

# Solutions : Exercices Réaction Négative (1ère séance)

## Exercice1

- a) parallèle-parallèle
- b) parallèle-série
- c) parallèle-parallèle
- d) série-série
- e) série-parallèle
- f) parallèle-série
- g) série-série
- h) série-parallèle

### Explications:

(a)

- **Élément de réaction** :  $R_f$ .
- **Chemin** : Du nœud de sortie  $v_o$  vers le nœud d'entrée où est appliquée la source  $I_s$ .
- **Topologie (type de connexion)** : Parallèle–Parallèle
- **Explication** :  $R_f$  relie  $v_o$  au nœud d'entrée où la source de courant  $I_s$  est appliquée. Le courant de retour se somme en parallèle avec le courant de la source. À la sortie,  $R_f$  est en parallèle (relie directement) sur le nœud de sortie, donc il échantillonne la tension.
- **Type réalisé** : Transrésistance (courant  $\rightarrow$  tension).

(b)

- **Élément(s) de réaction** :  $R_e$  (*résistance de détection* de courant en série à la sortie) et  $R_f$  (*chemin de retour de la tension* de mesure  $v_e$  vers le nœud de sommation d'entrée). Presque tout le courant de sortie  $i_o$  traverse  $R_e$ , qui crée une tension de mesure  $v_e \approx i_e \cdot R_e$ . **A noter que l'ensemble de ces deux résistances réalisent finalement la tâche de réaction, même si seule  $R_f$  relie la sortie à l'entrée. Le circuit de réaction  $\beta$  est donc composé de  $R_f$  et  $R_e$ .**
- **Chemin** : Le courant de sortie traverse  $R_e$  et crée une tension envoyée via  $R_f$  vers le nœud d'entrée (après  $R_s$ ). En résumé,  $R_e$  convertit un courant de sortie en tension, et  $R_f$  transforme cette tension en un courant de retour injecté au nœud d'entrée.
- **Topologie** : Parallèle–Série.
- **Explication** : Le retour revient au même nœud d'entrée (après  $R_s$ ) : mélange en parallèle. Le signal de retour est prélevé dans le chemin d'émetteur de Q2 (**via  $R_e$** ), en série avec le courant de sortie  $i_o$  : échantillonnage en série (mesure de courant).
- **Type réalisé** : Amplificateur de courant

(c)

**Élément de réaction** :  $R_f$ .

**Topologie** : Parallèle–Parallèle (rétroaction collecteur-base).

**Explication** :  $R_f$  connecte le nœud de sortie (collecteur) au nœud d'entrée (base). À l'entrée, le courant de retour se mélange en parallèle ; à la sortie,  $R_f$  est en parallèle sur la sortie : échantillonnage de tension.

**Type réalisé** : Amplificateur de tension

(d)

**Élément(s) de rétroaction** :  $R_f$  et la connexion du point commun  $R_L$  et  $R_f$  vers l'entrée de  $Q_1$

**Topologie** : Série–Série.

**Explication** : La tension de retour  $v_f$  (sur  $R_f$ ) est appliquée à la source de  $Q_1$  ; l'entrée du composant est  $v_{gs} = v_i - v_f$  : mélange en série. Côté sortie,  $R_L$  et  $R_f$  sont dans le chemin du courant  $i_o$ : échantillonnage en série (mesure de courant).

**Type réalisé** : Transconductance (tension  $\rightarrow$  courant).

(e)

**Élément(s) de rétroaction** : Le pont diviseur  $R_2, R_1$ .

**Topologie** : Série–Parallèle (amplificateur de tension classique).

**Explication** : Le pont ( $R_1, R_2$ ) échantillonne la tension de sortie (en parallèle). Son point milieu est renvoyé à la source du transistor, de sorte que  $v_{gs} = v_i - v_f$  : mélange en série.

**Type réalisé** : Amplificateur de tension

(f)

**Éléments de réaction** :  $R_M$  — résistance de **détection** de courant en série (capteur). Le courant de sortie  $i_o$  y crée une tension de mesure  $v_s \approx i_o \cdot R_M$ .  $R_F$  — résistance de **retour**. Elle achemine le courant de rétroaction  $I_f$  depuis le nœud de mesure (jonction  $R_L$ – $R_M$ ) vers le nœud d'entrée (où  $I_s$  est injecté). Comme pour l'exemple (b), c'est **l'ensemble de ces deux résistances réalisent la tâche de réaction**.

**Topologie** : Parallèle–Série.

**Explication** : L'entrée est une source de courant  $I_s$  ; le courant de retour via  $R_f$  revient sur le même nœud d'entrée : mélange en parallèle (faible  $R_{in}$ ). À la sortie,  $R_M$  est en série avec la charge et produit une tension proportionnelle à  $i_o$  renvoyée par  $R_f$  : échantillonnage en série de courant.

**Type réalisé** : Amplificateur de courant

(g)

**Élément de réaction** :  $R_f$ .

**Topologie** : Série–Série.

**Explication** : L'ampli-op forme l'erreur  $v_i = v_s - v_f$  (retour en série à l'entrée).  $R_f$  est en série avec le chemin de charge ( $i_o$  traverse  $R_L$  puis  $R_f$ ) : échantillonnage de courant en série.

**Type réalisé** : Transconductance.

(h)

**Élément(s) de rétroaction** : Le pont diviseur  $R_2, R_1$ .

**Topologie** : Série–Parallèle.

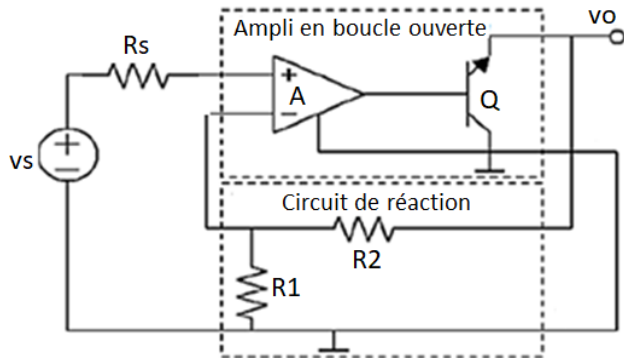
**Explication** :  $R_2$  renvoie une fraction de la tension de sortie vers la source du transistor (avec  $R_1$  à la masse), donc  $v_{gs} = v_i - v_f$  : mélange en série ; le réseau de retour est en parallèle sur la sortie : échantillonnage de tension.

**Type réalisé** : Amplificateur de tension.

## Exercice 2

### a) Calcul de $A'_F$

On identifie une connexion Série – Parallèle (amplificateur de tension).



Pour déterminer  $A'_F$  on doit considérer le quadripôle modifié  $A'$ , et calculer le gain en boucle ouverte de  $A'$  :

$$A'_F = \frac{A'}{1 + A' \cdot \beta}$$

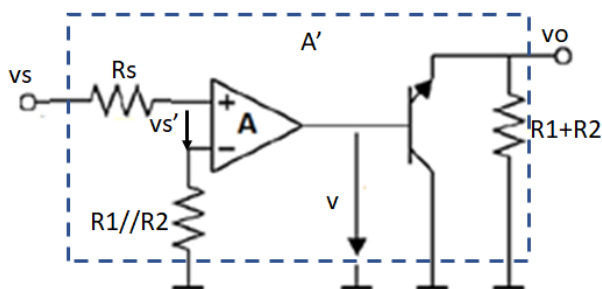
On calcule le gain du circuit de réaction

$$\beta = \frac{v_{out\beta}}{v_{in\beta}} = \frac{v_{out\beta}}{v_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0.12$$

On calcule les résistances d'entrée et sortie du circuit de réaction :

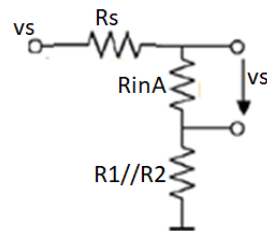
$$R_{in\beta} = R_1 + R_2 \quad R_{out\beta} = R_1 // R_2$$

On calcule le gain de l'ampli en boucle ouverte,  $A'$



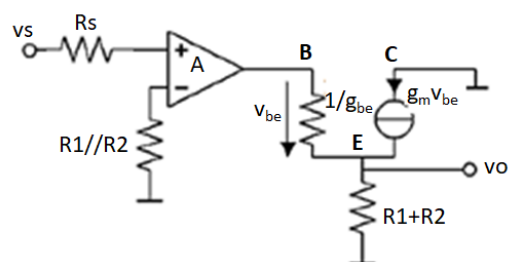
$$A_0 = A_1 A_2 A_3, \text{ avec } A_1 = \frac{v'_s}{v_s}, A_2 = \frac{v}{v'_s}, A_3 = \frac{v_o}{v}$$

$$\text{Calcul de } A_1 : A_1 = \frac{v'_s}{v_s} = \frac{R_{inA}}{R_s + R_{inA} + R_1 // R_2} = 0.977$$



$$\text{Calcul de } A_2 : A_2 = \frac{v}{v'_s} = A \text{ (gain de l'ampli op)} ; A_2 \text{ (dB)} = 20 \log(A_2) \Rightarrow A_2 = 10^{\frac{A_2 \text{ (dB)}}{20}} = 316.2$$

$$\text{Calcul de } A_3 : A_3 = \frac{v_o}{v} = \frac{(1 + \beta_{Q1})(R_1 + R_2)}{\frac{1}{g_{be}} + (1 + \beta_{Q1})(R_1 + R_2)} = 0.986$$



$$A' = A_1 A_2 A_3 = 0.977 * 316.2 * 0.986 = 304.6$$

$$A'_F = \frac{A'}{1 + A' \cdot \beta} = \frac{304.6}{1 + 304.6 * 0.12} = 8.11$$

**b) Calcul de  $R_{inF}$**

$$R'_{in} = R_s + R_{inA} + R_1 \parallel R_2 \Rightarrow R'_{in} = 40.93 \text{ k}\Omega$$

$$R'_{inF} = R'_{in}(1 + \beta \cdot A') \Rightarrow R'_{inF} = 1.53 \text{ M}\Omega \Rightarrow R_{inF} = R'_{inF} - R_s \approx R'_{inF}$$

**c) Calcul de  $R_{outF}$**

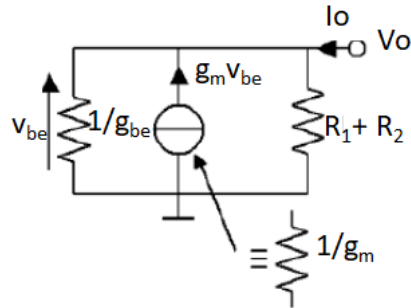
$$v_s = 0 \Rightarrow v'_s = 0 \Rightarrow v = 0$$

$$R'_{out} = \frac{1}{g_{be}} \parallel \frac{1}{g_m} \parallel (R_1 + R_2)$$

$$R'_{out} = \frac{1}{g_{be} + g_m + \frac{1}{R_1 + R_2}}$$

$$R'_{out} = 123.2 \Omega$$

$$R'_{outF} = \frac{R'_{out}}{1 + \beta \cdot A'} \Rightarrow R'_{outF} = 3.28 \Omega$$



Dans ce montage, la source de courant dépendante délivre un courant proportionnel à la même tension appliquée à ses bornes. Si  $i = g_m v$  et que la tension  $v$  est bien la tension entre ses propres deux bornes, alors l'élément obéit à la loi d'Ohm avec une conductance  $g_m$  (c.-à-d. une résistance  $R = 1/g_m$ ).