

Chapitre IV

Contre réaction (CR)

I. Étude de la réaction

I.1 Introduction

Le principe de la réaction se retrouve dans plusieurs systèmes (électronique, électrotechnique, mécanique, hydraulique, thermodynamique, ...). Lorsqu'un système réagit sur la grandeur d'entrée selon la grandeur de sortie on dit qu'il y a réaction de la sortie sur l'entrée.

En électronique, le terme de réaction désigne la technique de réinjection (réintroduction) d'une partie du signal de sortie à l'entrée.

Dans ce chapitre, on va spécialement, étudier les circuits amplificateurs (circuits amplificateurs de tension et circuits amplificateurs de courant). On dit qu'il y a une réaction dans un amplificateur lorsqu'une fraction de la grandeur de sortie se trouve réinjectée dans le circuit d'entrée.

On distingue deux types de réaction : la réaction négative (contre réaction CR) et la réaction positive

I.2 Principe de la réaction

Un montage à réaction comprend trois parties :

- ✓ Chaîne directe : amplificateur de base
- ✓ Chaîne de réaction : quadripôle passif
- ✓ Compensateur d'entrée : il permet la réinjection d'un terme de réaction dans le circuit d'entrée.

La réinjection peut être :

- ✓ Additive : c'est la réaction positive
- ✓ Soustractive : c'est la réaction négative ou la contre réaction (CR).

X'_e : grandeur d'entrée

X_r : grandeur de sortie de la chaîne de retour

X_s : grandeur de sortie

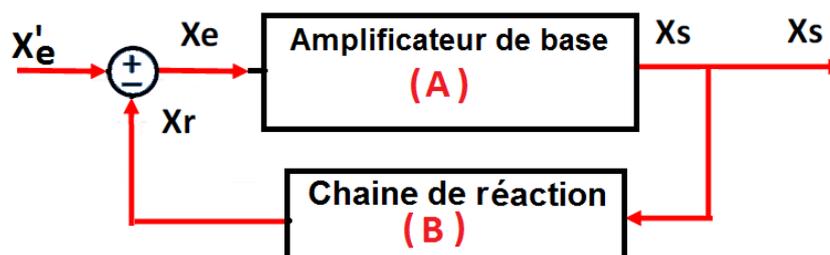


Figure 1. Schéma général d'une boucle de réaction

I.3 Principe de la contre réaction

La contre-réaction appelée aussi réaction négative permet la réinjection soustractive d'un terme de réaction dans le circuit d'entrée. En électronique elle est très utilisée dans le monde des amplificateurs où elle présente d'énormes avantages, comme :

- ✓ La stabilisation du gain des amplificateurs
- ✓ La réduction du bruit électronique

L'application d'une réaction négative ou contre réaction, permet qu'une partie du signal de sortie soit soustraite au signal d'entrée, ce qui favorise toujours une stabilisation du signal de sortie

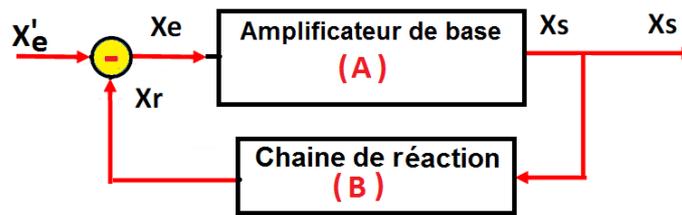


Figure 2. Boucle de réaction négative (contre réaction CR)

Pour une réaction négative, on utilise la réinjection soustractive, donc :

$$X_e = X'e - X_r$$

Avec :

A : fonction de transfert (gain) de la chaîne directe (en boucle ouverte)

B : fonction de transfert de la chaîne de retour

A' : fonction de transfert du circuit en boucle fermée

$$A = \frac{X_s}{X_e} ; B = \frac{X_r}{X_s} ; A' = \frac{X_s}{X'e}$$

$$X_e = X'e - X_r \implies X'e = X_r + X_e = \frac{1}{A} X_s + B X_s \implies A' = \frac{A}{1+AB}$$

On aura une contre réaction ou réaction négative si le gain du montage global (gain en boucle fermée) A' est inférieur au gain de la chaîne directe A (en boucle ouverte) $A' < A$

$$\text{Donc : } (1 + AB) > 1$$

On appelle le produit **AB** le gain de boucle (**réaction négative** $\implies AB > 1$).

II. Différents types de contre réaction

Les paramètres d'entrée et de sortie dans une boucle fermée sont :

- ✓ Le signal d'entrée X_e et le signal de sortie de l'amplificateur X_s
- ✓ Le signal d'entrée X_s et le signal de sortie de la réaction X_r
- ✓ Le signal de sortie de la source $X'e$

Tous ces paramètres d'entrée et de sortie peuvent être indépendamment, soit une tension électrique soit un courant électrique.

Le signal de retour X_r représente une image de la tension électrique ou du courant électrique de la sortie, ce qui donne deux possibilités pour la réinjection du signal X_r au signal d'attaque :

- ✓ Si X_r est une tension, elle sera réinjectée en série avec la tension d'attaque (grandeur d'entrée) : c'est une contre réaction série.
- ✓ Si X_r est un courant, il sera réinjecté en parallèle avec le courant d'attaque (grandeur d'entrée) : c'est une contre réaction parallèle.

De ce fait, et puisque les signaux d'entrée et les signaux de sortie peuvent être soit des courants soit des tensions et par combinaison on aura une classification qui donne quatre (04) montages à CR.

II.1 Classification des montages à contre réaction (CR)

Il existe quatre types de contre réaction :

- 1-Contre réaction tension-tension : (série – parallèle)
- 2-Contre réaction tension-courant : (série - série)
- 3-Contre réaction courant - courant : (parallèle – série)
- 4-Contre réaction courant –tension : (parallèle - parallèle)

A ces quatre circuits correspondent les quatre fonctions de base de l'amplification, à savoir :

- ✓ L'amplificateur de tension
- ✓ L'amplificateur à transconductance
- ✓ L'amplificateur de courant
- ✓ L'amplificateur à transrésistance

II.1.1 Contre réaction tension –tension (série-parallèle)

La grandeur d'entrée est une tension et la grandeur de sortie est une tension (tension –tension). C'est donc une partie de la tension de sortie V_s qui sera prélevée à l'aide d'une connexion parallèle pour être introduite dans le réseau de réaction. La tension d'entrée est combinée à la tension issue du réseau de réaction grâce au choix d'une connexion série du côté source.

A la contre-réaction (tension –tension) correspond la fonction de base de l'amplification de tension

qui effectue le transfert entre une tension d'entrée V_e et une tension de sortie V_s dont le rapport définit le gain de l'amplificateur :

$$A = A_v = \frac{V_s}{V_e}$$

La chaîne de retour:

$$B = \frac{V_r}{V_s}$$

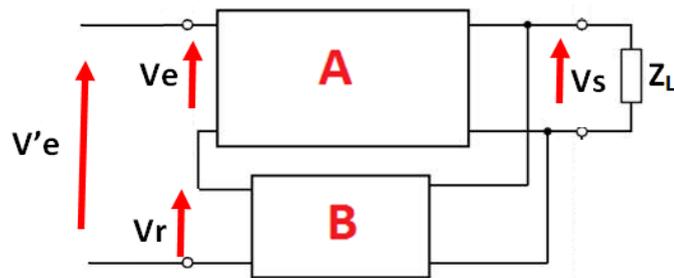


Figure 3. Contre réaction série-parallèle (tension-tension)

II.1.2 Contre réaction courant –courant (parallèle -série)

La grandeur d'entrée est un courant et la grandeur de sortie est un courant (courant-courant). C'est donc une partie du courant de sortie i_s qui sera prélevée à l'aide d'une connexion série pour être introduite dans le réseau de réaction. Le courant d'entrée est combiné au courant issu du réseau de réaction grâce au choix d'une connexion parallèle du côté source.

A la contre-réaction (courant –courant) correspond la fonction de base de l'amplification de courant qui effectue le transfert entre un courant d'entrée i_e et un courant de sortie i_s dont le rapport définit le gain de l'amplificateur :

$$A = A_i = \frac{i_s}{i_e}$$

La chaîne de retour:

$$B = \frac{i_r}{i_s}$$

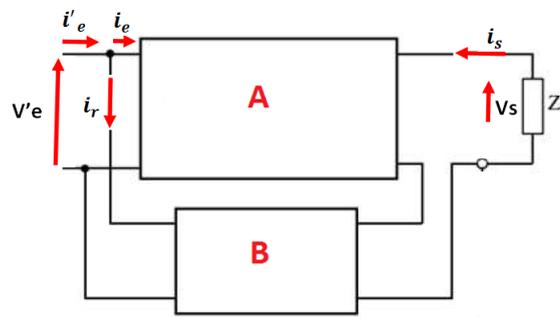


Figure 4. Contre réaction parallèle-série (courant-courant)

II.1.3 Contre réaction tension –courant (série -série)

La grandeur d'entrée est une tension et la grandeur de sortie est un courant. C'est donc une partie du courant de sortie i_s qui sera prélevée à l'aide d'une connexion série pour être introduite dans le réseau de réaction. La tension d'entrée est combinée à la tension issue du réseau de réaction grâce au choix d'une connexion série du côté source.

A la contre-réaction tension –courant (série -série) correspond la fonction de base d'amplificateur à transconductance qui effectue le transfert entre une tension d'entrée V_e et un courant de sortie i_s dont le rapport définit le gain de l'amplificateur ou la transconductance de l'amplificateur :

$$A = G_m = \frac{i_s}{V_e}$$

La chaîne de retour:

$$B = \frac{V_r}{i_s}$$

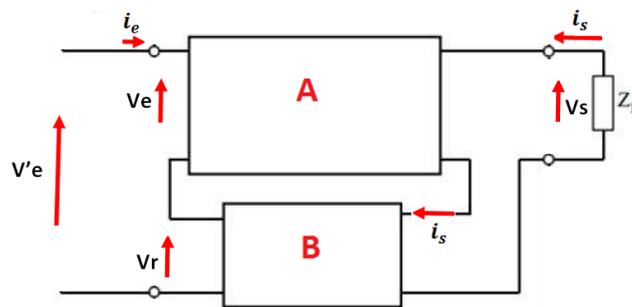


Figure 5. Contre réaction série-série (tension-courant)

II.1.4 Contre réaction courant -tension (parallèle -parallèle)

La grandeur d'entrée est un courant et la grandeur de sortie est une tension. C'est donc une partie de la tension de sortie V_s qui sera prélevée à l'aide d'une connexion parallèle pour être introduite dans le réseau de réaction. Le courant d'entrée i_e est combiné au courant issu du réseau de réaction grâce au choix d'une connexion parallèle du côté source.

A la contre-réaction courant-tension (parallèle- parallèle), correspond la fonction de base d'amplificateur à transrésistance qui effectue le transfert entre un courant d'entrée i_e et une tension de sortie V_s dont le rapport définit le gain ou la transrésistance de l'amplificateur :

$$A = R_m = \frac{V_s}{i_e}$$

La chaîne de retour:

$$B = \frac{i_r}{V_s}$$

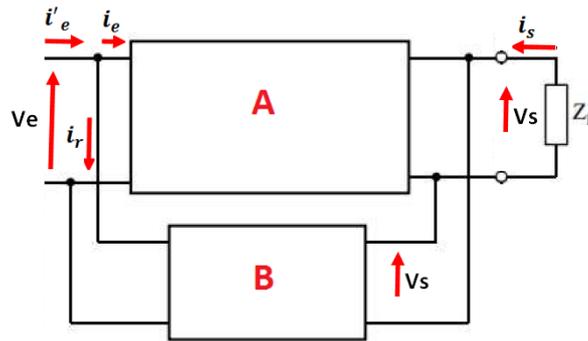


Figure 6. Contre réaction parallèle-parallèle (courant- tension)

III. Influence de la contre réaction sur les impédances d'entrée et de sortie

III.1. Impédance d'entrée

Selon le type ou la topologie de la contre réaction utilisée, on peut trouver deux cas possibles :

- ✓ Si l'entrée est tension (série) :

$$Z'_e = Z_e (1+B A)$$

On remarque que la contre réaction fait augmenter l'impédance d'entrée.

- ✓ Si l'entrée est courant (parallèle) :

$$Z'_e = \frac{Z_e}{(1+B A)}$$

On remarque que la contre réaction fait diminuer l'impédance d'entrée.

III.2. Impédance de sortie

Les mêmes cas se présentent pour l'impédance de sortie. Selon le type ou la topologie de la contre réaction utilisée, on peut trouver:

- ✓ Si l'entrée est tension (série) :

$$Z'_s = \frac{Z_s}{(1+B A)}$$

On remarque que la contre réaction fait diminuer l'impédance de sortie.

- ✓ Si l'entrée est courant (parallèle) :

$$Z'_s = Z_s (1 + B A)$$

La contre réaction fait augmenter l'impédance de sortie

Remarque :

Si on prend l'exemple de la contre réaction en tension série, on peut voir l'impact de la contre réaction sur le montage amplificateur global, où on trouve que la contre réaction augmente l'impédance d'entrée et diminue l'impédance de sortie, ce qui présente un amplificateur de tension parfait.

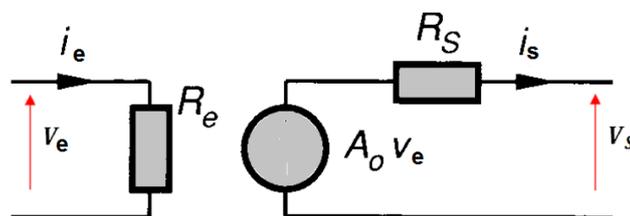
IV. Analyse des amplificateurs à contre réaction

L'analyse consiste en premier lieu à déterminer la topologie de la contre réaction CR :

- ✓ La grandeur détectée en sortie est-elle tension ou courant?
- ✓ La grandeur ramenée en entrée est-elle tension ou courant?

Elle consiste aussi à :

- ✓ Identifier la chaîne directe avec sa résistance d'entrée et son générateur de Thévenin équivalent en sortie (exemple d'un AOP en chaîne directe)



- ✓ Identifier la chaîne de retour.



- ✓ Etablir le schéma de l'amplificateur en boucle ouverte.
- ✓ Déterminer l'amplification en boucle ouverte **A**.
- ✓ Déterminer la fonction de transfert de la chaîne de retour **B**.
- ✓ Déterminer l'amplification en boucle fermée $A' = \frac{A}{1 + AB}$

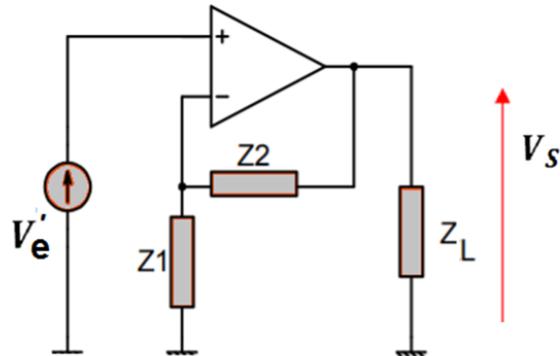
Avec la condition de la contre réaction : $(1 + AB) > 1$

En vertu de la figure 2, l'amplificateur à réinjection négative se compose de deux parties :

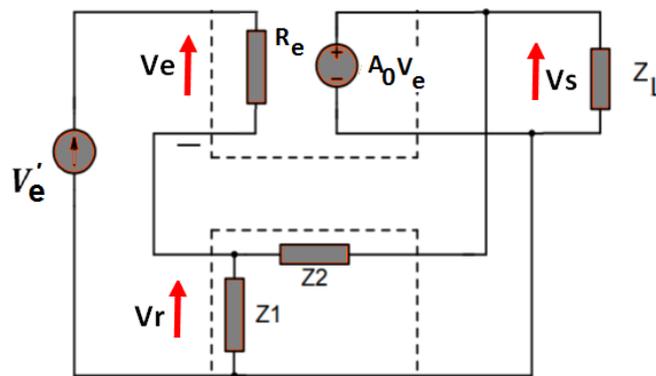
- ✓ Un amplificateur qui peut être un AOP ou un amplificateur à base d'éléments discrets.
- ✓ Un circuit de contre réaction qui représente le circuit de réinjection (quadripôle).

On donne un exemple d'une CR tension série à base d'un AOP.

La grandeur de sortie est une tension



Le schéma équivalent de la boucle fermée



Le taux de contre réaction :

$$B = \frac{V_r}{V_s} = \frac{Z_1}{(Z_1 + Z_2)}$$

Le gain avec contre réaction (boucle fermée) :

$$A' = \frac{A}{1 + AB}$$

Le gain sans contre réaction (chaîne directe) :

$$A = A_v = \frac{V_s}{V_e} = A_0$$

On aura le gain avec contre réaction (boucle fermée) :

$$A' = \frac{A}{1 + AB} = A_0 / \left(1 + A_0 \frac{Z_1}{(Z_1 + Z_2)}\right)$$

L'impédance d'entrée du montage avec CR

$$Z'_e = Z_e (1 + B A_0) \approx \text{infinie}$$

L'impédance de sortie du montage avec CR

$$Z'_s = \frac{Z_s}{(1 + B A_0)} \approx \text{nulle}$$

Bonne lecture

S. MOKHNACHE et N. ZERROUG 2020