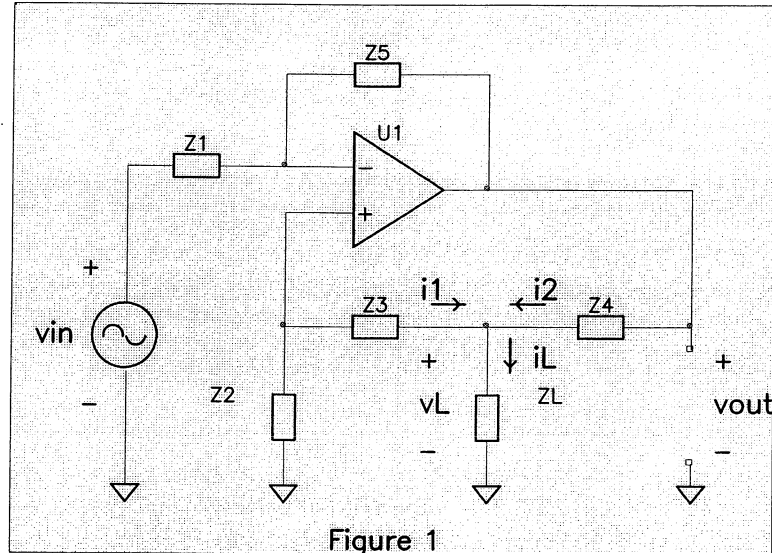


# ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Département de génie électrique  
Examen final du cours ELE3300 - Électronique 1  
Dimanche 15 décembre 2002

- Seuls un "aide-mémoire" (feuille 8½ x 11") et une calculatrice sont autorisés

## Question 1 : 3 points



Le circuit de la Figure 1 représente une source de courant de type VCCS (Voltage Controlled Current Source). (Référence : circuit de Howland étudié lors du premier laboratoire).

L'analyse du circuit révèle que le courant appliqué à la charge,  $i_L$ , s'écrit :

$$i_L = Y_{\text{out}} v_L + G_m v_{\text{in}} \quad \text{A)}$$

où  $Y_{\text{out}}$  est l'admittance de sortie de la source de courant :

$$Y_{\text{out}} \equiv \left. \frac{i_L}{v_L} \right|_{v_{\text{in}}=0} = \frac{1}{Z_4} \times \beta^+ \times \frac{A}{(1 + A\beta^-)} - \left( \frac{1}{Z_4} + \frac{1}{Z_2 + Z_3} \right) \quad \text{B)}$$

et  $G_m$  est la transconductance.

$$G_m \equiv \left. \frac{i_L}{v_{\text{in}}} \right|_{v_L=0} = -\frac{1}{Z_4} \times (1 - \beta^-) \times \frac{A}{(1 + A\beta^-)} \quad \text{C)}$$

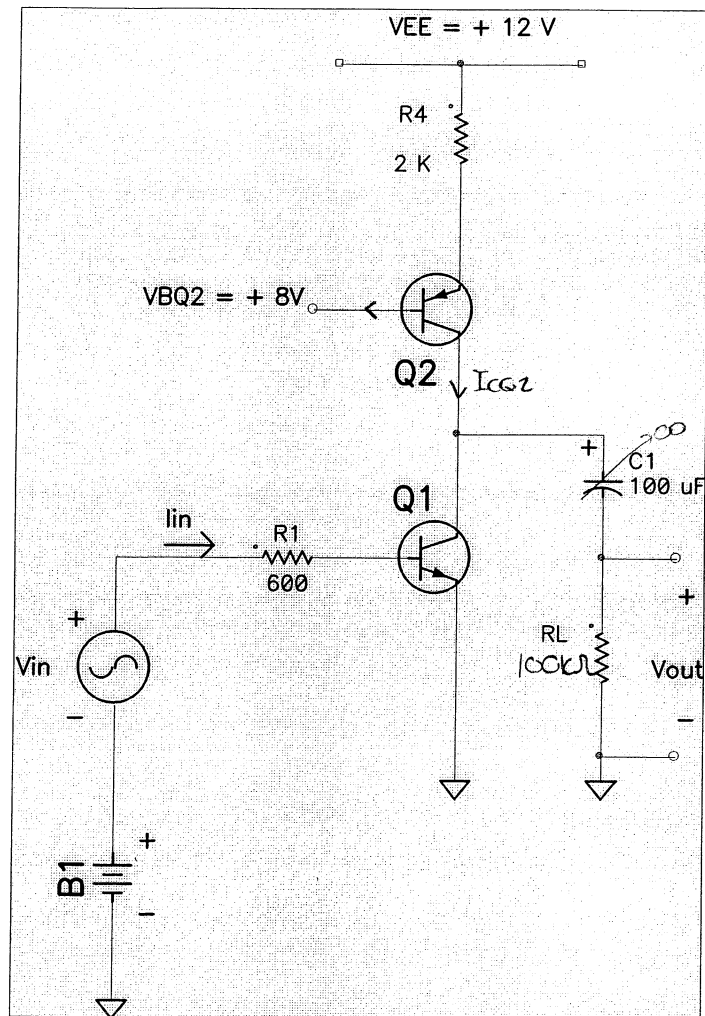
Les quantités  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  sont définies comme suit :

$$\beta^- = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_5} \quad \beta^+ = \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}$$

et  $A$  est le gain en boucle-ouverte de l'ampli-op.

- En supposant que l'ampli-op est idéal, que  $Z_1 = Z_2 = Z_4 = Z_5 = R$  et que  $Z_3 = 0$ , calculez  $R$  pour obtenir une transconductance  $G_m = -1 \text{ mS}$ .
- Quelle est la valeur de l'admittance de sortie,  $Y_{\text{out}}$ , dans ces conditions ?

## Question 2 : 6 points



Les transistors dans le circuit amplificateur ci-dessus ont les caractéristiques suivantes :

- $Q_1$  : BJT npn       $\beta = 150$        $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$        $V_A = 68 \text{ V}$
- $Q_2$  : BJT pnp       $\beta = 20$        $V_{EB} = 0.7 \text{ V}$        $V_A \rightarrow \infty$

La résistance de charge  $R_L = 100 \text{ k}\Omega$ .

Le voltage de la batterie  $B_1$  a été choisi pour que  $V_{CQ1} = 4 \text{ V}$  au point de repos. Le condensateur  $C_1$  peut être considéré infini. La tension  $V_{BQ2}$  est fournie par une source DC.

Analysez le circuit, en procédant comme suit :

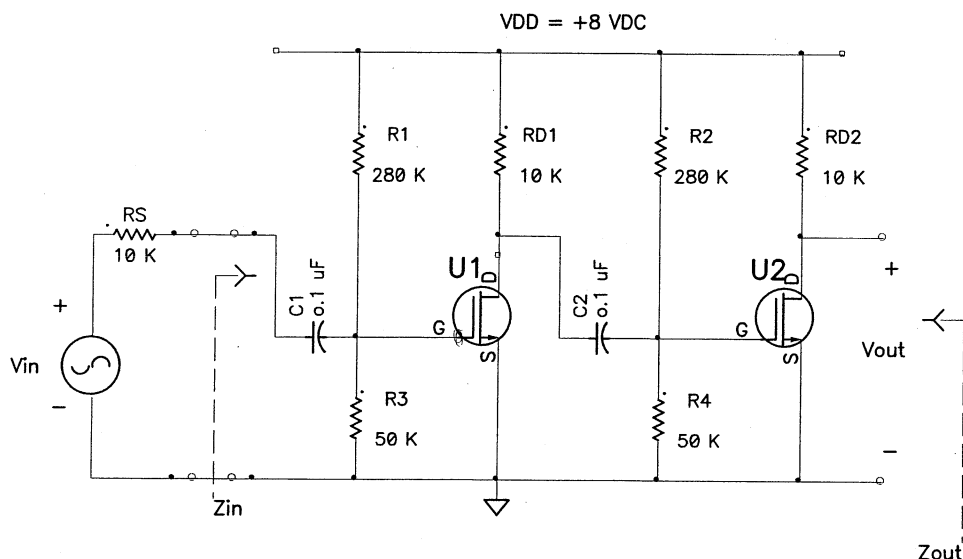
- a) Calculez  $V_{EQ2}$  et  $I_{CQ2}$ .
- b) Dessinez le circuit équivalent petit signal du circuit.
- c) Calculez  $r_{o1}$  et  $r_{\pi 1}$ .
- d) Calculez le gain de tension ( $A_v = v_{out} / v_{in}$ ) à mi-bande.
- e) Calculez la résistance d'entrée  $R_{in} = v_{in} / i_{in}$ .

**Question 3 : 4 points**

En utilisant un total de 5 ampli-ops, 9 résistances et 2 condensateurs, dessinez un amplificateur d'instrumentation suivi d'un filtre passe-haut et d'un filtre passe-bas du 1er ordre.

Le gain en mode différentiel du circuit doit être  $A_d = 200$  V/V à mi-bande. Les fréquences de coupure à -3dB des filtres passe-haut et passe-bas doivent être  $f_L = 1$  Hz et  $f_H = 1$  kHz respectivement. Vous disposez pour réaliser ce circuit des composants suivants : une résistance de 1.0526 k $\Omega$ , une de 1.59 k $\Omega$ , quatre de 10 k $\Omega$ , deux de 100 k $\Omega$ , et une de 159 k $\Omega$ , un condensateur de 0.1  $\mu$ F et un condensateur de 1  $\mu$ F.

Donnez le schéma électronique complet du circuit, indiquez clairement les entrées et sorties du circuit et les valeurs des composants. Supposez que les ampli-ops sont idéaux.

**Question 4 : 7 points**

Les transistors  $U_1$  et  $U_2$  dans le circuit ci-dessus ont pour caractéristiques :  $K = 1.6$  mA/V<sup>2</sup>,  $V_T = 0.8$  V et  $V_A = 55$  V. Effectuez l'analyse DC (polarisation) et l'analyse petit signal du circuit, en procédant comme suit :

- Calculez la tension de grille au point de repos ( $V_{GQ1}$  et  $V_{GQ2}$ ) pour chaque transistor.
- Calculez le courant de drain au point de repos ( $I_{DQ1}$  et  $I_{DQ2}$ ) pour chaque transistor.
- Calculez la transconductance ( $g_{m1}$  et  $g_{m2}$ ) de chaque transistor.
- Calculez la résistance dynamique drain-source ( $r_{o1}$  et  $r_{o2}$ ) de chaque transistor.
- Dessinez le circuit équivalent petit signal du circuit.
- Calculez le gain de tension ( $A_v = v_{out} / v_{in}$ ) à mi-bande.
- Calculez le module de l'impédance d'entrée ( $|Z_{in}|$ ) à mi-bande.
- Calculez le module de l'impédance de sortie ( $|Z_{out}|$ ) à mi-bande.

(N.B. le terme *mi-bande* signifie ici les fréquences pour lesquelles  $C_1$  et  $C_2$  peuvent être considérés infinis.)

Les professeurs : Robert GUARDO et Mohamed MEKIDÈCHE. (tél: 4365)

Question 1 : 3 points

$$\beta^- \equiv \frac{z_1}{z_1 + z_5} = \frac{R}{R + R} = 0.5$$

$$\beta^+ \equiv \frac{z_2}{z_2 + z_3} = \frac{R}{R} = 1.0$$

$$\begin{aligned} G_m &\equiv -\frac{1}{z_4} \times (1 - \beta^-) \times \frac{A}{(1 + A\beta^-)} \\ &= -\frac{1}{R} \times (1 - 0.5) \times \frac{A}{1 + 0.5A} \end{aligned}$$

Pour un ampli-op idéal  $A \rightarrow \infty$

$$\therefore G_m = -\frac{1}{R}$$

Pour que la transconductance soit de  $-1 \text{ ms}$  il faut donc que

a)  $R = -\frac{1}{G_m} = \frac{1}{1 \text{ ms}} = \underline{\underline{1 \text{ k}\Omega}}$

b) Tout  $\rightarrow \odot$

Question 2 : 6 points

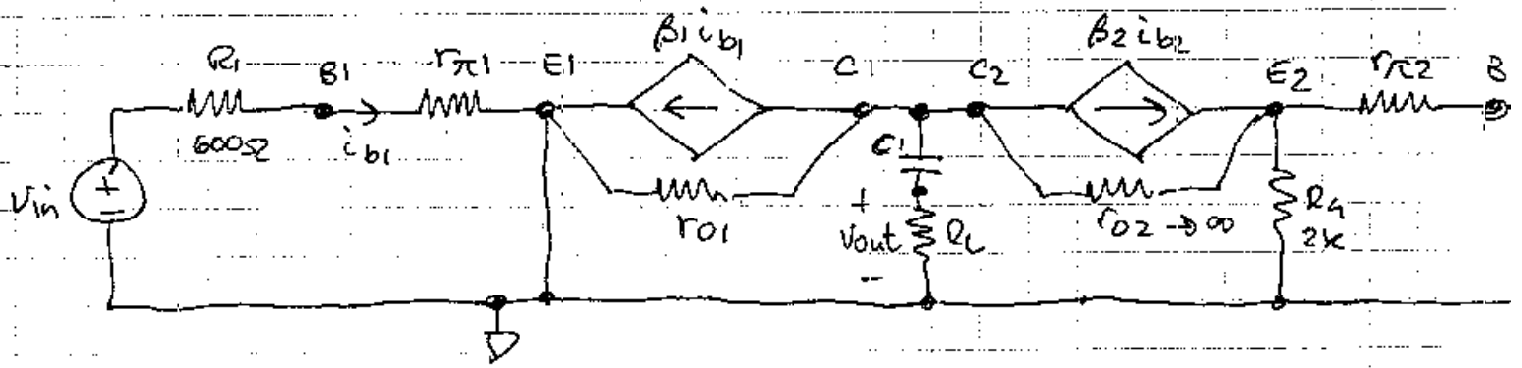
$$\begin{aligned} \text{a) } V_{EQ2} &= V_{BQ2} + V_{EB} \\ &= 8\text{V} + 0.7\text{V} = \underline{\underline{8.7\text{V}}} \end{aligned}$$

$$I_{EQ2} = \frac{(V_{EE} - V_{EQ2})}{R_4} = \frac{12\text{V} - 8.7\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 1.65\text{mA}$$

$$I_{CQ2} = \alpha I_{EQ2} = \frac{\beta}{\beta + 1} I_{EQ2} = \frac{20}{21} \times 1.65\text{mA} = \underline{\underline{1.57\text{mA}}}$$

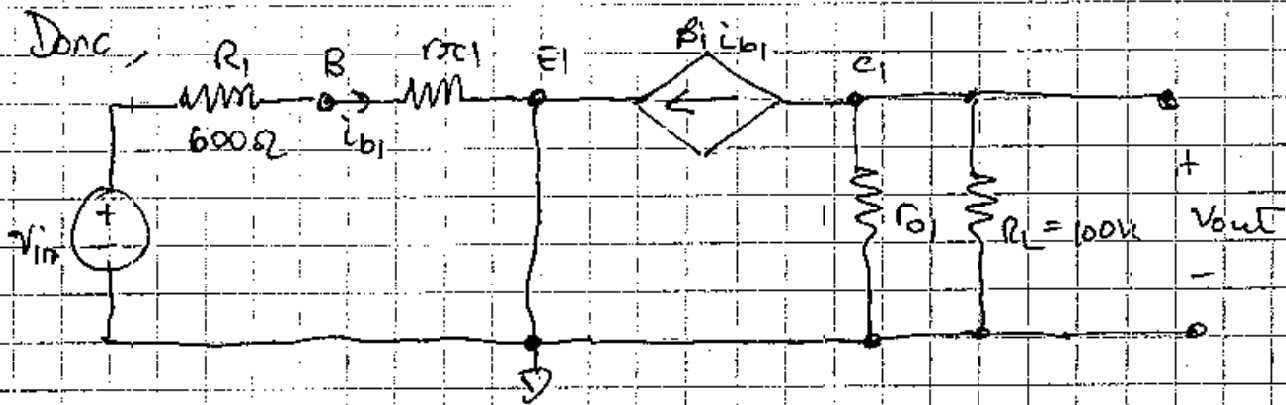
b) Circuit équivalent petit signal

(voir page 2)



Ce circuit équivalent peut être simplifié comme suit :

- 1) À mi-bande  $C_1$  est considéré  $\infty$  donc le condensateur est remplacé par un court-circuit.
- 2) La tension Early  $V_A$  de  $Q_2$  est supposée  $\rightarrow \infty$  donc  $r_{o2} \rightarrow \infty$
- 3) La source de courant  $\beta_2 i_{b2} = 0$  car  $i_{b2} = 0$ . On peut donc le remplacer par un circuit-ouvert. (En fait,  $Q_2$  et  $R_4$  agissent comme source de courant DC et servent à polariser  $Q_1$  au point de



$$c) \quad r_{o1} \equiv \frac{|V_{A1}|}{I_{CQ1}} = \frac{68V}{1.57mA} = \underline{\underline{43.3k\Omega}}$$

$$r_{\pi 1} \equiv \frac{V_T}{I_{BQ1}} = \frac{V_T}{I_{CQ1}/\beta_1} = \frac{25mV \times 150}{1.57mA} = \underline{\underline{2,389k\Omega}}$$

$$d) \quad v_{out} = -\beta_1 i_{b1} (r_{o1} \parallel R_L)$$

$$i_{b1} = \frac{v_{in}}{R_1 + r_{\pi 1}}$$

$$A_v \equiv \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-\beta_1 (r_{o1} \parallel R_L)}{R_1 + r_{\pi 1}} = \frac{-150 (43.3 \parallel 100)k\Omega}{2.99k\Omega}$$

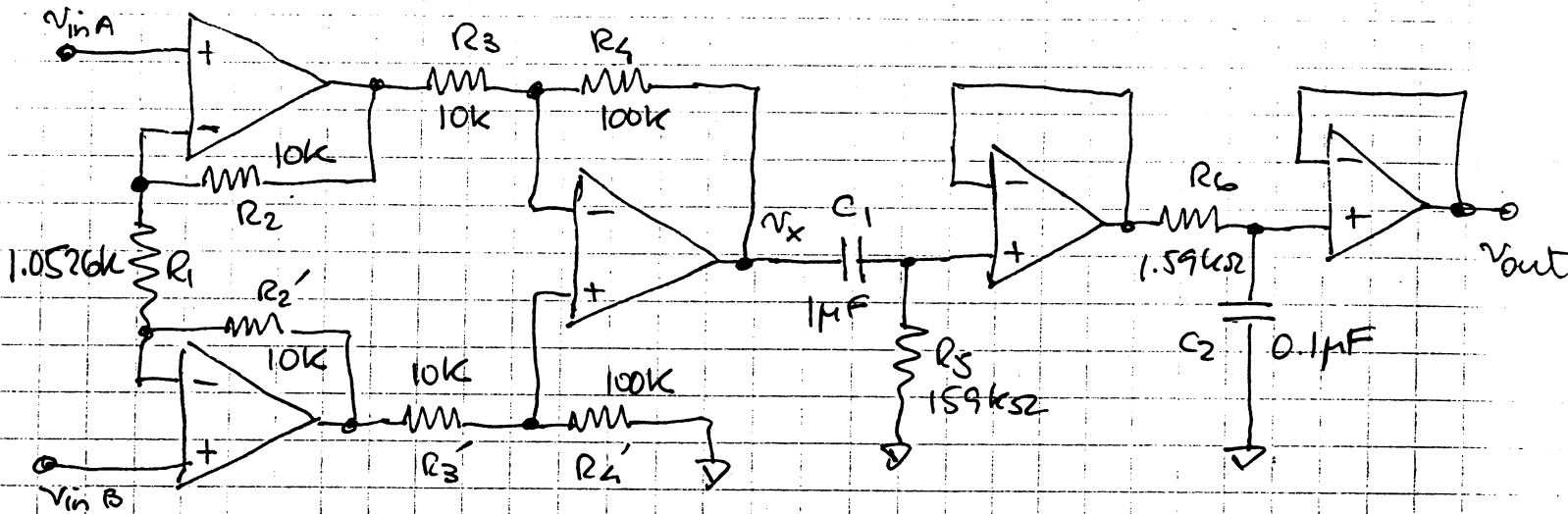
$$A_v \approx \underline{\underline{-1516 \frac{V}{V}}}$$

Examen final Automne 2002

page 3

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = R_1 + r_{\pi 1} = 600\Omega + 2.389\text{k}\Omega = \underline{\underline{2.989\text{k}\Omega}}$$

Question 3 : 4 points



Ampli d'instrumentation

Filtre passe-haut  
1er ordre

Filtre passe-bas  
1er ordre

$$v_x = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3}\right) (v_{inB} - v_{inA}) \quad \left[ \text{si } R_2 = R_2', R_3 = R_3' \text{ et } R_4 = R_4' \right]$$

$$\therefore A_d = \frac{v_x}{v_{inB} - v_{inA}} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3}\right)$$

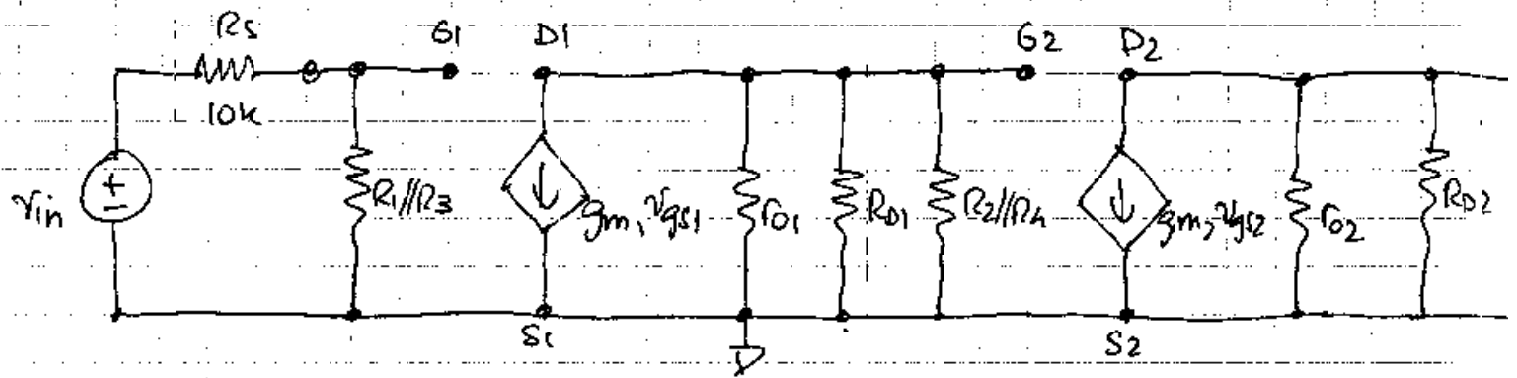
Pour les filtres passe-haut et passe-bas, les gains à mi-bande sont de  $+1 \frac{V}{V}$

Donc, pour un gain différentiel à mi-bande de  $200 \frac{V}{V}$  pour l'ensemble du circuit il faut que  $\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_4}{R_3}\right) = 200$

Un choix raisonnable (mais pas le seul possible) pour les valeurs des résistances serait :  $R_4 = R_4' = 100 \text{ k}\Omega$ ,  
 $R_3 = R_3' = R_2 = R_2' = 10 \text{ k}\Omega$

$$A_d = 200 \frac{V}{V} = \left(1 + 2 \times \frac{10 \text{ k}}{R_1}\right) \left(\frac{100 \text{ k}}{10 \text{ k}}\right) \rightarrow R_1 = \underline{\underline{1.05263 \text{ k}\Omega}}$$

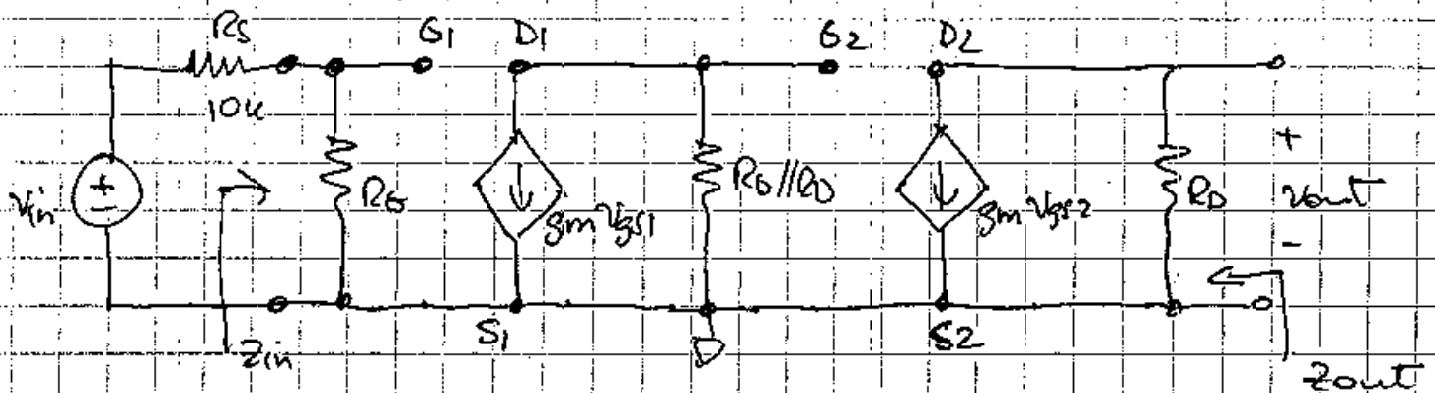




Soit  $R_6 \equiv R_1 // R_3 = R_2 // R_4 = 50k // 280k = 42.42 k\Omega$

Soit  $R_D \equiv r_{o1} // R_{D1} = r_{o2} // R_{D2} = 202.5k // 10k = 9.53 k\Omega$

Le circuit équivalent se simplifie à ceci ...



f)  $v_{gs1} = v_{in} \times \frac{R_6}{R_6 + R_s}$

$v_{gs2} = -g_{m1} v_{gs1} (R_6 // R_D)$

$v_{out} = -g_{m2} v_{gs2} R_D$

$\therefore v_{out} = g_{m1}^2 R_D \times (R_6 // R_D) \times \frac{R_6}{R_6 + R_s} \times v_{in}$

$= g_{m1}^2 R_D \times \frac{R_6 \times R_D}{(R_6 + R_D)} \times \frac{R_6}{(R_6 + R_s)} \times v_{in}$

$A_v \equiv \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{(g_{m1} R_6 R_D)^2}{(R_6 + R_D) \times (R_6 + R_s)}$

$= \frac{(1.318 \times 10^{-3} \times 42.42 \times 10^3 \times 9.53 \times 10^3)^2}{(42.42 + 9.53) \times 10^3 \times (42.42 + 10) \times 10^3}$

$= 104.25 \underline{\underline{V}}$

Pour les composants des filtres choisissons des valeurs standard de condensate

Pour le filtre passe-haut ( $f_c = 1 \text{ Hz}$ ) choisissons  $C_1 = 1 \mu\text{F}$

$$R_5 = \frac{1}{2\pi \times 1 \text{ Hz} \times 10^{-6} \text{ F}} = \underline{\underline{159 \text{ k}\Omega}}$$

Pour le filtre passe-bas ( $f_H = 1 \text{ kHz}$ ) choisissons  $C_1 = 0.1 \mu\text{F}$

$$R_6 = \frac{1}{2\pi \times 10^3 \text{ Hz} \times 10^{-7} \text{ F}} = \underline{\underline{1.59 \text{ k}\Omega}}$$

### Question 4 : 7 points

- a) On remarquera que les circuits des deux étages d'amplification sont identiques. Donc on fera les calculs des tensions et courants de polarisation pour un des 2 étages et on l'appliquera à l'autre.

Étant donné que le courant de grille pour des transistors MOS  $\rightarrow 0$ , la tension de grille au repos est obtenue par simple diviseur de tension :

$$V_{GS1} = V_{GS2} = V_{DD} \times \frac{R_3}{R_1 + R_3} = +8V \times \frac{50k}{330k} = \underline{\underline{+1.212V}}$$

$$\begin{aligned} b) I_{DQ1} = I_{DQ2} &= K (V_{GSQ} - V_t)^2 \\ &= \frac{1.6 \text{ mA}}{V_t^2} (1.212 \text{ V} - 0.8 \text{ V})^2 \\ &= \underline{\underline{0.2716 \text{ mA}}} \end{aligned}$$

$$c) g_{m1} = g_{m2} = \sqrt{4K I_{DQ}} = \sqrt{4 \times \frac{1.6 \text{ mA}}{V_t^2} \times 0.2716 \text{ mA}} = \underline{\underline{1.318 \text{ mS}}}$$

$$d) r_{o1} = r_{o2} = \frac{|V_A|}{I_{DQ}} = \frac{55V}{0.2716 \text{ mA}} = 202.5 \text{ k}\Omega$$

e) Circuit équivalent petit signal

(Voir page 5)

g) Par inspection:

$$|Z_{in}| = R_G = \underline{\underline{42.42 \text{ k}\Omega}}$$

h) Si on force  $v_{in}$  à zéro,  $v_{gs1} = 0$  et par conséquent  $v_{gs2} = 0$ .

La source de courant  $g_m v_{gs2} = 0$  devient un circuit ouvert.

Alors, par inspection,  $|Z_{out}| = R_D = \underline{\underline{9.53 \text{ k}\Omega}}$