Solutions : Exercices Réaction Négative (2ème séance)

Exercice 1

La figure 1 illustre la situation avec A→∞. On observe que :

(a)

$$V_o = \frac{V_s}{R_1}(R_1 + R_2)$$

$$A_f\big|_{\text{ideal}} = \frac{V_o}{V_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\beta = 1/\,A_f\big|_{\text{ideal}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

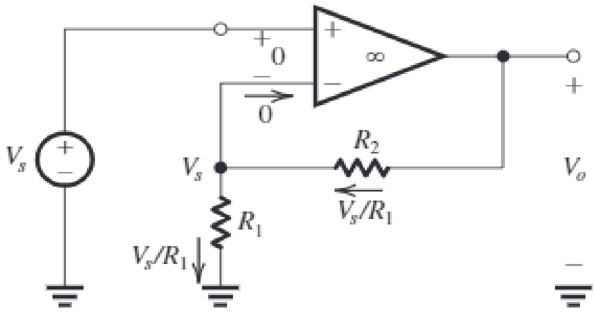

Figure 1

(b)

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$$10 = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$$\Rightarrow \beta = 0.1 - \frac{1}{A} \qquad (1)$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{10}{10 + R_2}$$

$$\Rightarrow R_2 = 10\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \qquad (2)$$

De eqs. (1) et (2) → β et R_2 nécessaires pour les cas suivantes :

(i)

$A = 1000$ V/V,

$\beta = 0.1 - 0.001 = 0.099$ V/V

$R_2 = 10\left(\frac{1}{0.099} - 1\right) = 91$ kΩ

(ii)

$A = 100$ V/V

$\beta = 0.1 - 0.01 = 0.09$ V/V

$R_2 = 101.1$ kΩ

(iii)

$A = 20$ V/V

$\beta = 0.1 - 0.05 = 0.05$

$R_2 = 190$ kΩ

(c)

(i)

$A = 0.9 \times 1000 = 900 \text{ V/V}$

$$A_f = \frac{900}{1 + 900 \times 0.099} = 9.99 \text{ V/V}$$

→ A_f change par -0.11%

(ii)

$A = 0.9 \times 100 = 90 \text{ V/V}$

$$A_f = \frac{90}{1 + 90 \times 0.09} = 9.89 \text{ V/V}$$

→ A_f change par -1.1%

(iii)

$A = 0.9 \times 20 = 18 \text{ V/V}$

$$A_f = \frac{18}{1 + 18 \times 0.05} = 9.47 \text{ V/V}$$

→ A_f change par -5.3%

Nous en concluons qu'à mesure que A diminue — et donc que le taux de réaction (1+Aβ) est plus faible — la **désensibilisation** de l'amplificateur à rétroaction aux variations de A diminue. Autrement dit, **la réaction négative devient moins efficace lorsque (1+Aβ) diminue.**

Exercice 2

$$A_f\big|_{\text{ideal}} = 10$$

$$\beta = \frac{1}{A_f\big|_{\text{ideal}}} = 0.1$$

$$20 \log(1 + A\beta) = 40 \text{ dB}$$

$$\Rightarrow 1 + A\beta = 100$$

$$\Rightarrow A = 990$$

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{990}{1 + 990 \times 0.1}$$

$$= 9.9$$

Exercice 3

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$$100 = \frac{A}{1 + A\beta} \qquad (1)$$

$$99 = \frac{0.1A}{1 + 0.1A\beta} \qquad (2)$$

En divisant eq. (1) par (2) on obtient :

$$1.01 = \frac{10(1+0.1A\beta)}{1+A\beta}$$

$$= \frac{10+A\beta}{1+A\beta}$$

$$= 1 + \frac{9}{1+A\beta}$$

$$\Rightarrow \frac{9}{1+A\beta} = 0.01$$

$$1 + A\beta = 900$$

$$A\beta = 899$$

Si on substitue ($1+A\beta$)=900 dans (1) on obtient :

$$A = 100 \times 900 = 90\ 000 \text{ V/V}$$

$$\beta = \frac{899}{90\ 000} = 9.989 \times 10^{-3} \text{ V/V}$$

Si A augment de 10 fois (A=900 000) on obtient :

$$A_f = \frac{900\ 000}{1+8990} = 100.1 \text{ V/V}$$

Si $A \rightarrow \infty$

$$A_f = \frac{A}{1+A\beta}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{A}+\beta} = \frac{1}{\beta}$$

$$= \frac{1}{9.989 \times 10^{-3}} = 100.11 \text{ V/V}$$

Exercice 4

On a démontré (voir slide #29 et celles d'après) que :

- La connexion en parallèle diminue la résistance ;
- La connexion en série augmente la résistance, alors **:**

(a) Parallèle–Série
(b) Série–Série
(c) Parallèle – Parallèle

Exercice 5

(a) Série–Parallèle (style amplificateur de tension, non-inverseur). Réseau de réaction : le diviseur résistif R2–R3, qui renvoie vf = β·V_X à l'entrée inverseuse, avec β = R3 / (R2 + R3).

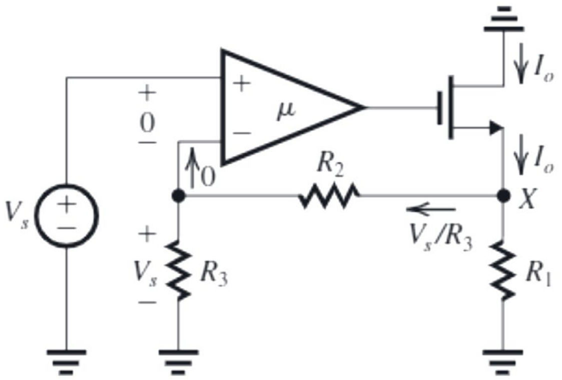

Figure 2

(b) De Fig. 2 avec $\mu \to \infty$

$$V_x = V_s + \frac{V_s}{R_3} \times R_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_s$$

$$I_o = \frac{V_s}{R_3} + \frac{V_x}{R_1} = \frac{V_s}{R_3} + \frac{1}{R_1}\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_s$$

$$\Rightarrow A_f\big|_{\text{ideal}} = \frac{I_o}{V_s} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{R_2}{R_1 R_3}$$

$$100 = \frac{1}{0.1} + \frac{1}{0.1} + \frac{R_2}{0.01}$$

$$\Rightarrow R_2 = 800\ \Omega$$

(c)

$$\beta = 1/\ A_f\big|_{\text{ideal}} = 0.01\ \text{V/mA}$$

(d) La charge à l'entrée et à la sortie de l'ampli en boucle ouverte est due au circuit de réaction β (R2 et R3) et la résistance R1 comme illustré dans Fig. 3.

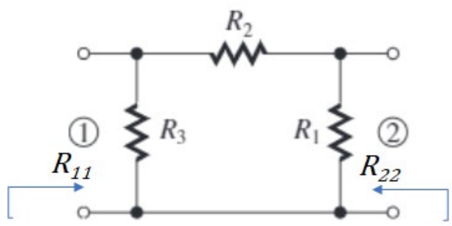

Figure 3

$$R_{11} = R_3 \| (R_2 + R_1) = 100 \| (800 + 100) = 90\ \Omega$$

$$R_{22} = R_1 \| (R_2 + R_3) = 90\ \Omega$$

(e) Figure 4 montre le circuit A

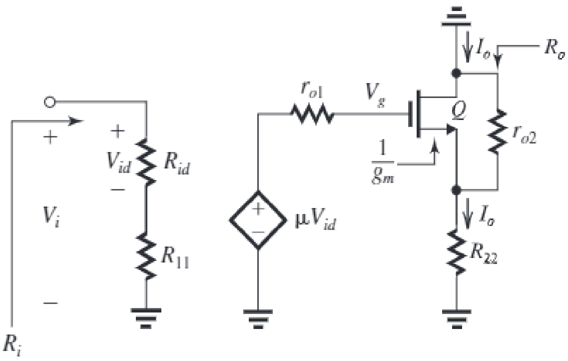

Figure 4

$$V_{id} = V_i \frac{R_{id}}{R_{id} + R_{11}} \qquad (1)$$

$$V_g = \mu V_{id} \qquad (2)$$

$$I_o = \frac{V_g}{\frac{1}{g_m} + (R_{22} \| r_{o2})} \frac{r_{o2}}{r_{o2} + R_{22}} \qquad (3)$$

En combinant eqs. 1-3 on obtient :

$$A \equiv \frac{I_o}{V_i} =$$

$$\mu \frac{R_{id}}{R_{id} + R_{11}} \frac{1}{\frac{1}{g_{m2}} + (R_{22} \| r_{o2})} \frac{r_{o2}}{r_{o2} + R_{22}}$$

$$= \mu \frac{100}{100 + 0.09} \frac{1}{0.5 + (0.09 \| 20)} \frac{20}{20 + 0.09}$$

$$= 1.687\mu\ \text{mA/V}$$

(f)
$$1 + A\beta = 100$$
$$A\beta = 99$$
$$\Rightarrow A = 9900 \text{ mA/V}$$
$$1.687\mu = 9900$$
$$\Rightarrow \mu = 5868 \text{ V/V}$$

(g)

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{9900}{100} = 99 \text{ mA/V}$$

On observe que c'est 1% sous la valeur idéale.

(h) On déduit de la figure 4 :

$$R_i = R_{id} + R_{11} = 100 + 0.09 = 100.09 \text{ k}\Omega$$
$$R_o = r_{o2} + R_{22} + g_m r_{o2} R_{22}$$
$$= 20 + 0.09 + 2 \times 20 \times 0.09 = 23.69 \text{ k}\Omega$$
$$R_{\text{in}} = R_{if} = (1 + A\beta) R_i = 100 \times 100.09 \simeq 10 \text{ M}\Omega$$
$$R_{\text{out}} = R_{of} = (1 + A\beta) R_o = 100 \times 23.69 =$$
$$2.37 \text{ M}\Omega$$

Exercice 6

a) La tension de sortie est échantillonnée et renvoyée via R_f vers le nœud sommateur inverseur, où elle se mélange en parallèle avec le courant issu de Rs. Il s'agit d'une réaction **Parallèle– Parallèle** (échantillonnage de tension, mélange or soustraction de courant).

b) Avec un ampli op idéal (masse virtuelle au nœud inverseur) : $V_x/V_b = -R_f/R_s(P)$. Avec le modèle donné : $V_x(P) = -V_b \cdot R_f / (R_0 - k \cdot P)$.

c) Modèle : $V_x = A(V_+ - V_-) = -A \cdot V_-$ (puisque $V_+ = 0$). KCL au nœud sommateur : $(V_b - V_-)/R_s + (V_x - V_-)/R_f = 0$. Avec $V_x = -A V_-$ on obtient :

$V_x/V_B = -(A \cdot R_f) / (R_f + (A + 1) \cdot R_s)$.

La limite $A \to \infty$ redonne $-R_f/R_s$. Exemple pour P = 0 (Rs = 20 kΩ) : gain ≈ −4,9997 contre −50000 (idéal) — erreur relative ≈ 6×10^{-5}.

d) P = 0 kPa → Rs = 20 kΩ → Af = −5 → Vx = −2,5 V
P = 50 kPa → Rs = 15 kΩ → Af = −6,6667 → Vx = −3,3333 V
P = 90 kPa → Rs = 11 kΩ → Af = −9,0909 → Vx = −4,5455 V

Toutes les valeurs sont dans ±5 V ; saturation proche de P ≈ 100 kPa où Vx ≈ −5 V.

e) Utiliser un étage non-inverseur (séries–parallèle) mesurant une tension qui croît avec la pression (adapter l'excitation).
Ou conserver le 'front-end' et ajouter un second étage inverseur de gain −1.