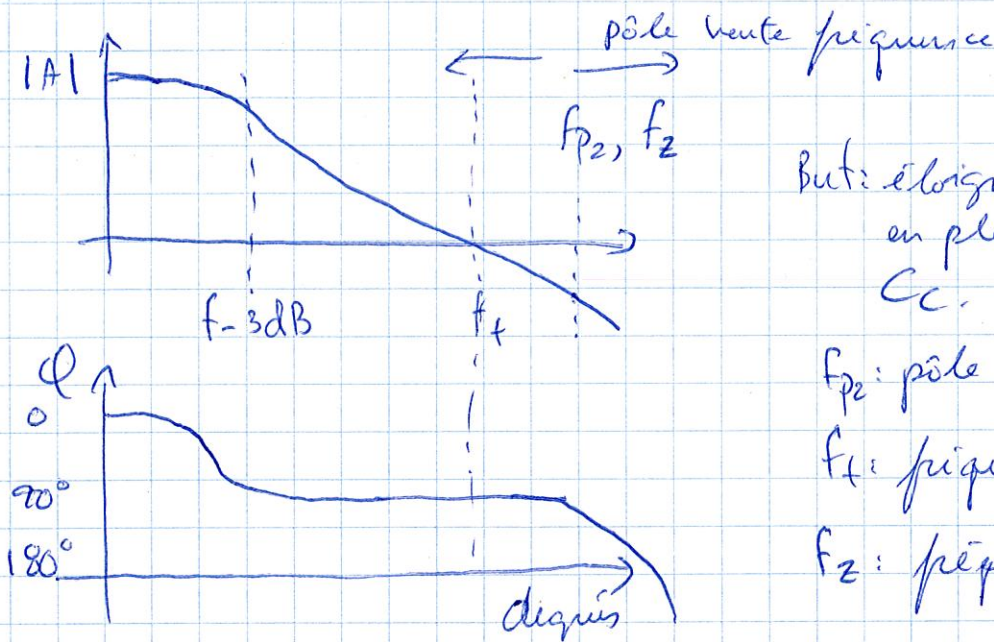


# Examen final - Solutionnaire

## 1-a) Compensation par séparation des pôles



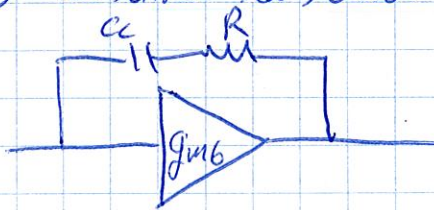
But: éloigner  $f_t$  de  $f_{p2}$  et  $f_z$  en plaçant le condensateur  $C_c$ .

$f_{p2}$ : pôle haute fréquence

$f_t$ : fréquence de gain unitaire

$f_z$ : fréquence du zéro.

## b) utiliser la lead compensation.



d'introduction de  $R$  permet d'annuler le zéro

c) ajouter un étage de sortie drain commun (suiveur de tension) pour réaliser une résistance de sortie faible.

d) Augmenter la résistance de sortie de la source de courant  $Q_5$ . Suggestion: utiliser une source de courant cascode.

e) Optimiser le slew-rate en priorité.

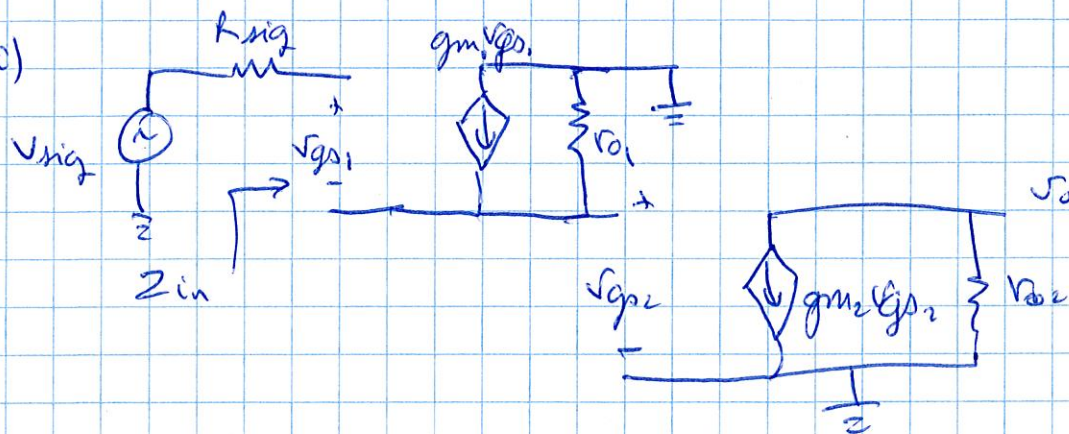
Il faudrait augmenter le courant de la source  $Q_5$

ou diminuer / enlever  $C_c$  (ou augmenter  $f_t$  ou  $V_{ov}$ )

$$\text{car } SR = \frac{I}{C_c} \quad \text{et} \quad SR = 2\pi f_t V_{ov}$$



2-a)



$$b) \frac{v_o}{v_i} = \frac{r_{o1}}{\frac{1}{g_{m1}} + r_{o1}} (-g_{m2}) r_{o2}$$

$$c) Z_{in} = \infty$$

$$R_o = r_{o2}$$

$$d) v_{sig} < v_{DD} - v_{ov1} - v_{GS1}$$

$$< v_{DD} - v_{ov1} - (v_{ov1} + V_t) = v_{DD} - V_t$$

$$v_{sig} > -v_{DS} + v_{DS} + v_{GS1}$$

$$> -v_{DS} + v_{DS} + v_{ov1} + V_t$$

$$\text{or } v_{sig} > v_{GS2} + v_{GS1}$$

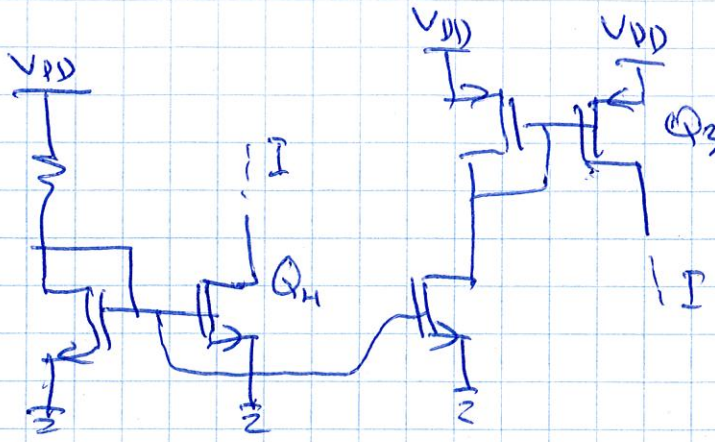
$$> v_{ov2} + v_{ov1} + 2V_t$$

$$e) v_o > v_{ov2}$$

$$v_o < v_{DD} - v_{DS}$$

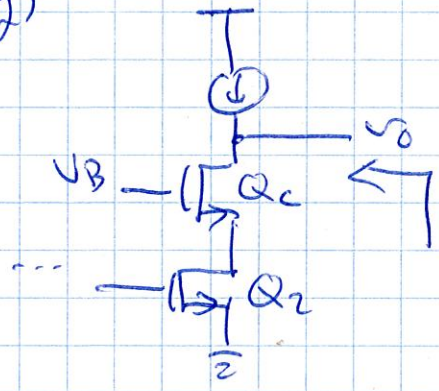


1)



$$R_o = r_{o2} \parallel r_{o3} \approx \frac{1}{2} r_o$$

2)



$$R_o = g_{m2} r_{o2} r_{o3}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{r_{o1}}{\frac{1}{g_{m1}} + r_{o1}} \cdot g_{m2} g_{m3} r_{o2} r_{o3}$$



$$3a) \quad I_{D1} = I_{D2} = I_{D3} = I_{D4} = I_{D7}/2 = 50 \mu A.$$

$$I_{D8} = I_{D5} = 250 \mu A.$$

$$\begin{aligned} V_{DD} - I_{Ref} \cdot 80 k\Omega &= V_{GS6} - 2,5V \\ &= V_{ov6} + V_t - 2,5V \\ &= 0,25V + 0,75V - 2,5V \\ &= -1,5V \end{aligned}$$

$$I_{Ref} = \frac{V_{DD} + 1,5}{80 k\Omega} = 50 \mu A.$$

$$I_{D6} = I_{Ref} = 50 \mu A$$

$$Q_6: \quad 50 \mu A = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} V_{ov}^2 \rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_6 = \frac{16}{1}$$

$$Q_7, Q_8: \quad \frac{(W/L)_6}{(W/L)_7} = \frac{50 \mu A}{100 \mu A} = \frac{1}{2} \rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_7 = \frac{32}{1}$$

$$Q_8: \quad \frac{(W/L)_6}{(W/L)_8} = \frac{50 \mu A}{250 \mu A} = \frac{1}{5} \rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_8 = \frac{80}{1}$$

$$Q_1, Q_2: \quad \text{comm } I_{D1} = I_{D2} = I_{D6}: \quad \left(\frac{W}{L}\right)_{1,2} = \frac{16}{1}$$

$$\begin{aligned} Q_3, Q_4: \quad &\text{comm } I_{D1} = I_{D3} = I_{D4} \\ &\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{1,1}^{V_{ov}^2} = \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{3,4}^{V_{ov}^2} \quad \left. \vphantom{\mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_{1,1}^{V_{ov}^2}} \right\} \mu_p C_{ox} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \\ &\left(\frac{W}{L}\right)_{3,4} = 2 \left(\frac{W}{L}\right)_1 = \frac{32}{1} \end{aligned}$$



b)  $g_m/r_o \dots$

$$g_{m1} = g_{m2} = \frac{2I_{D1}}{V_{ov}} = \frac{2 \cdot 50 \mu A}{0,25 V} = 0,4 \text{ mA/V}$$

$$g_{m3} = g_{m4} = \frac{2I_{D4}}{V_{ov}} = 0,4 \text{ mA/V}$$

$$g_{m6} = \frac{2I_{D6}}{V_{ov}} = 0,4 \text{ mA/V}$$

$$g_{m7} = \frac{2I_{D7}}{V_{ov}} = 0,8 \text{ mA/V}$$

$$g_{m8} = \frac{2I_{D8}}{V_{ov}} = 2 \text{ mA/V}$$

$$g_{m5} \Rightarrow V_{ov5} = \sqrt{\frac{2I_{D5}}{\mu_n C_{ox} (W/L)_5}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 250 \mu A}{100 \mu A/V^2 \cdot \frac{500 \mu m}{1 \mu m}}} = 0,1 V$$

$$g_{m5} = \frac{2I_{D8}}{V_{ov}} = 5 \text{ mA/V}$$

$$r_{o1} = r_{o2} = r_{o3} = r_{o4} = \frac{V_A}{I_D} = \frac{10 V / 1 \mu m}{50 \mu A} = 200 \text{ K}\Omega$$

$$= r_{o6}$$

$$r_{o7} = 100 \text{ K}\Omega$$

$$r_{o5} = r_{o8} = 40 \text{ K}\Omega$$



$$c) \frac{v_o}{v_i} = g_{m1} r_{o2} \parallel r_{o4} \cdot \frac{r_{o5} \parallel r_{o8}}{\frac{1}{g_{m5}} + r_{o5} \parallel r_{o8}}$$

$$= 40 \text{ V/V} \cdot \frac{20 \text{ k}\Omega}{\frac{1}{5 \text{ mA/V}} + 20 \text{ k}\Omega} = 40 \text{ V/V} \cdot 0,99$$

$$R_o = 1/g_{m5} = \underline{200 \Omega}$$

$$d) V_{in} > -V_{DS} + v_{ov7} + V_{GS1}$$

$$> -V_{DS} + v_{ov7} + v_{ov1} + V_T = -2,5 \text{ V} + 0,5 \text{ V} + 0,75 \text{ V} - \underline{1,25 \text{ V}}$$

$$V_{in} < V_{DD} - \cancel{v_{ov2}} - \cancel{v_{ov1}} + V_{GS3} - v_{ov1} + V_{GS1}$$

$$V_{DD} - (v_{ov3} + V_T) - \cancel{v_{ov1}} + \cancel{v_{ov1}} + \cancel{V_T}$$

$$V_{DD} - v_{ov3} = 2,5 - 0,25 = \underline{2,25 \text{ V}}$$

$$e) v_o > -V_{DS} + v_{ov8} = -2,5 \text{ V} + 0,25 \text{ V} = \underline{-2,25 \text{ V}}$$

$$v_o < V_{DD} - v_{ov4} - (V_{GS5})$$

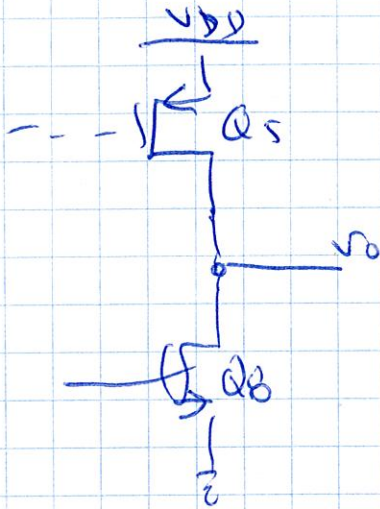
$$< V_{DD} - v_{ov4} - (v_{ov5} + V_T)$$

$$< V_{DD} - 2v_{ov} - V_T = 2,5 - 0,5 - 0,75 = \underline{1,25 \text{ V}}$$



f) étage classe A, efficacité: max. 25%

g) changer l'étage drain commun par un source commune.



- le gain différentiel :

$$\frac{v_O}{v_I} = g_{m1} R_{O2} // R_{O4} - g_{m5} R_{O5} // R_{O8}$$