent → EC



Gain en tension $A_{v,d}$

$$A_v = \frac{v_{01}}{v_{i1}} = -g_m R_{out} = -g_m \frac{1}{g_{ce1}} // R_c \approx -g_m R_c \rightarrow A_{md} = \frac{v_{0d}}{v_{id}} = \frac{2v_{01}}{2v_{i1}} \approx -g_m R_c$$

Résistance d'entrée différentielle $R_{in,d}$

$$R_{in1} = \frac{v_{i1}}{i_{b1}} = \frac{1}{g_{be}}$$

$$\rightarrow R_{in,d} = \frac{v_{id}}{i_{b1}} = \frac{2v_{i1}}{i_{b1}} = \frac{2}{g_{be}}$$

Résistance de sortie différentielle $R_{o,d}$

$$R_{out1} = \left. \frac{v_{o1}}{i_{o1}} \right|_{v_i=0} = R_c // \frac{1}{g_{ce1}} \approx R_c$$

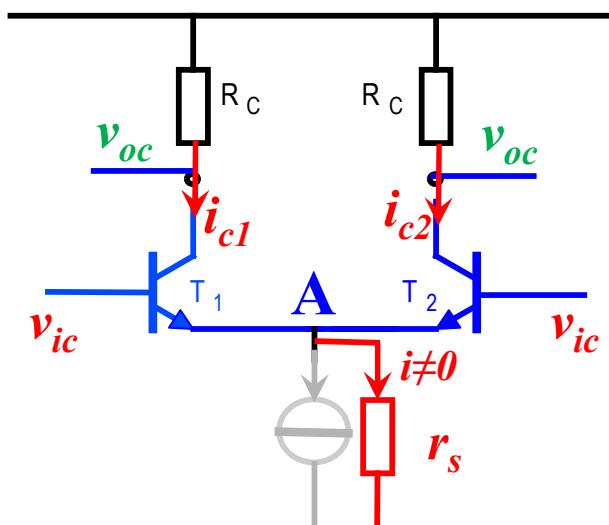
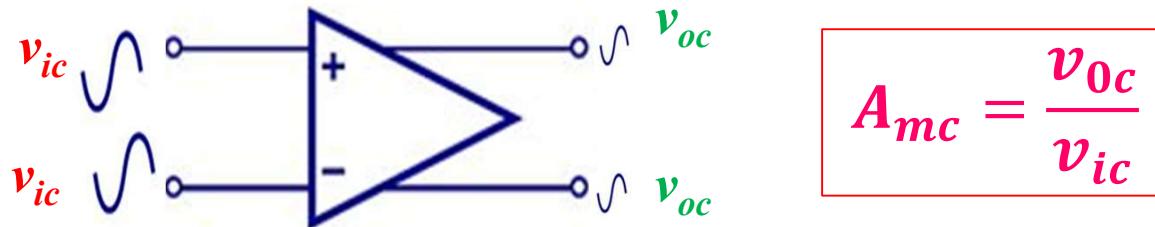
$$\rightarrow R_{o,d} = \frac{v_{od}}{i_{o1}} = \frac{2v_{o1}}{i_{o1}} \approx 2R_c$$

Table des matières

- Ampli diff: Fonctionnement et Polarisation DC
- Analyse petits signaux
 - Gain différentiel
 - Gain mode commun
 - Due à une source de courant non-idiéale.
 - Due à un défaut de symétrie
- Ampli diff à charges actives et à sortie asymétrique

Gain mode commun due à r_s (une source de courant non-idiéale)

Signal mode commun: $v_{ic1} = v_{ic2}$



Le nœud A n'est plus une masse virtuelle en ac

$$\rightarrow v_{il} = v_{i2} = v_{ic} \rightarrow v_{bel} = v_{be2}$$

$$\rightarrow i_{c1} = i_{c2}$$

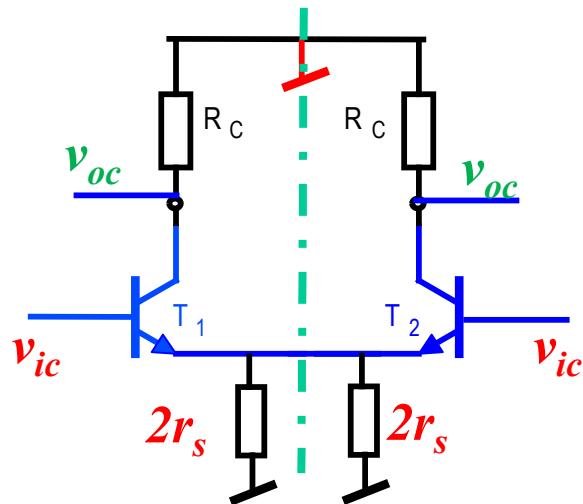
$$\rightarrow i(r_s) \approx i_{c1} + i_{c2} \neq 0$$

→ r_s est maintenue

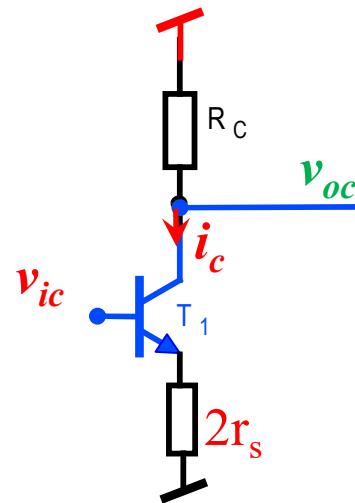
Rq: r_s peut être remplacée par $2r_s // 2r_s$ pour créer un circuit symétrique

Gain mode commun $A_{mc} = \frac{v_{oc}}{v_{ic}}$

Schémas petit signaux



Méthode du demi-circuit équivalent → EC dégénéré

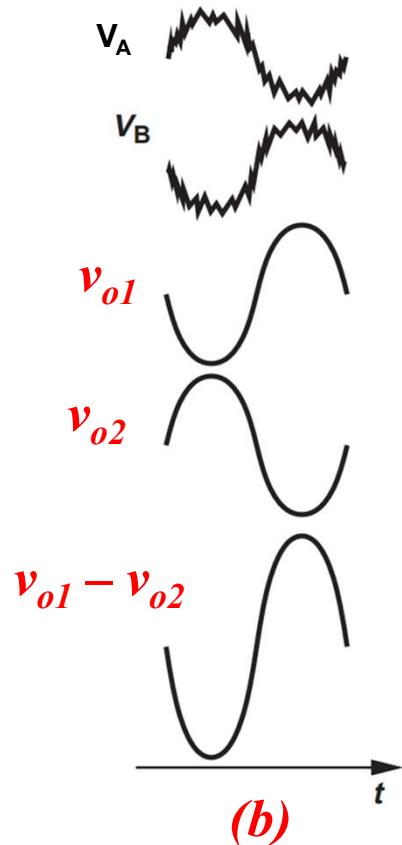


Gain mode commun A_{cm}

$$A_{mc} = \frac{v_{oc}}{v_{ic}} = \frac{-i_c R_c}{i_b \left(\frac{1}{g_{be}} + \beta 2r_s \right)} = - \frac{g_m R_c}{(1 + g_m 2r_s)} \approx - \frac{R_c}{2r_s} \text{ si } g_m 2r_s \gg 1$$

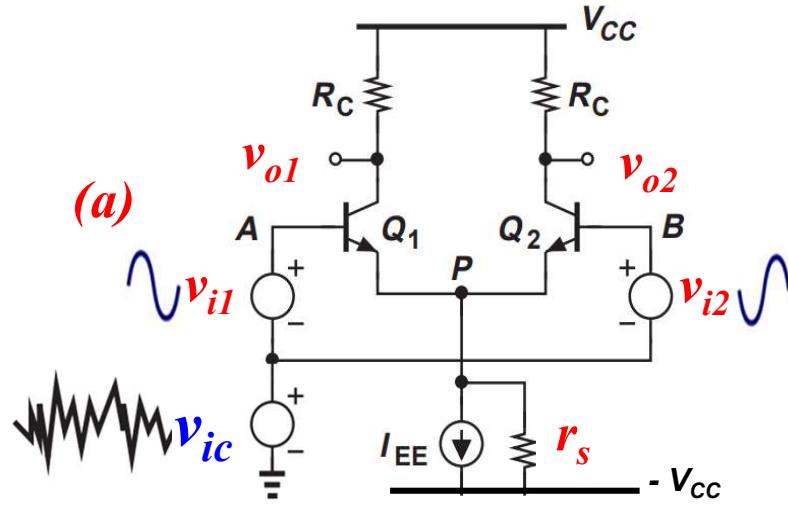
➤ Rq: $A_{mc} \xrightarrow{r_s \rightarrow \infty} 0$

Effet du bruit MC sur le signal différentiel



Pair-diff avec du bruit

(a)

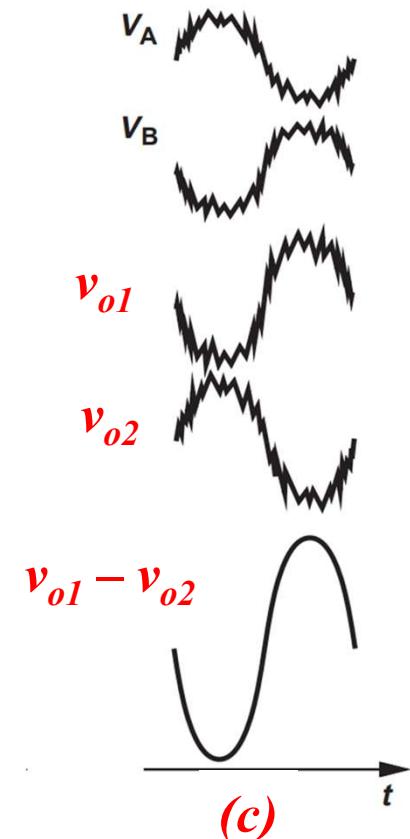


$$A_{mc} = \frac{v_{o1}}{v_{ic}} \approx -\frac{R_c}{2r_s}$$

Effet du bruit MC à la sortie si r_s est infinie ($A_{mc} \rightarrow 0$).

Gain mode commun à mode diff

$$A_{mc-md} = \frac{v_{ocd}}{v_{ic}} = \frac{v_{o2} - v_{o1}}{v_{ic}} \approx 0$$

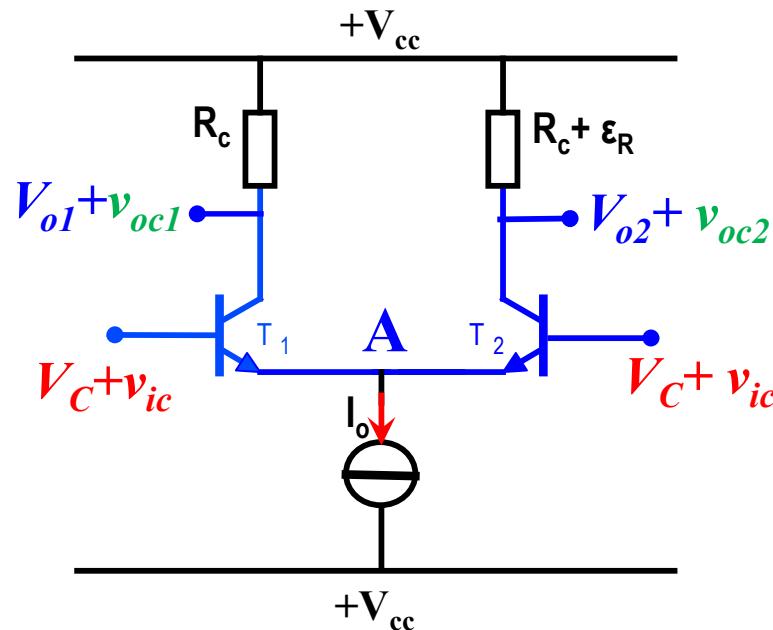


Effet du bruit MC à la sortie si r_s est finie.

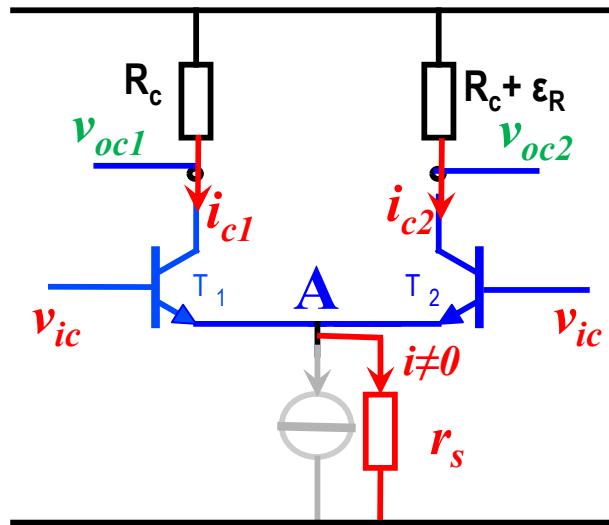
Gain mode commun due à un défaut de symétrie

Quiz: Considérer un ampli diff présentant un défaut de symétrie dans les résistances de charge (R_c et $R_c + \varepsilon_R$). Ignorer l'effet Early ($V_A (T_{1,2}) \rightarrow \infty$) et calculer l'offset DC ($V_{02} - V_{01}$) à la sortie.

Ainsi que le gain mode commun à mode diff ($A_{mc-md} = \frac{v_{0d}}{v_{ic}}$).



Quiz: Gain mode commun à mode diff (A_{mc-md}) due à un défaut de symétrie dans les résistances de charge (R_c et $R_c + \varepsilon_R$)



$$A_{mc-md} = \frac{v_{oc2} - v_{oc1}}{v_{ic}}$$

$$\begin{aligned} v_{be1} &= v_{be2} \rightarrow i_{c1} = i_{c2} = i_c \\ \rightarrow v_{oc2} &= -(R_c + \varepsilon_R) i_c \quad \& \quad v_{oc2} = -R_c i_c \\ \rightarrow v_{oc2} - v_{oc1} &= -\varepsilon_R i_c \\ or \quad v_{ic} &= v_{be1} + v_A = g_m^{-1} i_c + 2 i_c r_s \end{aligned}$$

$$A_{mc-md} = \frac{v_{oc2} - v_{oc1}}{v_{ic}} = \frac{-\varepsilon_R}{g_m^{-1} + 2r_s} \approx \frac{-\varepsilon_R}{2r_s}$$

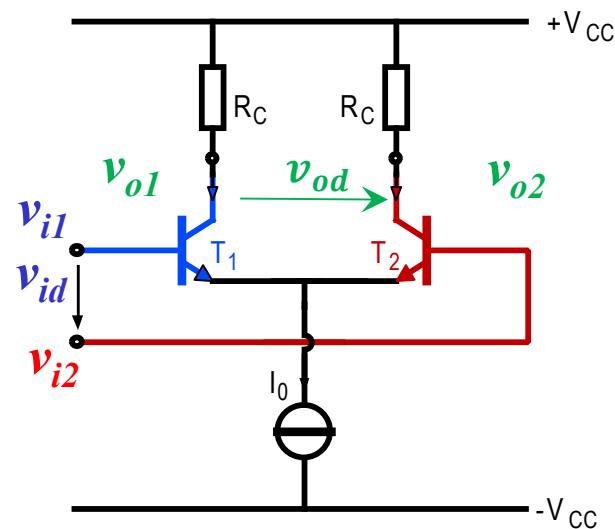
Taux de rejetion du mode commun TRMC

$$TRMC = \frac{A_{md}}{A_{mc-md}} = \frac{g_m R_c 2r_s}{\varepsilon_R}$$

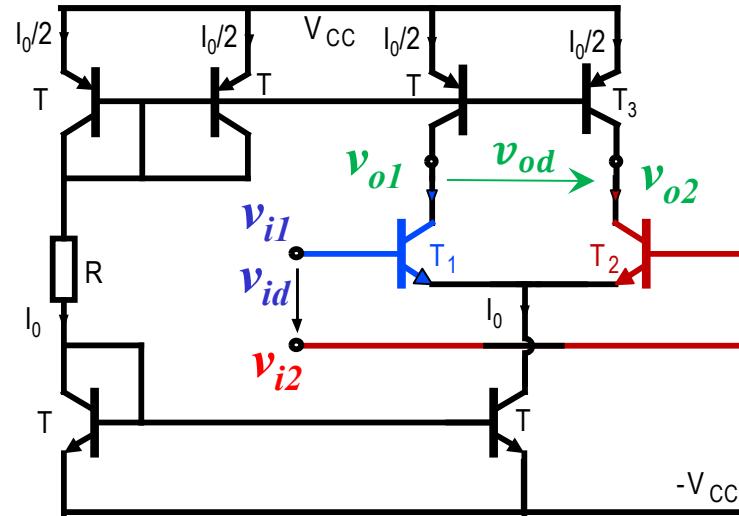
Table des matières

- Ampli diff: Fonctionnement et Polarisation DC
- Analyse petits signaux
 - Gain différentiel
 - Gain mode commun
 - Due à une source de courant non-idiéale.
 - Due à un défaut de symétrie
- Ampli diff à charges actives et à sortie asymétrique

Amplificateur différentiel avec charge active



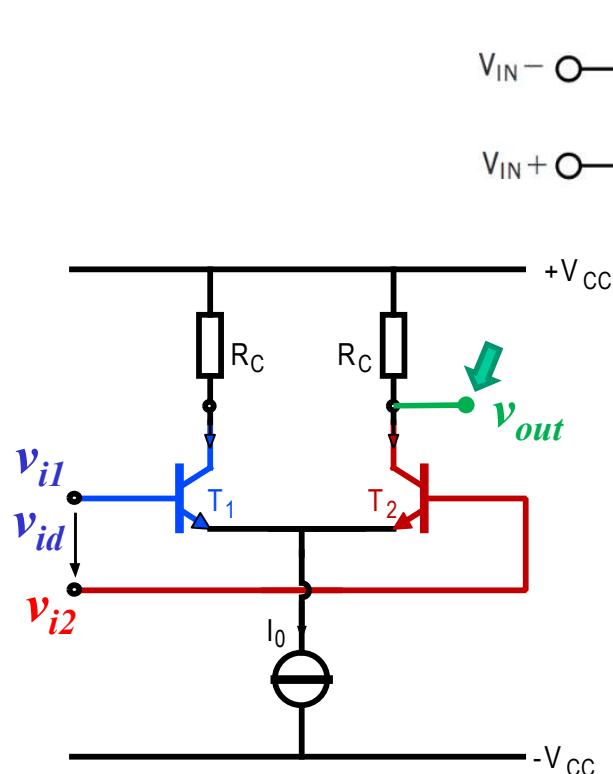
Charge passive



Charge active

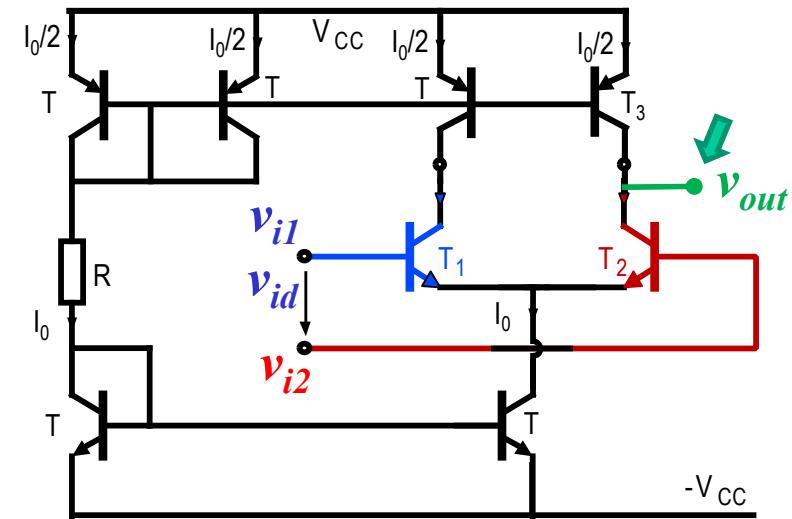
$$A_{md} = \frac{v_{0d}}{v_{id}} = \frac{2v_{o1}}{2v_{i1}} \approx -g_m \frac{1}{g_{ce2}} // \frac{1}{g_{ce3}} \approx -\frac{g_m}{g_{ce2} + g_{ce3}}$$

Amplificateur différentiel avec charge active



Charge passive

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{id}} = \frac{v_{o2}}{2v_{i1}} \approx \frac{1}{2} g_m R_c$$



Charge active

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{id}} = \frac{v_{o2}}{2v_{i1}} \approx \frac{1}{2} g_m \frac{1}{g_{ce2}} \parallel \frac{1}{g_{ce3}}$$