

La contre réaction

7.1 Introduction

Par contre réaction, on entend une réinjection de signal en opposition de phase avec le signal d'entrée original.

La contre réaction a pour avantage la stabilisation du gain, l'amélioration des impédances d'entrée et de sortie, la diminution de la distorsion non linéaire des amplificateurs et l'élargissement de leurs bandes passantes.

7.2 Montage amplificateur avec réaction

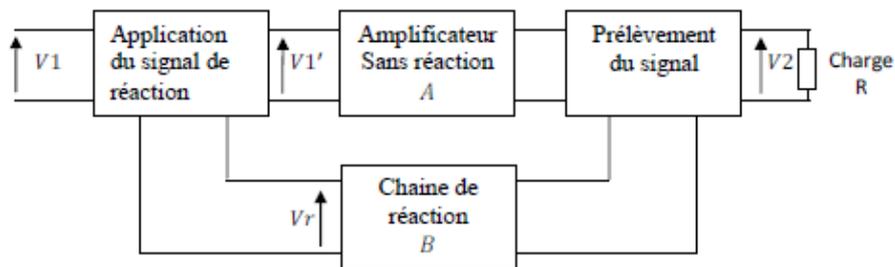


Figure 7.1

Dans un amplificateur avec réaction, nous distinguons :

- Une chaîne directe de gain A

Elle correspond à l'amplificateur sans réaction

Eventuellement un dispositif permettant de prélever une tension ou un courant proportionnel au signal de sortie.

- Une chaîne de réaction de gain B

Pour atténuer ou/et déphaser le signal de sortie du montage
Eventuellement un dispositif appliqué à l'entrée de l'amplificateur, elle fournit le signal de réaction V_r .

7.2.1 Réaction série- réaction parallèle

La sortie de la chaîne de réaction peut être disposée :

- a) En serie dans le circuit d'entrée (réaction série).

La tension V_r s'ajoute alors algébriquement à la tension d'entrée V_1 du montage, *figure 7.2a*

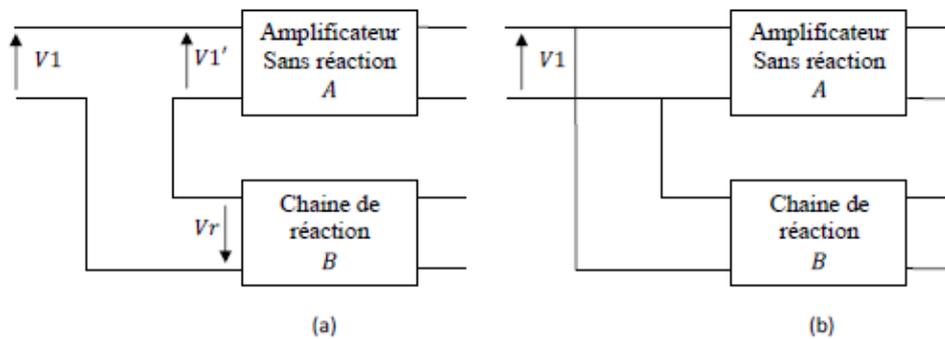


Figure 7.2

- b) En parallèle avec le circuit d'entrée (réaction parallèle)

Dans ce cas, il n'y a réellement réaction que si le générateur qui fournit la tension d'entrée V_1 présente une résistance interne non nulle, *figure 7.2b*.

7.2.2 Réaction de tension-réaction de courant

Le signal d'entrée de la chaîne de réaction peut être :

- a) La tension de sortie V_2 du montage (réaction de tension).

La chaîne de retour (de réaction) est alors directement branchée en parallèle avec la résistance R , *figure 7.3a*.

- b) Une tension proportionnelle au courant de sortie i_2 (réaction de courant).

Une résistance r est placée en série avec la charge R et c'est la tension $r i_2$ qui est appliquée à l'entrée de la chaîne de réaction (de retour), *figure 7.3b*.

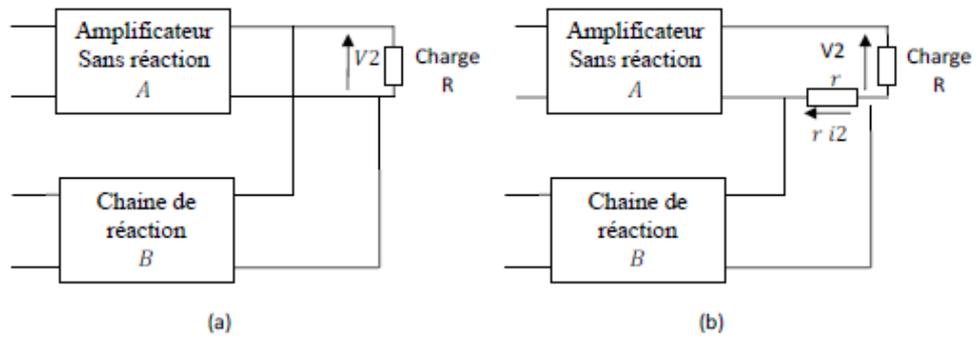


Figure 7.3

7.3 Les quatre montages fondamentaux des circuits à réaction

Des figures 7.2 et 7.3, on déduit les 4 montages suivants, figure 7.4 :

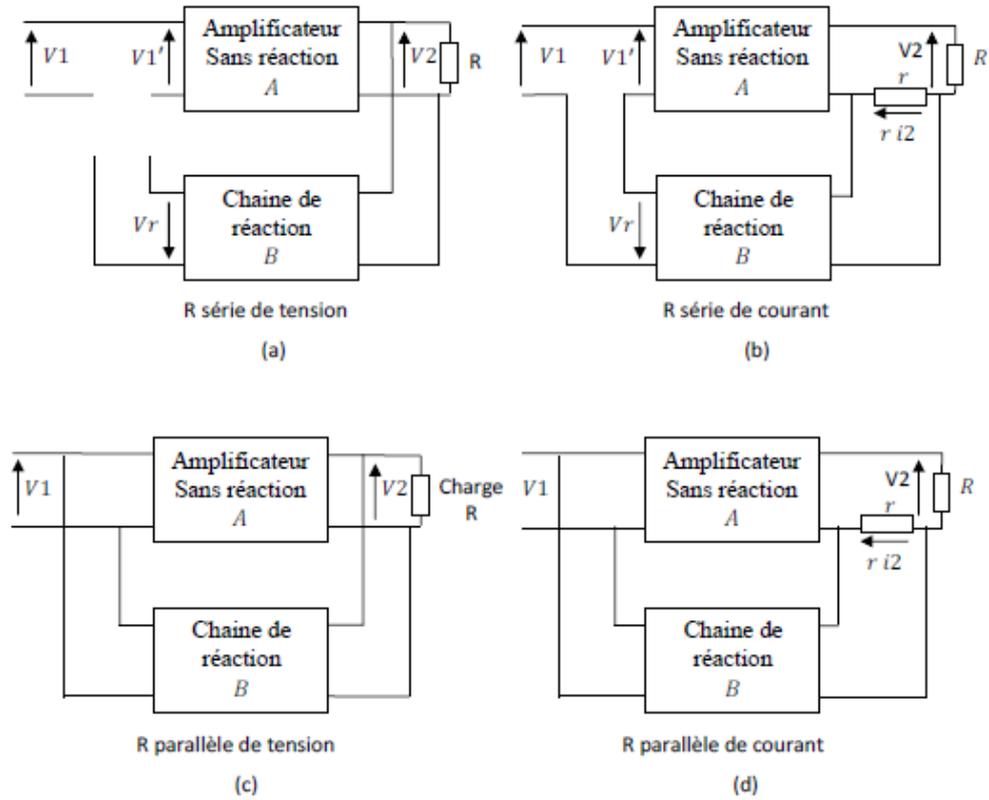


Figure 7.4

7.4 La réaction série de tension ou série parallèle

On veut calculer l'amplification en tension de la boucle fermée $A' = \frac{V_2}{V_1}$, figure 7.4a.

Soit

$$A = \frac{V_2}{V_1'} \quad (7.1)$$

Le gain en tension de la chaîne directe et

$$B = \frac{V_r}{V_2} \quad (7.2)$$

L'amplification de la chaîne de réaction.

On a :

$$V_1 = V_1' - V_r = V_1' - BV_2 = V_1' - ABV_1' = V_1'(1 - AB)$$

Donc on déduit finalement,

$$A' = \frac{V_2}{V_1} = \frac{AV_1'}{V_1'(1-AB)} = \frac{A}{1-AB} \quad (7.3)$$

Les amplifications A, B et A' sont des nombres complexes, d'où :

- Si AB est réelle et inférieure à un, soit $|AB| < 1$, le système est oscillant amorti et la réaction est dite négative ou contre réaction.
- Si AB est réelle est supérieure à un, soit $|AB| > 1$, le système est oscillant instable et tend à la saturation.
- Si $AB = 1$, le système est un oscillateur pur et la réaction est dite positive.
On va voir dans le chapitre 9 les deux dernières conditions avec plus de détails.

7.5 La contre réaction

D'une manière générale un circuit à contre réaction peut être schématisé grâce à un système asservi, figure 7.5.

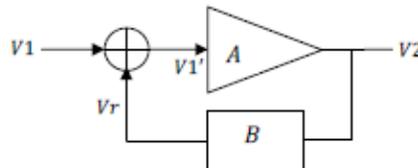


Figure 7.5

Le + est un comparateur, avec :

$$\begin{aligned} V_r &= B V_2 \\ V_2 &= A V_1' \end{aligned}$$

On a à la sortie du comparateur $V1' = V1 + Vr \Rightarrow V1 = V1' - Vr$
 Donc on retrouve le même résultat que l'équation (7.3), $A' = \frac{V2}{V1} = \frac{A}{1-AB}$

7.6 La contre réaction de tension ou série parallèle

7.6.1 Sans la réaction

Un amplificateur sans réaction est assimilable à une impédance d'entrée Z_e sur laquelle est appliquée une tension $V1'$ et en sortie l'impédance d'utilisation Z_L alimentée par un générateur de Thevenin où tension à vide $V20$ et d'impédance interne égale à l'impédance de sortie Z_s de l'amplificateur, figure 7.6a.

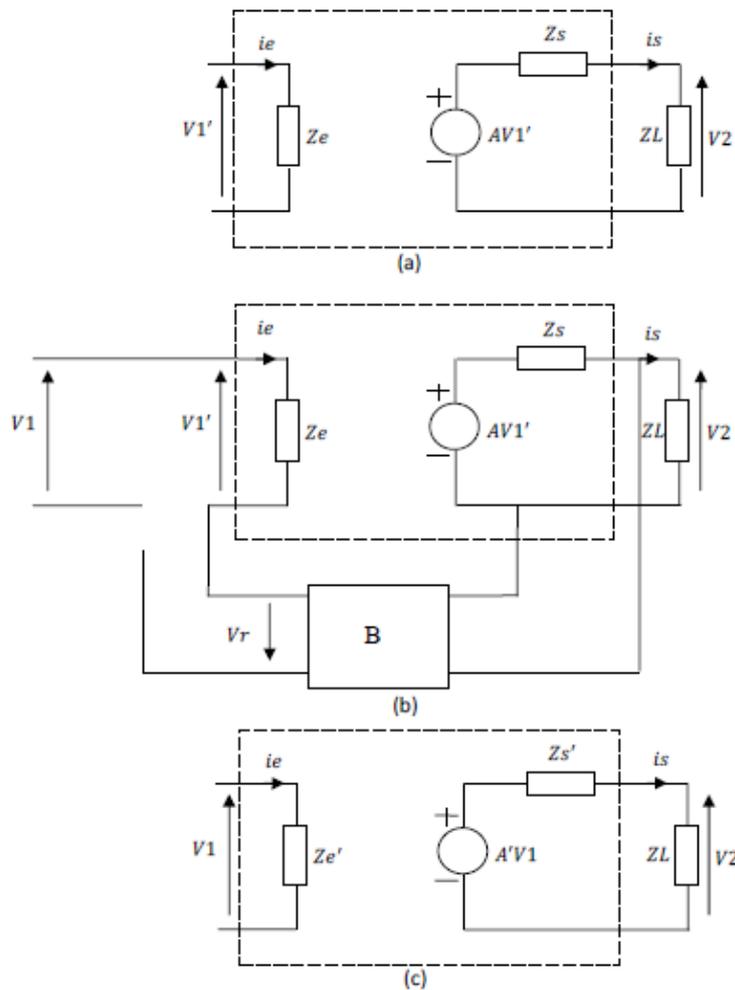


Figure 7.6

$$V2 = AV1' - Zs is \quad (7.4)$$

$$V1' = Ze' ie \quad (7.5)$$

7.6.2 Avec contre réaction

L'amplificateur avec contre réaction est représenté à la figure 7.6b

On veut trouver les nouvelles impédances d'entrée et de sortie Ze' et Zs' du schéma avec réaction, figure 7.6b. Pour cela on trace le schéma équivalent de l'amplificateur avec contre réaction à la figure 7.6c :

On a sur ce dernier schéma

$$V2 = A'V1 - Zs' is \quad (7.6)$$

$$V1 = Ze' ie \quad (7.7)$$

Avec

$$A' = \frac{V2}{V1} = \frac{A}{1-AB}$$

7.6.3 Calcul de l'impédance d'entrée de l'amplificateur avec contre réaction

De l'équation (7.7) (ou de la figure 7.6c) et de la figure 7.6b, on a :

$$\begin{aligned} V1 &= Ze' ie = V1' - Vr = V1' - B V2 = V1' - B(AV1' - Zs is) \\ &\cong V1' - BAV1' = V1'(1 - AB) \text{ car } Zs is \ll AV1' \\ \Rightarrow \frac{V1}{ie} &= \frac{V1'}{ie} (1 - AB) = Ze(1 - AB) = Ze' \end{aligned} \quad (7.8)$$

7.6.4 Calcul de l'impédance de sortie de l'amplificateur avec contre réaction

De l'équation (7.6) (ou de la figure 7.6c) et de la figure 7.6b, on a :

$$V1 = V1' - Vr \Rightarrow V1' = V1 + Vr$$

$$\text{Donc } V2 = AV1' - Zs is = A(V1 + Vr) - Zs is =$$

$$\begin{aligned} &A(V1 + BV2) - Zs is = AV1 + ABV2 - Zs is \\ \Rightarrow V2(1 - AB) &= AV1 - Zs is \Rightarrow V2 = \frac{A}{1 - AB} V1 - \frac{Zs}{1 - AB} is = A'V1 - Zs' is \end{aligned}$$

Par identification on a :

$$Zs' = \frac{Zs}{1-AB} \quad (7.9)$$

Des relations (7.8) et (7.9), on constate que l'impédance d'entrée de l'amplificateur avec contre réaction est multipliée par un facteur $(1 - AB)$ et que son impédance de sortie est divisée par le même facteur et cela par rapport à l'amplificateur sans contre réaction.

7.6.5 Le facteur de sacrifice

On appelle facteur de sacrifice ;

$$S = 1 - AB = \frac{A}{A'} \quad (7.10)$$

Par exemple si $A = 100000$ et $A' = 100 \Rightarrow S = 1000$

Ceci veut dire que le gain en boucle fermée A' est 1000 fois petit que le gain en boucle ouverte A , soit une différence de $60dB$. Par contre la stabilité du gain et les impédances d'entrée et de sortie sont améliorés 1000 fois.

On montre que la largeur de la bande fréquentielle d'un système avec contre réaction est élargie, figure 7.7, tel que :

$$\begin{aligned} \text{Et} \quad f_{1s p} &= \frac{f_1}{1 - AB} \\ f_{2s p} &= f_2(1 - AB) \end{aligned} \quad (7.11)$$

Avec

f_1 fréquence inférieure du spectre

f_2 fréquence supérieure du spectre

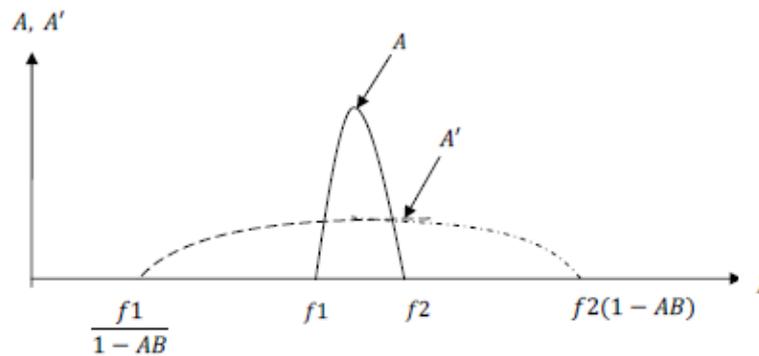


Figure 7.7

7.7 Exercice d'application

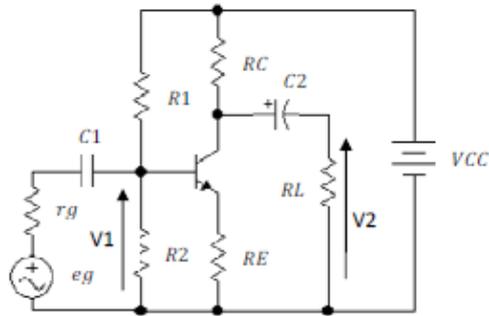


Figure 7.8

- 1) Calculer le gain de la chaîne sans réaction et le gain de la réaction de la figure 7.8, avec $h_{22} = 0$.
- 2) Calculer la résistance d'entrée sans réaction et avec réaction
- 3) Calculer la résistance de sortie sans réaction et avec réaction

Sol :

On constate dans la figure 7.8 que la résistance d'émetteur RE n'est pas découplée, donc la résistance RE fait partie du circuit de la chaîne de réaction B .

Pour faire le calcul, on fait le schéma équivalent en alternatif, figure 7.9a et on fait apparaître les 2 blocs de la chaîne sans réaction et de la chaîne de réaction, figure 7.9b

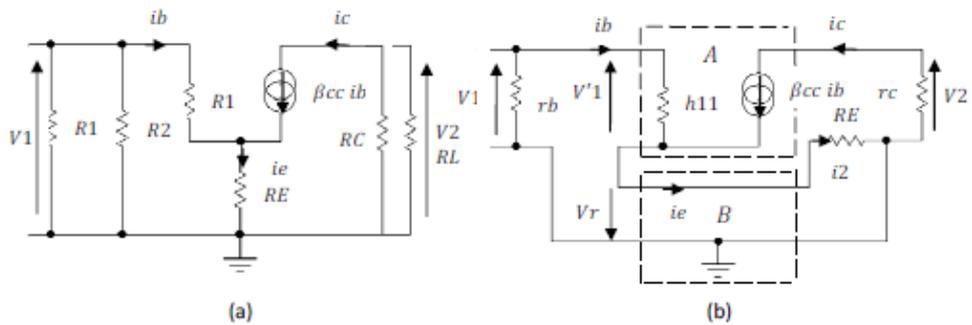


Figure 7.9

On pose $r_b = R1 // R2$ et $r_c = RC // RL$

En comparant la figure 7.9b avec la figure 7.4b, on déduit que le schéma de la figure 7.8 est un montage à réaction série-série ou série de courant.

Calcul de gain du la chaine sans réaction A

$$i_c = \beta i_b$$

$$V_2 = -rc i_c = -rc \beta i_b$$

$$V'_1 = h_{11} i_b$$

$$A = \frac{V_2}{V'_1} = \frac{-rc \beta i_b}{h_{11} i_b} = -\beta \frac{rc}{h_{11}}$$

Calcul du gain de la chaine de réaction B

$$i_e = (\beta + 1) i_b$$

$$i_2 = i_e = (\beta + 1) i_b$$

$$V_r = -RE i_2 = -RE(\beta + 1) i_b$$

Or de V_2 on a $i_b = -\frac{V_2}{\beta rc}$, en remplaçant i_b dans V_r , on obtient :

$$V_r = -RE(\beta + 1) \left(-\frac{V_2}{\beta rc} \right) \Rightarrow B = \frac{V_r}{V_2} = \frac{RE(\beta + 1)}{\beta rc} \cong \frac{RE}{rc}$$

Calcul de la résistance d'entrée Re sans réaction

$$V'_1 = h_{11} i_b \Rightarrow Ze = \frac{V'_1}{i_b} = h_{11}$$

Calcul de $R'e$ avec la réaction

En appliquant l'équation (7.8), on obtient :

$$R'e = Re(1 - AB) = h_{11} \left(1 - \left(-\beta \frac{rc}{h_{11}} \right) \frac{RE(\beta + 1)}{\beta rc} \right) = h_{11} + RE(\beta + 1)$$

Calcul de la résistance de sortie Rs sans la réaction

Pour calculer cette résistance il faut enlever la charge RL et placé à sa place un générateur de tension qui a la même tension, que V_2 et puis annuler l'entrée V'_1 donc i_b sera nul et par suite $i_c = \beta i_b$ sera nul donc il ne sera branché à la sortie V_2 que la résistance RC donc :

$$Rs = RC$$

Calcul de la résistance de sortie $R's$ avec la réaction

En appliquant la relation (7.9), on obtient :

$$R's = \frac{R_s}{1 - AB}$$

En remplaçant R_s, A et B par leurs valeurs on obtient :

$$R's = \frac{RC}{1 - \left(-\beta \frac{rc}{h_{11}}\right) \frac{RE (\beta + 1)}{\beta rc}}$$

Après simplification on obtient :

$$R's = \frac{RC}{1 + \frac{RE (\beta + 1)}{h_{11}}}$$

Donc on constate que R_s a bien diminué.

Remarque :

Pour confirmer tous les résultats précédents refaire le calcul normalement à partir du schéma de la *figure 7.8* et comparer les valeurs trouvées.