UNIVERSITE MOHAMMED V

Faculté des Sciences de Rabat

Amplificateurs à Contre réaction

Chapitre 4

A. MAAOUNI, SMP5 2015-2016 Sections A/B/C

Contre- réaction

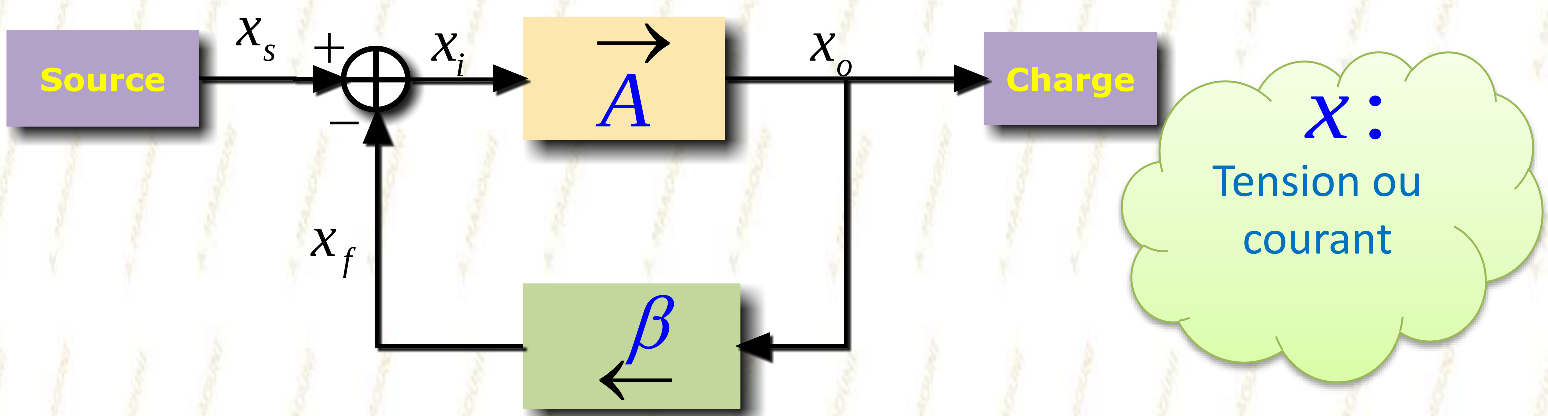
La plupart des systèmes physique incorporent certaines formes de réaction. La réaction peut être négative ou positive. La réaction négative, objet de cette partie du cours, est souvent appelée contre réaction. Elle est utilisée dans le but de garantir pour un amplificateur les propriétés suivantes :

1. Stabilité du gain: rendre la valeur du gain moins sensible aux variations tel que l'effet de la température.
2. Réduire la distorsion non linéaire : rendre la sortie proportionnelle à l'entrée.
3. Réduire l'effet du bruit : rendre minimal la contribution à la sortie de signaux indésirable générés par les composants électroniques eux-mêmes.
4. Contrôle de l'impédance d'entrée et celle de sortie : augmenter ou diminuer ces impédances par un choix approprié des topologies.
5. Augmenter la bande passante

N.B : Tous les avantages énumérés par ces propriétés sont obtenus en dépit d'une réduction du gain.

Structure générale de la réaction

La structure de base d'un amplificateur à réaction est représentée ci dessous



Structure de base d'un Amplificateur à réaction

Conditions

1. Le signal d'entrée est transmis à la sortie par l'ampli ***A*** et non par le réseau de réaction **β (le réseau de réaction est unilatéral)**

2. Le signal de sortie est transmis à l'entrée par **β** et non par l'ampli **A** **(Ampli unilatéral)**

3. Le rapport de transfert **β** est indépendant des résistances source et charge

Gain en boucle fermée (BF)

$$\left.\begin{aligned} x_o &= A x_i \\ x_i &= x_s - x_f \\ x_f &= \beta x_o \end{aligned}\right\} A_f = \frac{A}{1+\beta A}$$

βA est appelé gain de boucle.

$\beta A > 0$ La rétroaction est négative

$\beta A < 0$ La rétroaction est positive

Quelques propriétés de la réaction négative

Dé sensibilité du gain

$$\left.\begin{aligned} &\ln(A_f) = \ln(A) - \ln(1+\beta A) \\ &\frac{dA_f}{A_f} = \frac{dA}{A} - \frac{\beta dA}{1+\beta A} = \frac{dA}{A}\frac{1}{1+\beta A} \end{aligned}\right\} \xrightarrow{\beta A \gg 1} \left|\frac{dA_f}{A_f}\right| \ll \left|\frac{dA}{A}\right|$$

La variation relative du gain en BF est très faible par rapport à celle de gain A.

Élargissement de la Bande passante

La réponse en hautes fréquences de l'amplificateur A, quand elle est approximée par une fonction de transfert à un pôle, est de la forme :

$$A = \frac{A_M}{1 + p/\omega_h}$$

A_M Gain en bande médiane

ω_h Pulsation haute

En boucle fermée, la gain s'écrit :

$$A_f = \frac{A}{1+\beta A} = \frac{A_M/(1+p/\omega_h)}{1+\beta A_M/(1+p/\omega_h)} = \frac{A_M/(1+\beta A_M)}{1+\dfrac{p}{\omega_h(1+\beta A_M)}}$$

La pulsation haute en BF est donc

$$\omega_{hf} = \omega_h(1+\beta A_M) \gg \omega_h$$

En basses fréquences, on peut approximer la réponse de l 'ampli A à celle d'un filtre passe haut sous la forme :

$$A = \frac{A_M}{1 + \omega_b / p}$$

La réponse de l'amplificateur avec rétroaction négative s'écrit donc :

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{\dfrac{A_M}{1 + \omega_b / p}}{1 + \beta \dfrac{A_M}{1 + \omega_b / p}} = \frac{A_M / (1 + \beta A_M)}{1 + \dfrac{\omega_b}{(1 + \beta A_M)} / p}$$

On obtient, pour la fréquence basse de l'ampli en BF une valeur très inférieur à celle de Ampli A

$$\omega_{bf} = \frac{\omega_b}{(1 + \beta A_M)} \ll \omega_b$$

En conclusion la bande passante

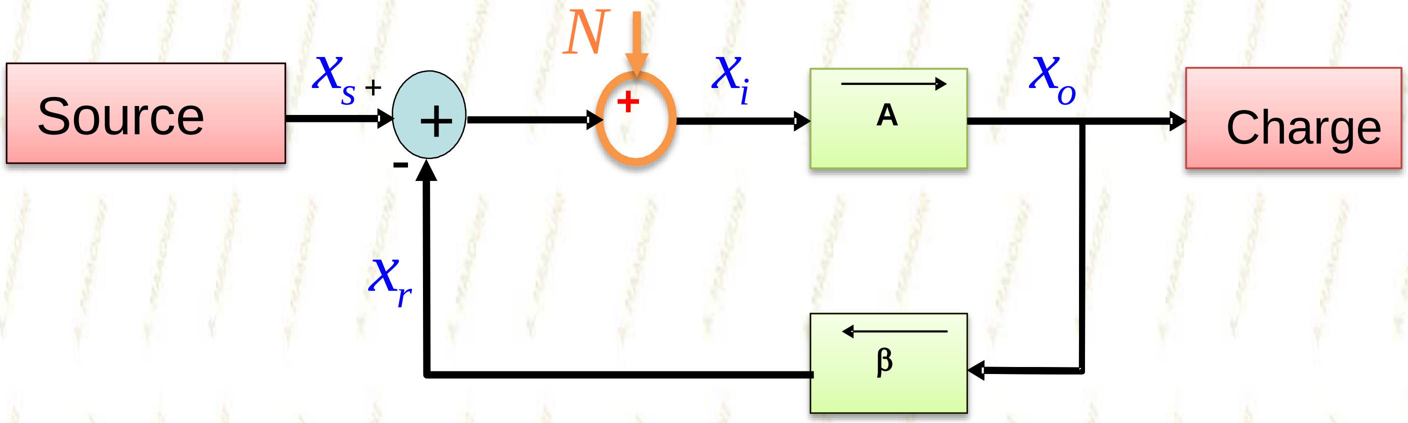
$$\mathbf{BP} = \omega_{Hf} - \omega_{bf}$$

devient plus large

Réduction de bruit

Source de bruit à l'entrée

Considérons un Bruit N additif à l'entrée de l'amplificateur



Par application du théorème de superposition, le signal de sortie peut se mettre sous la forme :

$$x_o = \frac{A}{1+\beta A} x_s + A_N N$$

L'amplification du bruit s'obtient en annulant le signal d'entrée ($x_s = 0$)

$$x_o = A x_i = A(N - x_r) = A(N - \beta x_o)$$

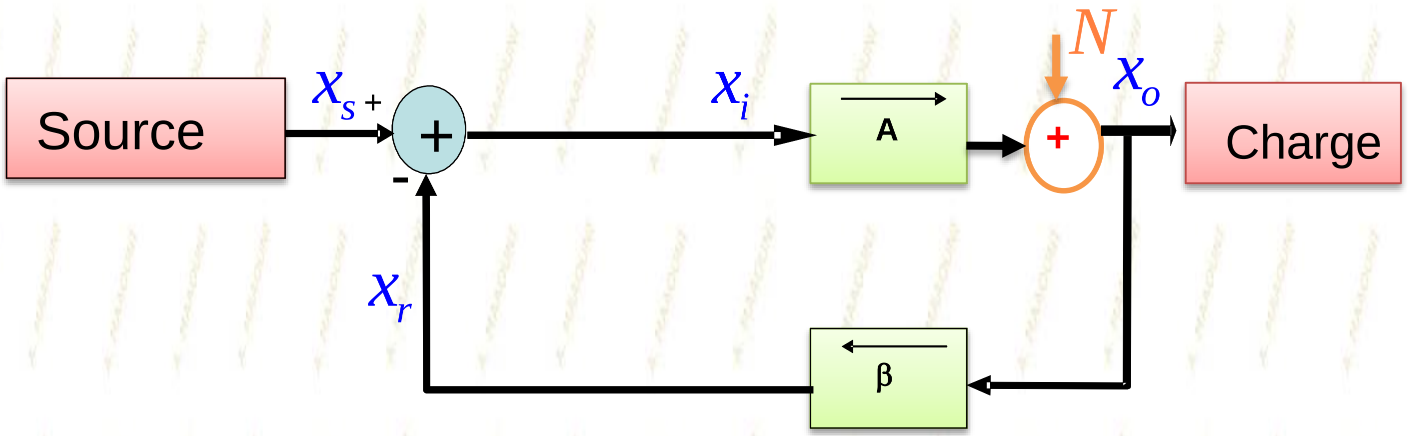
Soit :

$$x_o = \left\{ \frac{A}{1+\beta A} \right\} N \quad A_N$$

On remarque que dans ce cas le rapport signal sur bruit ne peut pas être amélioré puisque le signal d'entrée et le bruit sont amplifiés de la même manière.

Source de bruit à la sortie

Considérons un bruit additif en sortie de l'ampli A :



En appliquant le principe de superposition, il vient que :

$$x_o = \frac{A}{1+\beta A} x_s + \frac{1}{1+\beta A} N$$

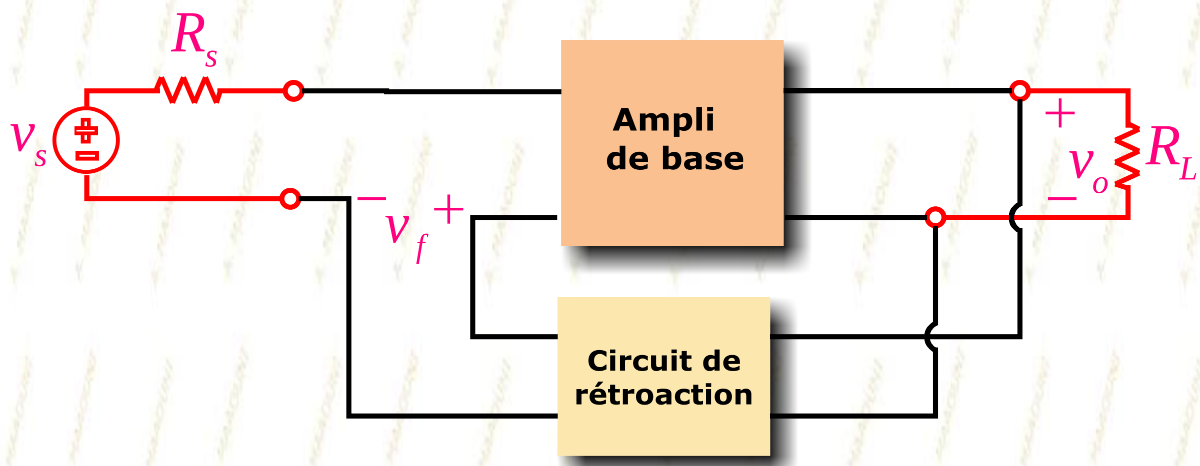
Dans ce cas le rapport signal sur bruit est directement amélioré par le gain A de l'amplificateur car l'amplification du signal x_s est A fois plus grande que celle du bruit N

Remarque

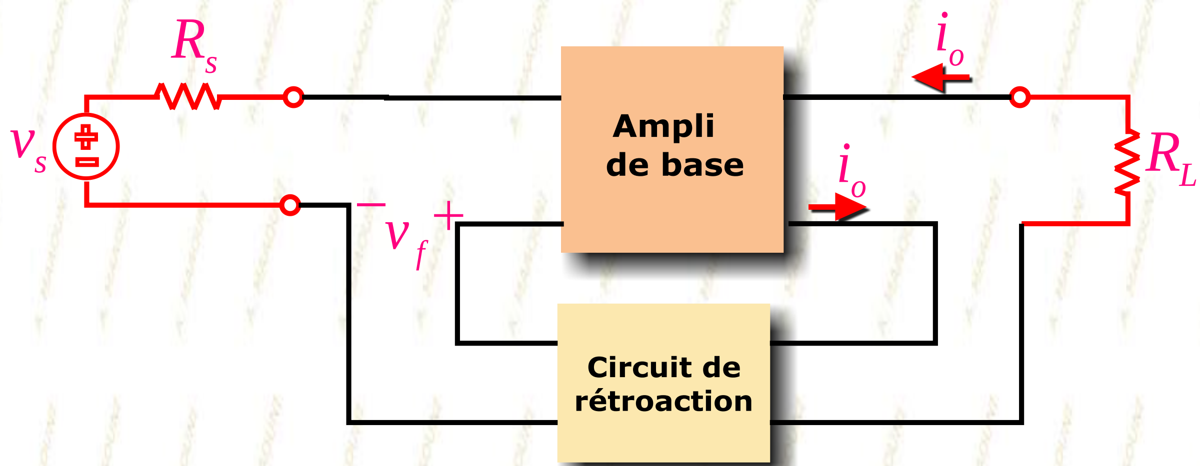
Dans la réalité, le premier cas est le plus fréquent et la contre-réaction ne peut pas, dans ce cas, améliorer le rapport signal sur bruit. Cela oblige donc le concepteur à construire des amplificateurs à faible niveau de bruit.

Topologies de base des amplificateurs à contre-réaction

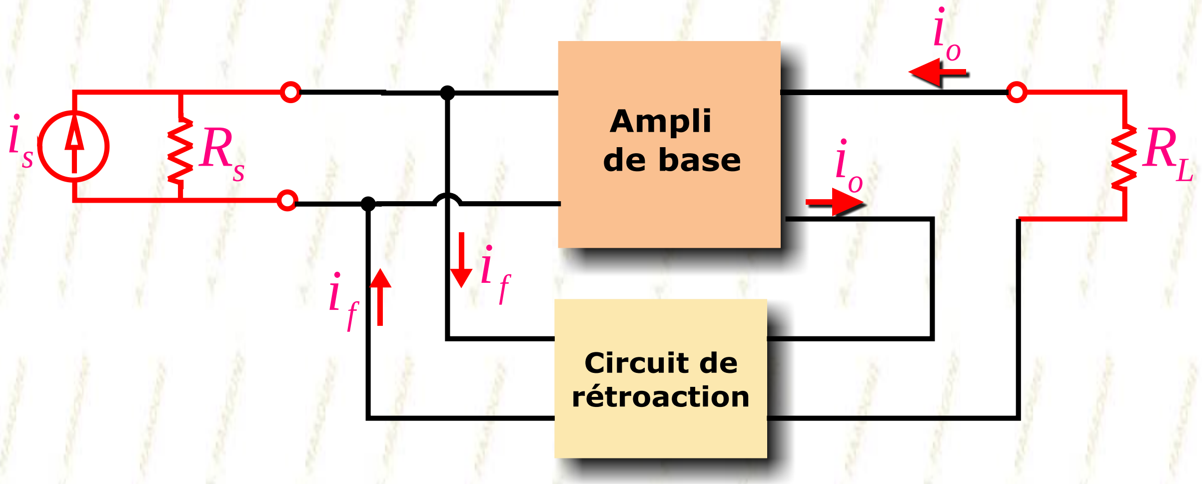
Basé sur la quantité à amplifier (tension ou courant) et sur la sortie souhaité (tension ou courant), on distingue les quatre types de contre-réaction suivants :



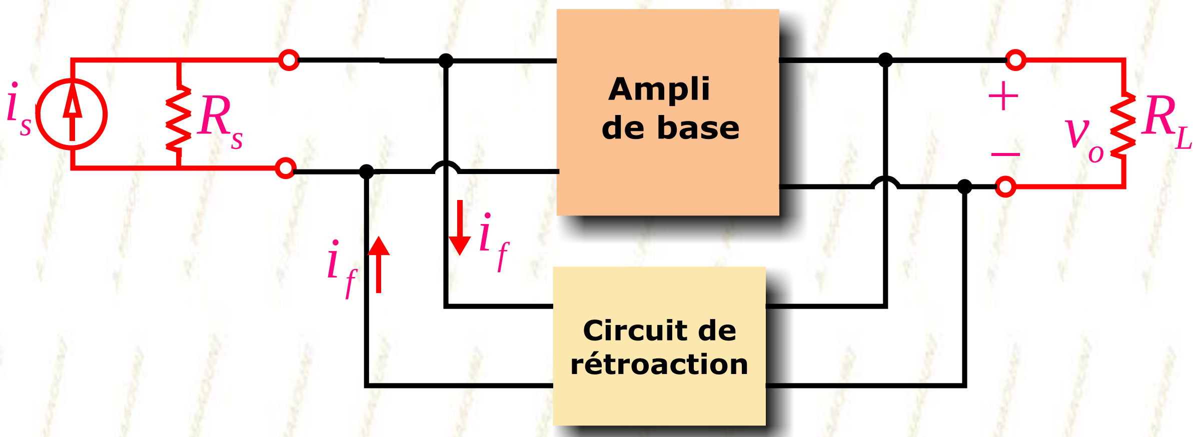
Topologie série-shunt



Topologie série-série



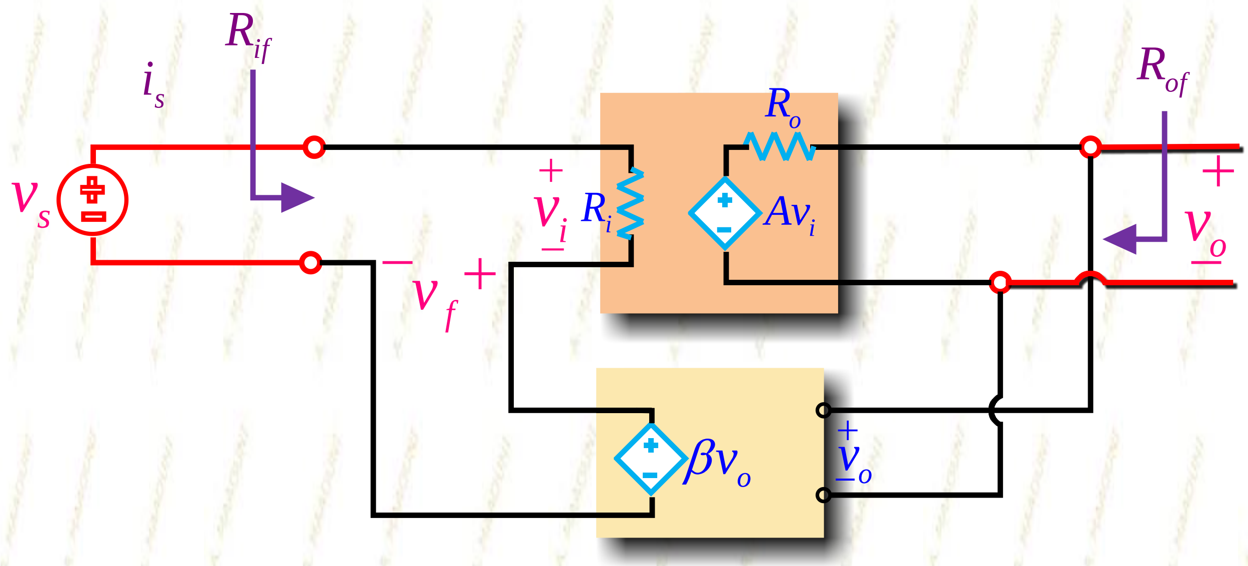
Topologie shunt-série



Topologie shunt-shunt

Configurations idéales/pratiques

Topologie série-shunt idéale



Il s'agit dans cette configuration d'un prélèvement de tension et de réinjection à l'entrée d'une tension. L'amplificateur bouclé est un amplificateur de tension, ici β est sans unité.

Gain en tension en boucle fermée

$$\left.\begin{aligned} v_o = Av_i = A(v_s - v_f) \\ v_f = \beta v_o \end{aligned}\right\} \quad A_f = \frac{v_o}{v_s} = \frac{A}{1+\beta A}$$

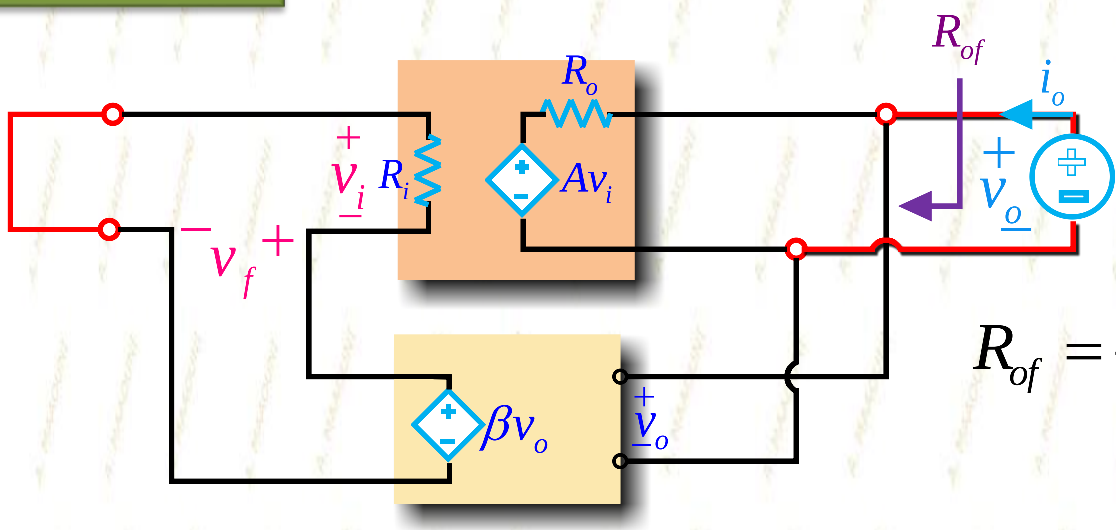
Résistance d'entrée

$$R_{if} = \frac{v_s}{i_s} = \frac{v_i}{i_s} + \frac{v_f}{i_s} = R_i + \frac{\beta v_o}{i_s} = R_i + \beta\frac{Av_i}{i_s}$$

Soit :

$$R_{if} = R_i(1+\beta A)$$

Résistance de sortie



$$R_{of} = \frac{v_o}{i_o}$$

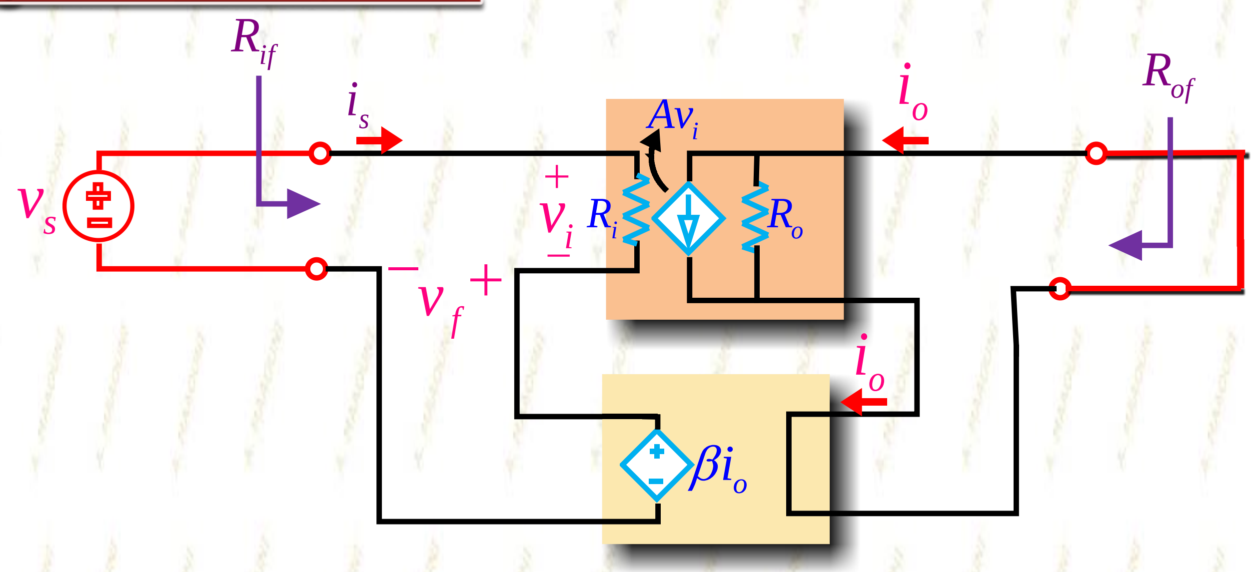
$$R_{of} = \frac{Av_i}{i_o} + R_o = A\frac{-v_f}{i_o} + R_o$$

$$R_{of} = A\frac{-\beta v_o}{i_o} + R_o = -\beta A R_{of} + R_o \rightarrow R_{of} = \frac{R_o}{1+\beta A}$$

La contre réaction série-shunt améliore d'avantage les caractéristiques de l'amplificateur : elle rend l'impédance d'entrée grande et l'impédance de sortie faible

Maaouni

Topologie série-série idéale



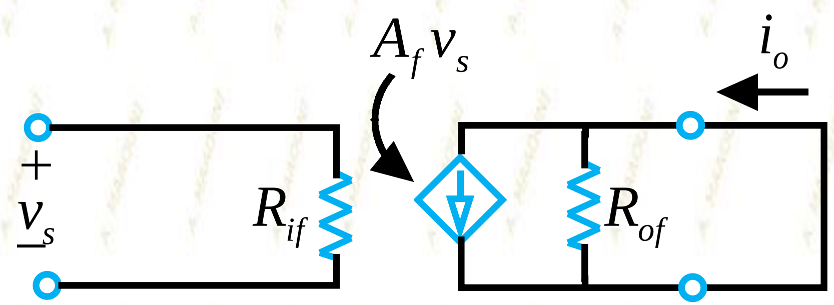
Dans cette configuration, l 'amplificateur A est un amplificateur de Transconductance. On prélève un courant et on réinjecte à l'entrée une tension.

Nature des grandeurs :

$$A = \frac{i_o}{v_i}$$: Conductance

β : impédance

L'amplificateur en BF peut se mettre sous la forme équivalente suivante :



Gain en boucle fermée

$$\left.\begin{array}{r} i_o = Av_i = A(v_s - v_f) \\ v_f = \beta i_o \end{array}\right\} \quad A_f = \frac{i_o}{v_s} = \frac{A}{1+\beta A}$$

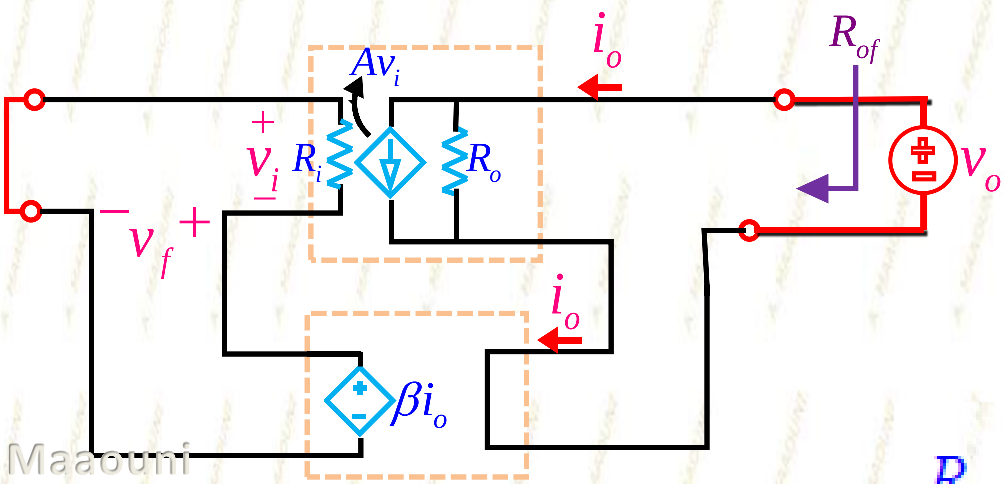
Résistance d'entrée

$$R_{if} = \frac{v_s}{i_s} = \frac{v_i}{i_s} + \frac{v_f}{i_s} = R_i + \frac{\beta i_o}{i_s} = R_i + \beta \frac{Av_i}{i_s}$$

Soit :

$$R_{if} = R_i(1+\beta A)$$

Résistance de sortie



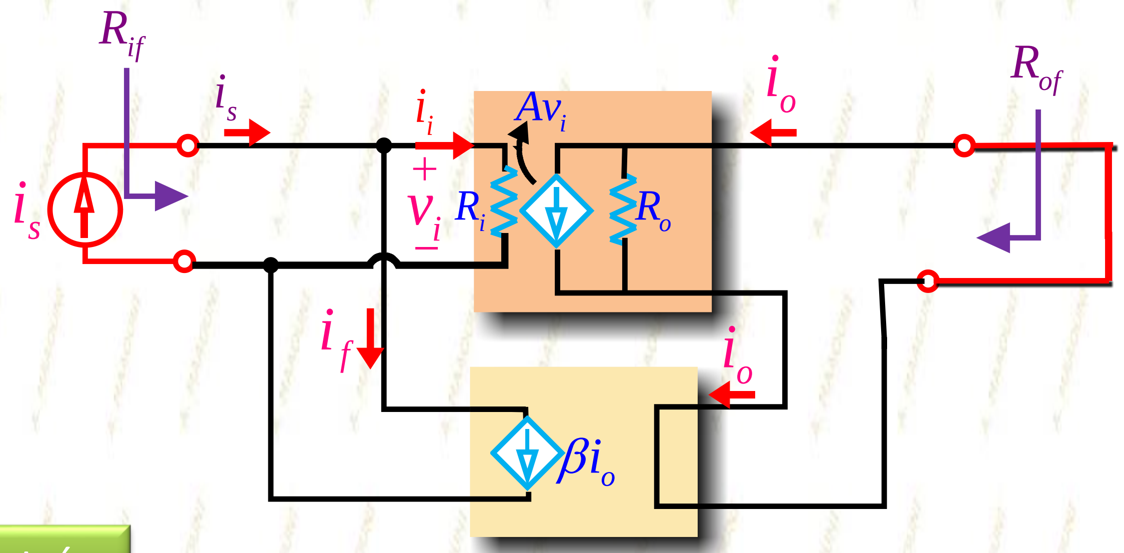
$$R_{of} = \frac{v_o}{i_o}$$

$$i_o = \frac{v_o}{R_o} + Av_i = \frac{v_o}{R_o} - Av_f$$

$$i_o = \frac{v_o}{R_o} - A\beta i_o$$

$$R_{of} = R_o(1+\beta A)$$

Topologie shunt-série idéale



Résistance d'entrée

$$R_{if} = \frac{R_i}{1+\beta A}$$

Résistance de sortie

$$R_{of} = R_o\left(1+\beta A\right)$$

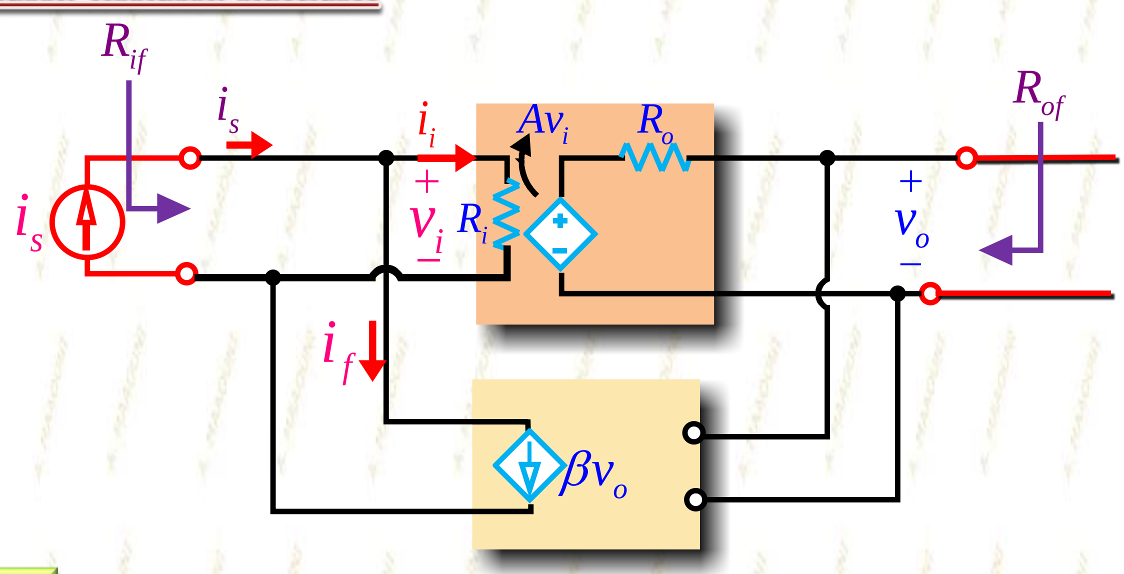
Gain en BF

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

Gain en courant

β: Sans unité

Topologie shunt-shunt idéale



Résistance d'entrée

$$R_{if} = \frac{R_i}{1+\beta A}$$

Résistance de sortie

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+\beta A}$$

Gain en BF

$$A_f = \frac{v_o}{i_s} = \frac{A}{1+\beta A},$$ Gain trans-impédance

β: Une admittance