



Institut  
Mines-Telecom

# Electronique des Systèmes d'acquisition

Chadi Jabbour

Amplification



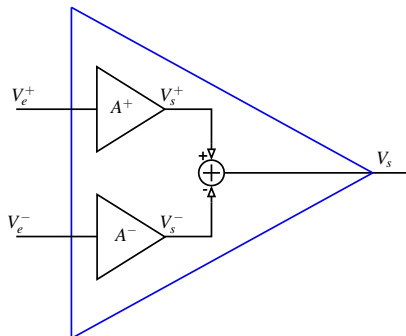
Introduction

Amplificateur différentiel et opérationnel

La contre-réaction

Marge de stabilité

# Amplificateur différentiel



## Amplification différentielle

Dans une amplification différentielle, l'information est codée dans la différence entre 2 signaux ( $V_e^+$  et  $-V_e^-$ ) et non pas dans la valeur absolue d'un signal

# Amplificateur différentiel

La sortie de l'amplificateur est donnée par :

$$V_s = A^+ V_e^+ - A^- V_e^-$$

En posant l'entrée en mode commun  $V_{ec} = \frac{V_e^+ + V_e^-}{2}$  et l'entrée différentielle  $V_{ed} = V_e^+ - V_e^-$ ,  $V_s$  devient :

$$V_s = A_d \cdot V_{ed} + A_c \cdot V_{ec}$$

où  $A_d$  est le gain différentiel et  $A_c$  le gain de mode commun avec

$$A_d = \frac{A^+ + A^-}{2} \quad \text{et} \quad A_c = A^+ - A^-$$

En prenant  $A^+ = A^- = A$ , nous aurons un gain différentiel  $A_d = A$  et un gain de mode commun  $A_c$  nul.

# Amplificateur Différentiel: + and -

## Avantages:

- ▶ Réjection du bruit ambiant
- ▶ Réduction des harmoniques paires
- ▶ Doublement de la dynamique

## Désavantages:

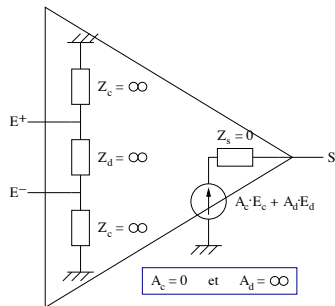
- ▶ Augmentation de la complexité et de la consommation d'énergie
- ▶ Gestion du mode commun

## Amplificateur différentiel

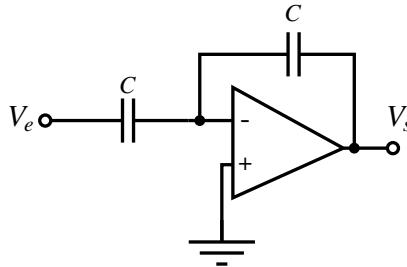
L'utilisation des structures différentielles, malgré quelques petits défauts, reste la norme en pratique.

# Amplificateur opérationnel

Propriété:	Cas idéal
Gain différentiel	infini
Impédance d'entrée	infinie
Impédance de sortie	nulle
Bande passante	infinie
Courants d'entrée	nul
Offset	nul



# Montage à base d'AOP



- ▶ L'utilisation la plus courante des AOP est en boucle fermée
- ▶ Son gain et ses impédances d'entrée infinis permettent de créer une masse virtuelle à l'entrée -
- ▶ Son impédance de sortie nulle permet de réaliser les fonctions désirées sans se pré-occuper des étages suivants

Introduction

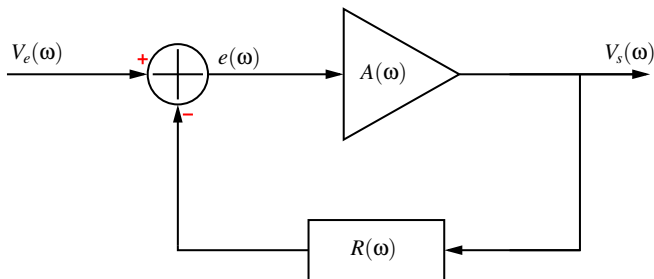
Amplificateur différentiel et opérationnel

La contre-réaction

Marge de stabilité



# La contre réaction



$$V_s(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{1 + A(j\omega) \cdot R(j\omega)} V_e(j\omega)$$

On appelle taux de contre-réaction la quantité :

$$1 + A(j\omega) \cdot R(j\omega)$$

On peut aussi remarquer que si  $A(j\omega) \cdot R(j\omega) \gg 1$ ,  
 $\Rightarrow H(j\omega) \simeq 1/R(j\omega)$

# Augmentation de la bande passante

$$A(j\omega) = \frac{A_{DC}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}$$

avec  $A_{DC}$  le gain maximal de l'amplificateur et  $\omega_c$  pulsation de coupure à 3 dB Le circuit bouclé a pour fonction de transfert :

$$H_{BF}(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{1 + R \cdot A(j\omega)}$$

$$H_{BF} = \frac{A_{DC}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}} \frac{1}{1 + R \frac{A_{DC}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}}} = \frac{A_{DC}}{1 + R \cdot A_{DC}} \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c(1 + R \cdot A_{DC})}}$$

ou donc

$$H_{BF} = H_{BF-DC} \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega'_c}}$$

$$H_{BF-DC} = \frac{A_{DC}}{1 + R \cdot A_{DC}} \text{ et } \omega'_c = \omega_c \cdot (1 + R \cdot A_{DC})$$

**La pulsation de coupure de la fonction de transfert  $A(j\omega)$  est multipliée par le taux de contre-réaction.**

Soit un amplificateur  $A(j\omega)$  avec une distorsion parasite  $u$ .

Le signal parasite  $u'$  observé à la sortie du système bouclé est donné par

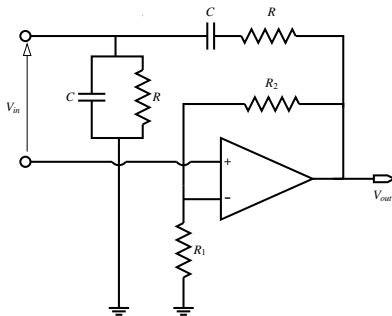
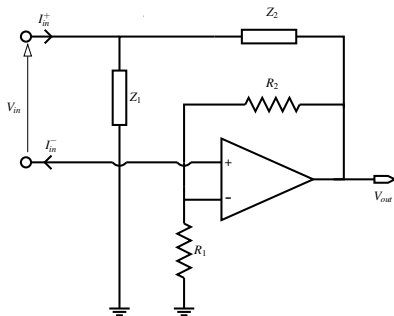
$$u' = u + A(j\omega) \cdot R \cdot u'$$

soit

$$u' = \frac{u}{1 + R \cdot A(j\omega)}$$

**Pour un même signal de sortie, l'amplitude harmonique due à la non linéarité est réduite de la valeur du taux de contre-réaction.**

# Exercice 1



1. Calculer la fonction de transfert  $F(p) = \frac{V_s}{V_e}$  en fonction de  $a = 1 + \frac{R_2}{R_1}$  et  $H = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$
2. Exprimer dans le formalisme de Laplace  $Z_1$ ,  $Z_2$  et  $H(p)$  en fonction de  $\tau = RC$
3. Donner l'expression de la fonction de transfert  $F(p)$  en fonction de  $a$  et de  $\tau$ .

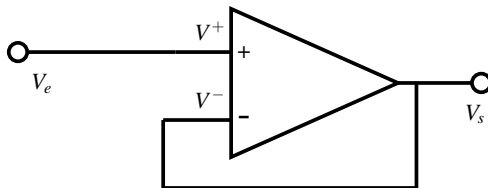
Introduction

Amplificateur différentiel et opérationnel

La contre-réaction

Marge de stabilité

## Exemple suiveur



Pour un amplificateur opérationnel avec

$$A(p) = \frac{V_s}{V^+ - V^-}$$

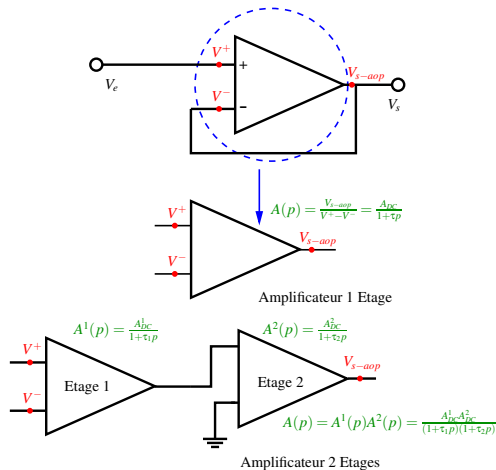
On a

$$V_s = A(p)(V_e - V_s)$$

On en déduit que la fonction de transfert du montage peut exprimée par

$$H_{BF}(p) = \frac{V_s(p)}{V_e(p)} = \frac{A(p)}{1 + A(p)}$$

# Exemple suiveur - Architecture AOP



Pour que le système soit stable, il faut que les pôles de  $H_{BF}(p)$  aient des parties réelles négatives.

Calculons leur expression, pour l'implémentation 1 étage:

$$p = -\frac{A_{DC} + 1}{\tau}$$

Et pour l'amplificateur 2 étages<sup>1</sup>

$$p_{1,2} = \frac{-(\tau_1 + \tau_2) \pm j\sqrt{-\Delta}}{2\tau_1\tau_2} \text{ avec } \Delta = (\tau_1 + \tau_2)^2 - 4\tau_1\tau_2 A_{DC}^1 A_{DC}^2$$

## stabilité

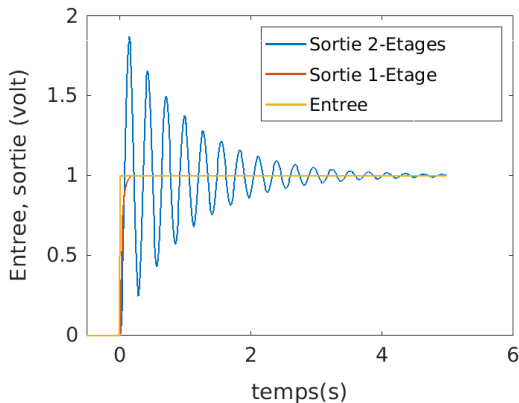
On constate que le système est stable pour les 2 cas de figures avec des poles à partie réelle négative

<sup>1</sup>Sous certaines conditions pour  $\tau_i$  et le gain



## Simulation premier cas

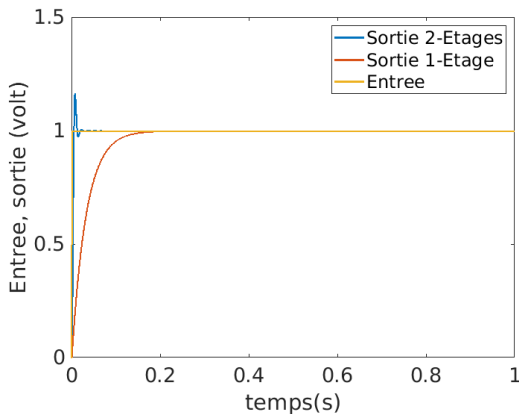
$$\tau_1 = \tau_2 = \tau = 1 \text{ et } A_{DC}^1 = A_{DC}^2 = A_{DC} = 30 \text{ dB}$$



On constate que le suiveur quand on utilise un amplificateur 2 étages souffre d'un dépassement oscillatoire très important

## Simulation deuxième cas

$$\tau_1 = 500\tau_2 = \tau = 1 \text{ et } A_{DC}^1 = A_{DC}^2 = A_{DC} = 30 \text{ dB}$$



On constate que pour cette configuration, l'amplificateur 2 étages permet d'obtenir une convergence plus rapide

## Analyse du résultat

Pour le cas,  $\tau_1 = \tau_2 = \tau = 1$ , les poles sont donnés par

$$p_{1,2} = -1 \pm 31.4j$$

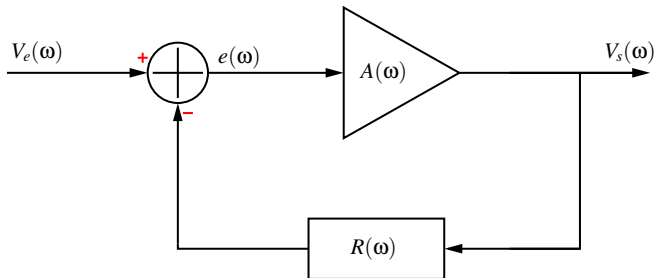
Pour le deuxième cas, avec  $\tau_1 = 500\tau_2 = \tau = 1$ , on obtient:

$$p_{1,2} = -250.5 \pm 6166j$$

On peut constater que la partie réelle est largement supérieure en valeur absolue dans la deuxième configuration, ceci se traduit ainsi par une marge de stabilité plus importante.

### Stabilité en boucle fermée

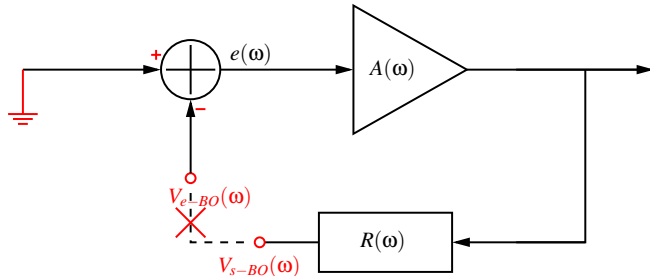
Une analyse de la stabilité en boucle fermée est longue, on préfère réaliser l'analyse en boucle ouverte



$$V_s(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{1 + A(j\omega) \cdot R(j\omega)} V_e(j\omega)$$

Le système est instable s'il existe une pulsation  $\omega_0$  tel que  $A(j\omega_0) \cdot R(j\omega_0) = -1$

# Analyse en boucle ouverte



- ▶ On court-circuite l'entrée du système à la masse
- ▶ On ouvre la boucle dans un point de notre choix
- ▶ On injecte le signal d'entrée  $V_{e-BO}$  en aval du point d'ouverture et on relève le signal de sortie  $V_{s-BO}$  en amont.
- ▶ Le gain de boucle ouverte est donnée par:

$$H_{BO}(j\omega) = -\frac{V_{s-BO}(j\omega)}{V_{e-BO}(j\omega)} = A(j\omega) \cdot R(j\omega)$$

Le gain en boucle ouverte peut être exprimé sous la forme suivante

$$H_{BO}(j\omega) = |H_{BO}(\omega)| e^{j\Phi(\omega)}$$

L'instabilité arrive quand  $|H_{BO}(\omega)|=1$  et  $\Phi(\omega) = -\pi$

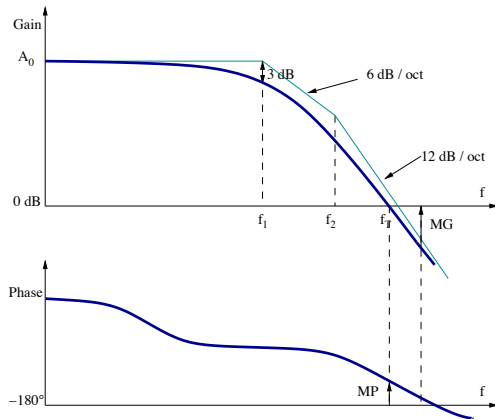
$|H_{BO}(\omega)|=1$  correspond à la pulsation transitoire  $\omega_T = 2\pi f_T$

Pour garantir la stabilité, il faut donc  $\Phi(\omega_T) < -\pi$  et plus, on est loin de ce point, plus le système est stable

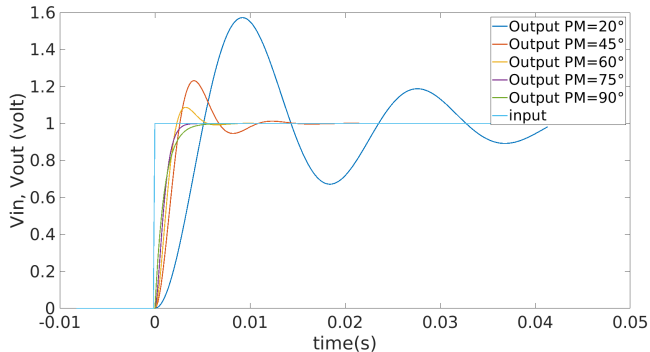
## La marge de Phase

$$MP = \Phi(\omega_T) + \pi$$

# Marge de Phase - graphiquement



# Réponse pour différentes valeurs de MP

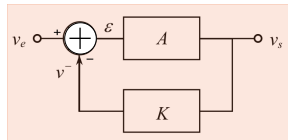
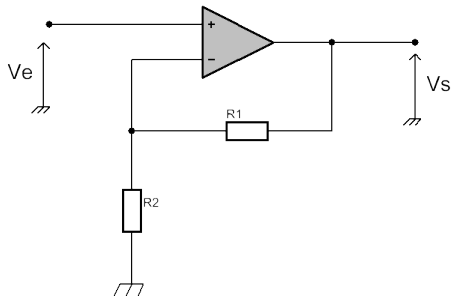


## Marge de Phase

On vise une marge de phase supérieure à  $45^\circ$  en pratique pour assurer une bonne convergence



## Exercice 2



1. Exprimer la fonction de transfert  $H_o = V_s/V_e$  pour un AOP idéal.
2. Exprimer la fonction de transfert pour un AOP réel avec avec  $A(p) = \frac{A_o}{(1+\tau_1 p)(1+\tau_2 p)}$
3. Tracer les diagrammes de Bode asymptotique et réels du gain en BO
4. Donner la condition pour assurer une marge de phase suffisante  $MP \geq \pi/4$