

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Département de génie Électrique et de génie Informatique

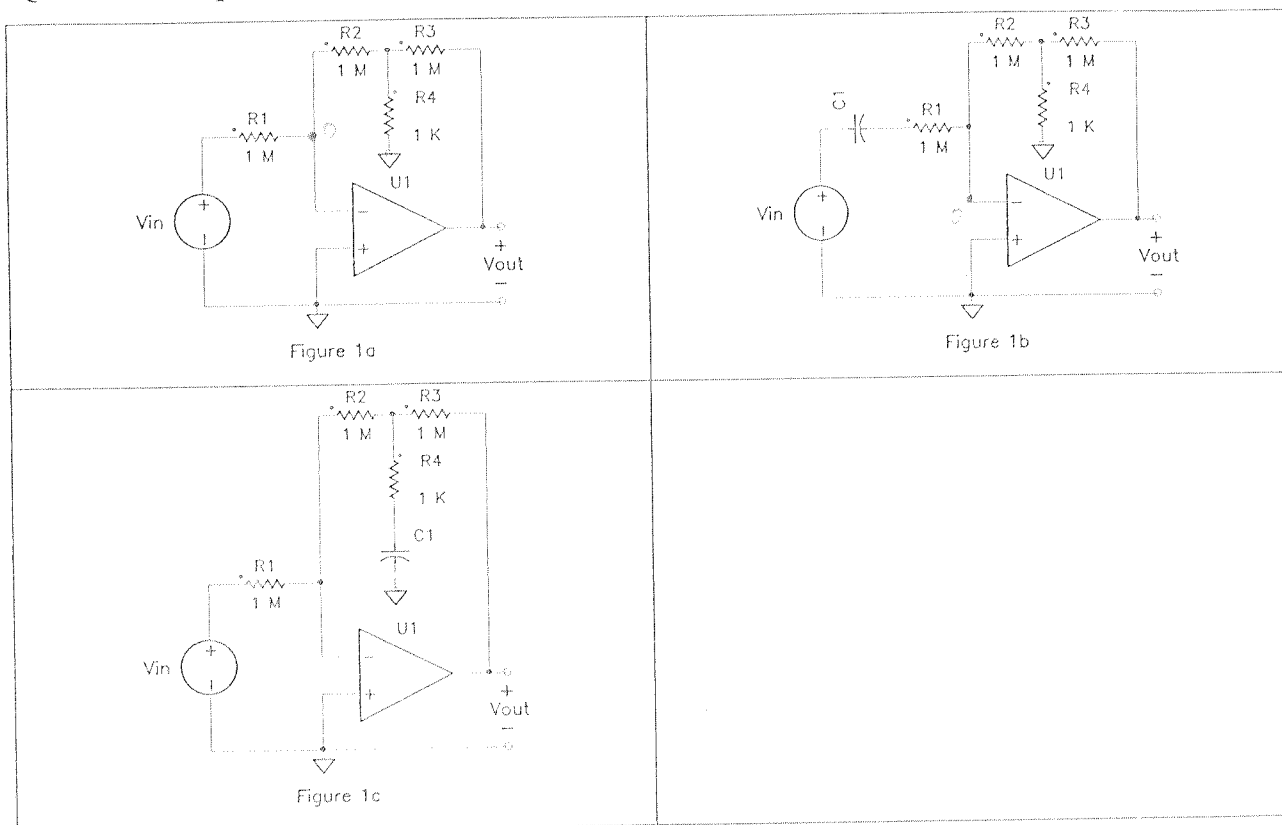
Examen final d'Électronique 1 - (cours ELE-3300)

Lundi le 18 décembre 2000 - 9h30 à 12h

CEGE
comité étudiant de
génie électrique

- Seuls le cahier de laboratoire et une calculatrice sont autorisés.

Question 1 : 6 points



L'ampli-op U_1 dans les circuits ci-dessus peut être considéré idéal à tous les points de vue, sauf pour la spécification de la tension de décalage, V_{OS} , qui est de $\pm 5\text{ mV}$ (i.e. $|V_{OS}| = 5\text{ mV}$).

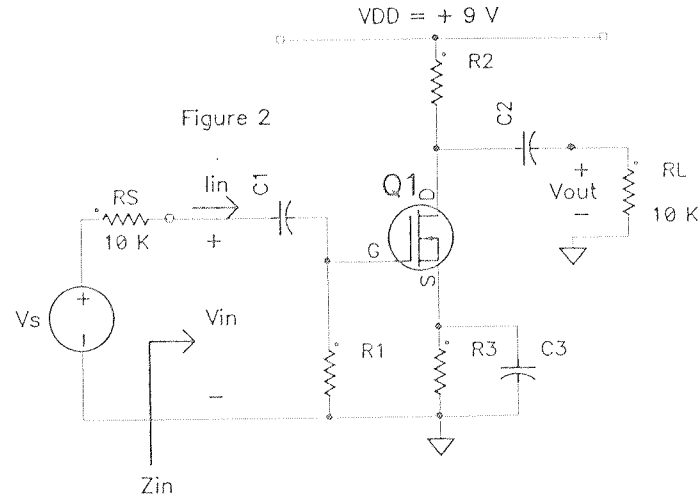
Le signal d'entrée $v_{in} = 10^{-3} \sin(2000\pi t)$ Volt. Le condensateur C_1 est suffisamment grand pour être considéré infini à cette fréquence.

Pour chacun des 3 circuits de la Figure 1 :

- Calculez la tension V_{OUT} produite à la sortie du circuit par la source de tension V_{OS} .
- Calculez l'amplitude crête de la tension v_{out} produite à la sortie du circuit par le signal v_{in} .

Note : Des réponses précises à $\pm 1\%$ sont acceptables.

Question 2 : 6 points



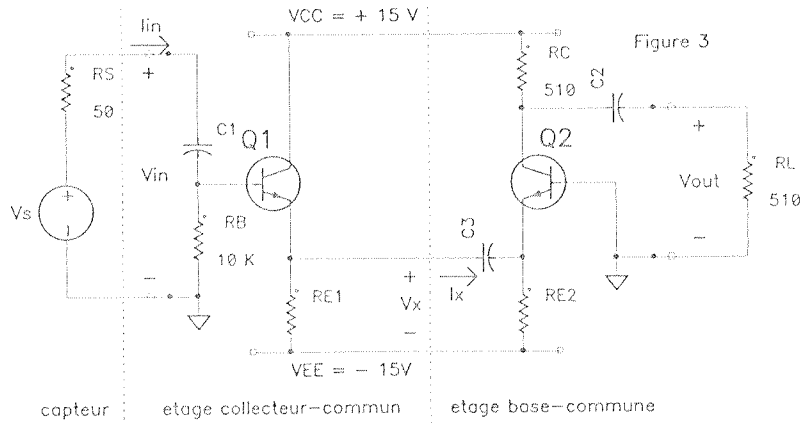
Mandat : Réaliser un pre-amplificateur pour microphone dynamique. Le circuit doit satisfaire aux spécifications suivantes:

1. Source d'alimentation : une batterie de 9 V.
2. Consommation de courant au point de repos : $100 \mu\text{A}$.
3. Transistor : NMOS à déplétion avec $K = 10 \text{ mA/V}^2$, $V_t = -4 \text{ V}$ et $|V_A| = 100 \text{ V}$.
4. Bande passante (fréquences de coupure à -3 dB) : 20 Hz à 20 kHz.
5. Module de l'impédance d'entrée à mi-bande : $1 \text{ M}\Omega$.
6. Gain de tension à mi-bande (mesuré avec une résistance de charge de $10 \text{ k}\Omega$) : -10 V/V .

Faites la conception du circuit de la Figure 2 en procédant comme suit :

- a) Calculez la tension grille-source V_{GSQ} nécessaire pour polariser le transistor avec un courant de drain $I_{DQ} = 100 \mu\text{A}$, conformément à la spécification # 2 du mandat.
- b) Calculez la valeur de R_3 nécessaire pour établir la tension de polarisation V_{GSQ} calculée en a).
- c) Calculez la valeur de C_3 qui permet de le considérer comme un condensateur infini aux fréquences de la bande passante de l'amplificateur (spécification #4 du mandat).
- d) Calculez la valeur de C_2 selon les mêmes critères qu'en c).
- e) Dessinez le circuit équivalent petit signal de l'amplificateur.
- f) Calculez les paramètres g_m et r_o du transistor.
- g) Développez l'équation pour le gain de tension $G(s) = v_{out}(s) / v_{in}(s)$.
- h) Calculez la valeur de R_2 pour satisfaire à la spécification # 6 du mandat.
- i) Développez l'équation pour l'impédance d'entrée $Z_{in}(s) = v_{in}(s) / i_{in}(s)$.
- j) Choisissez la valeur de R_1 pour satisfaire à la spécification #5 du mandat.
- k) Calculez la valeur de C_1 qui permet de fixer la limite inférieure de la bande passante de l'amplificateur, conformément à la spécification #4 du mandat.
- l) Dites à quel endroit du circuit vous ajouteriez un condensateur C_4 permettant de fixer la limite supérieure de la bande passante de l'amplificateur, conformément à la spécification #4.
- m) Calculez la valeur du condensateur C_4 .

Question 3 : 8 points



Le circuit de la Figure 3 est un amplificateur large-bande constitué d'un étage collecteur-commun suivi d'un étage base-commune. Cette combinaison d'étages permet d'obtenir une impédance d'entrée relativement grande, une impédance de sortie intermédiaire et un gain de tension relativement grand. L'effet Miller n'intervenant pas dans les configurations collecteur-commun et base-commune, la largeur de bande de ce circuit est plus grande que celle d'un circuit de même gain réalisé avec un ou plusieurs étages émetteur-commun. Ce circuit a donc des caractéristiques semblables à celles d'un amplificateur cascade.

Q_1 et Q_2 sont des transistors 2N2222A avec $\beta = 225$ et $V_{BE} = 0.7 \text{ V} @ I_C = 10 \text{ mA}$. La tension Early de ces BJT est assez grande pour considérer $r_0 \rightarrow \infty$. Les condensateurs C_2 et C_3 peuvent également être considérés infinis. Le signal d'entrée provient d'un capteur d'ultrasons, représenté ici par une source de tension v_s et une résistance $R_s = 50 \Omega$. La sortie de l'amplificateur est reliée à une résistance de charge $R_L = 510 \Omega$. Les autres résistances sont : $R_B = 10 \text{ k}\Omega$ et $R_C = 510 \Omega$.

Analysez le circuit en procédant comme suit :

- Calculez R_{E2} pour fixer le courant de polarisation de Q_2 à $I_{CQ2} = 10 \text{ mA}$.
- Dessinez le circuit équivalent petit signal de l'étage base-commune.
- Calculez le gain de tension $G^{BC} = v_{out} / v_x$ de l'étage base-commune.
- Calculez la résistance d'entrée $R_{in}^{BC} = v_x / i_x$ de l'étage base-commune.
- Calculez R_{E1} pour fixer le courant de polarisation de Q_1 à $I_{CQ1} = 10 \text{ mA}$.
- Dessinez le circuit équivalent petit signal de l'étage collecteur-commun. **Attention !** La résistance R_{in}^{BC} calculée en d) devient la résistance de charge de l'étage collecteur-commun. Indiquez-la dans votre circuit équivalent et tenez-en compte dans l'analyse qui suivra.
- Développez une expression pour le gain $G^{CC} = v_x / v_{in}$ de l'étage collecteur-commun.
- Calculez le gain de tension à mi-bande de l'étage collecteur-commun. (Le terme *mi-bande* désigne ici des fréquences suffisamment élevées pour que C_1 puisse être considéré infini).
- Calculez la valeur de C_1 pour que celui-ci forme, avec la résistance d'entrée de l'étage collecteur-commun, un filtre passe-haut du 1^e ordre de $f_{C(-3dB)} = 10 \text{ kHz}$.
- Calculez le gain de tension « effectif » $G = v_{out} / v_s$ de cet amplificateur à $f \gg f_{C(-3dB)}$.

Les professeurs : Michel BERTRAND et Robert GUARDO

Examen final d'Électronique I

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE

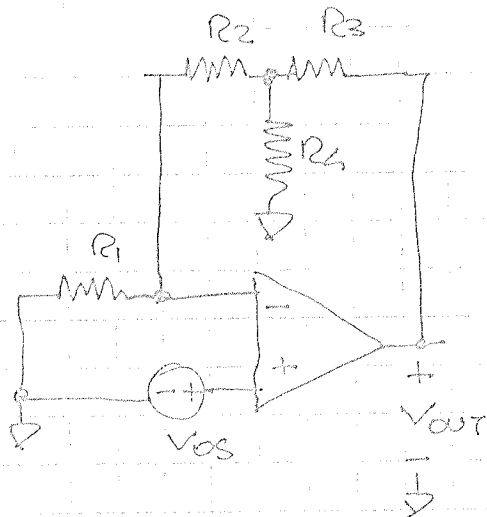
/ / (Question 1a)

MAINDEC

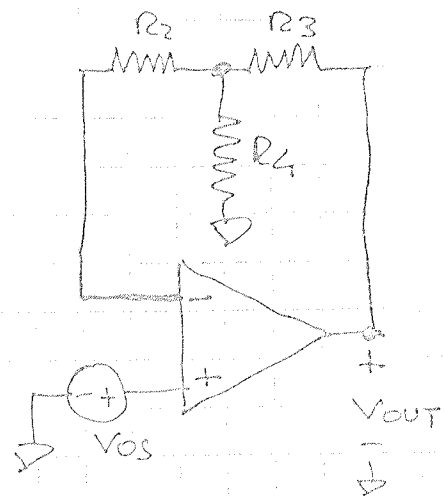
page 1

Pour chacun des 3 circuits de la figure 1, dessinez le circuit équivalent DC (i.e. remplacez l'ampli-op quasi-idéal par un modèle approprié et supposez que $V_{in} = 0$).

Circuit de la Figure 1a)

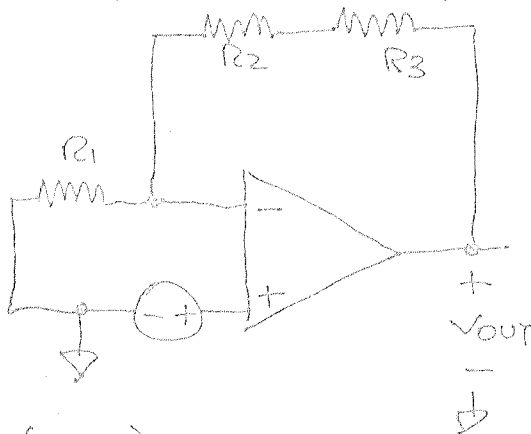


Circuit de la Figure 1b)



(le condensateur C_1 est un circuit-ouvert en DC).

Circuit de la Figure 1c)



(idem)

Valeurs des résistances

$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_3 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

Tension de décalage

$$|V_{0S}| = 5 \text{ mV}$$

Examen final d'Électronique I

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE

/ / Question 1b)

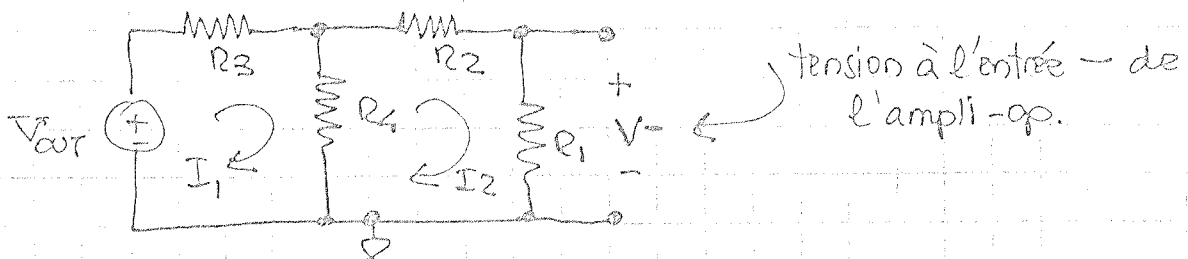
MAINDEC

page 2

Pour chacun des 3 circuits de la Figure 1, calculez la tension V_{out} produite à la sortie du circuit par la source de tension V_{os} .

Circuit de la Figure 1a)

Analysons le réseau de résistances de rétroaction



$$\begin{aligned} V_{out} &= I_1 (R_3 + R_4) - I_2 (R_4) \\ 0 &= -I_1 (R_4) + I_2 (R_4 + R_3 + R_1) \end{aligned}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} (R_3 + R_4) & -R_4 \\ -R_4 & (R_4 + R_3 + R_1) \end{vmatrix} = (R_3 + R_4)(R_4 + R_3 + R_1) - R_4^2$$

$$\Delta I_2 = \begin{vmatrix} (R_3 + R_4) & V_{out} \\ -R_4 & 0 \end{vmatrix} = R_4 V_{out}$$

$$I_2 = \frac{\Delta I_2}{\Delta} = \frac{R_4 V_{out}}{(R_3 + R_4)(R_4 + R_3 + R_1) - R_4^2}$$

$$V^- = R_1 \times I_2$$

$V^+ = V^-$ si on suppose que le gain en boucle-ouverte de l'ampli-op $\rightarrow \infty$
 (i.e. court-circuit virtuel entre les entrées + et -)

$$\text{Donc } V_{os} = V^+ = V^- = R_1 I_2$$

SECTION 5

Examen final d'Électronique | MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT RT

DATE

/ / Question 1b (suite)

MAINDEC

Page 3

Donc

$$V_{os} = \frac{R_4 R_1 V_{out}}{(R_3 + R_4)(R_4 + R_2 + R_1) - R_4^2}$$

$$\text{et } |V_{out}| = |V_{os}| \times \frac{(R_3 + R_4)(R_4 + R_2 + R_1) - R_4^2}{R_4 R_1}$$

$$= 5 \text{ mV} \times \frac{(10^6 + 10^3)(10^3 + 2 \times 10^6) - 10^6}{10^9}$$

$$\approx \underline{\underline{10 \text{ V}}}$$

Pour le circuit de la Figure 1b)

$$\text{on a : } V^+ = V_{os}$$

$$V^- = V_{out} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

et $V^+ = V^-$ si le gain de l'ampli-op $\rightarrow \infty$

$$\text{Donc : } V_{os} = V_{out} \times \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$|V_{out}| = |V_{os}| \times \frac{(R_3 + R_4)}{R_4} \approx \underline{\underline{5 \text{ V}}}$$

Pour le circuit de la Figure 1c)

On a un ampli non-inverseur de gain $= 1 + \frac{(R_2 + R_3)}{R_1}$

Donc

$$|V_{out}| = |V_{os}| \times \frac{(R_1 + R_2 + R_3)}{R_1} \approx \underline{\underline{15 \text{ mV}}}$$

Examen final d'Électronique

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE

/ / Question 3 (suite)

MAINDEC

Page 10

*

$$v_{out} = -\alpha i_e (R_c // R_L)$$

$$i_e = -\frac{v_x}{r_e}$$

$$\text{Donc } G^{BC} \equiv \frac{v_{out}}{v_x} = \alpha \left(\frac{R_c // R_L}{r_e} \right) = \alpha \frac{(R_c // R_L)}{\frac{V_T}{I_{EQ}}} = \frac{I_{EQ} (R_c // R_L)}{V_T}$$

$$= \frac{10 \times 10^{-3} \text{ A}}{25 \times 10^{-3} \text{ V}} \times (510 // 510) \Omega \approx \underline{\underline{100 \frac{V}{V}}}$$

* d) Calcul de la résistance d'entrée de l'étage base-commune

par inspection : $R_{in}^{BC} \equiv \frac{v_x}{i_x} = R_{E2} // r_e$

$$= 1.43 \text{ k}\Omega // \left(\frac{V_T}{I_{EQ}} \right) \approx \underline{\underline{2.5 \Omega}}$$

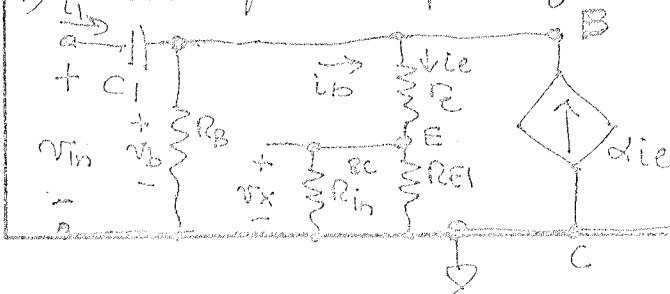
* e) Calcul de R_{E1} pour fixer $I_{EQ1} = 10 \text{ mA}$

$$v_{BE1} = -v_{BQ1} = -R_{B1} \frac{I_{BQ1}}{\beta} = -10 \text{ k}\Omega \times \frac{10 \text{ mA}}{225} = -0.44 \text{ V}$$

$$R_{E1} = \frac{(V_{BQ1} - V_{BE} - V_{EE})}{I_{EQ1} / \alpha} = \frac{(V_{BQ1} - V_{BE} - V_{EE})}{I_{EQ1} / \alpha}$$

$$\approx \frac{(-0.44 - 0.7 + 15) \text{ V}}{10 \text{ mA}} \approx \underline{\underline{1.38 \text{ k}\Omega}}$$

* f) Circuit équivalent petit signal de l'étage collecteur-commun



Examen final d'Électronique I

SECTION 5

MAINDEC: NOTES D'UTILISATION/RAPPORT

DATE / / Question 3 (suite)

MAINDEC page 11

* g) Gain de tension de l'étage collecteur-commun $G^{cc} \equiv v_x/v_{in}$

$$v_b = v_{in} \times \frac{R_B}{R_B + 1/sC_1} = v_{in} \times \frac{sR_B C_1}{1 + sR_B C_1}$$

$$v_x = -\beta i_e R_{eq} \quad \text{où } R_{eq} = R_{E1} // R_{in}^{BC}$$

$$v_x = v_b \times \frac{R_{eq}}{r_e + R_{eq}}$$

$$\therefore v_x = v_{in} \times \frac{sR_B C_1}{(1 + sR_B C_1)} \times \frac{R_{eq}}{(r_e + R_{eq})}$$

$$G^{cc} \equiv \frac{v_x}{v_{in}} = \frac{sR_B C_1}{(1 + sR_B C_1)} \times \frac{R_{eq}}{(r_e + R_{eq})}$$

* h) Calcul du gain de tension à mi-bande de l'étage collecteur-commun

$$G^{cc} \text{ à mi-bande} \approx \frac{R_{eq}}{r_e + R_{eq}}$$

$$R_{eq} \equiv R_{E1} // R_{in}^{BC} = 1.38 \text{ k}\Omega // 2.5 \Omega \approx 2.5 \Omega$$

$$r_e \equiv \frac{V_T}{I_{E1}} = 2.5 \Omega$$

$$\text{Donc } G^{cc} \text{ à mi-bande} \approx \underline{\underline{0.5 \frac{V}{V}}}$$

* i) Calcul de C_1 pour obtenir une fréquence de coupure de 10 kHz

Calculons d'abord la résistance d'entrée de l'étage collecteur-commun.

Σ des courants au nœud B = 0

$$i_1 - \frac{v_b}{R_B} - i_b = 0$$

$$i_1 - \frac{v_b}{R_B} - \frac{i_e}{(\beta+1)} = 0$$

$$\therefore i_1 = \frac{v_b}{R_B} + \frac{v_b}{(\beta+1)(r_e + R_{E1} // R_{in}^{BC})}$$

$$= v_b \left[\frac{1}{R_B} + \frac{1}{(\beta+1)(r_e + R_{E1} // R_{in}^{BC})} \right]$$

$$R_{in}^{cc} \equiv \frac{v_b}{i_1} = R_B // \left[(\beta+1)(r_e + R_{E1} // R_{in}^{BC}) \right]$$

$$= 10^4 // \left[226 (2.5 + 1.38 \times 10^3 // 2.5) \right]$$

$$\approx \underline{\underline{1015 \Omega}}$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c R_{in}^{cc}} = \frac{1}{2\pi \times 10^4 \text{ Hz} \times 1,015 \Omega} \approx \underline{\underline{15.6 \text{ nF}}}$$

* j) Calcul du gain de tension "effectif" $G \equiv v_{out}/v_s$

$$G \equiv \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{v_{out}}{v_x} \times \frac{v_x}{v_{in}} \times \frac{v_{in}}{v_s}$$

$$= G^{BC} \times G^{cc} \times \frac{R_{in}^{cc}}{(R_s + R_{in}^{cc})}$$

$$= 100 \frac{V}{V} \times 0.5 \frac{V}{V} \times \frac{1015}{50 + 1015} \approx \underline{\underline{47.6 \frac{V}{V}}}$$

$$\text{Gain effectif en dB} = 20 \log_{10} 47.6 = \underline{\underline{33.5 \text{ dB}}}$$