Electronique des Systèmes d'acquisition et de calcul

ELEC101 - ESAC: Amplification différentielle

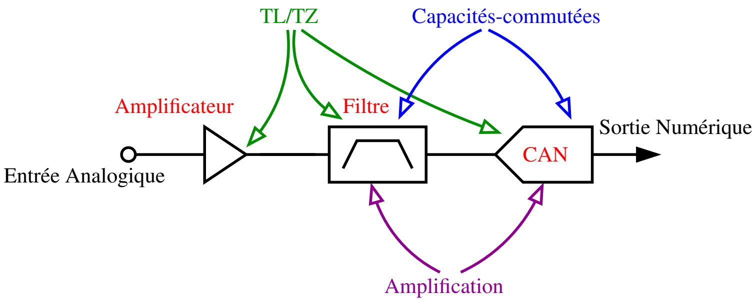
Institut Mines Telecom

Année scolaire 2023-2024

Outline

Outline

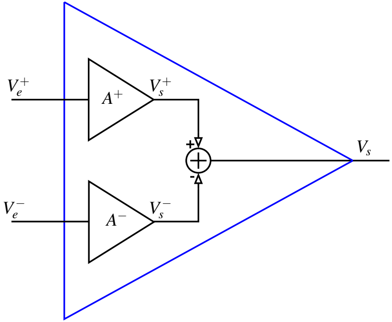
Les amplificateurs ça sert à quoi



- Les amplificateurs sont nécessaires pour amplifier les signaux de faible amplitude
- Les amplificateurs sont aussi nécessaires pour créer les fonctions de base dans les filtres et les CANs

Outline

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

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

En prenant $A^+ = A^- = A$, nous aurons un gain différentiel $Ad = A$ 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 :

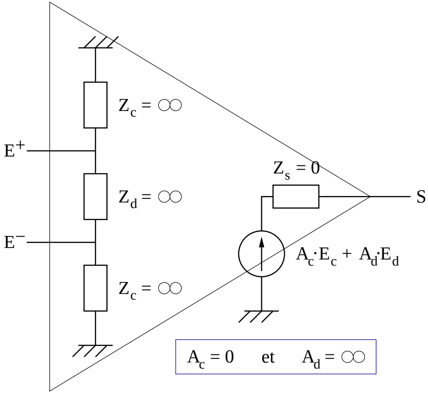
- Augmentation de la complexité et de la consommation d'énergie
- Gestion du mode commun

Amplificateur différentiel

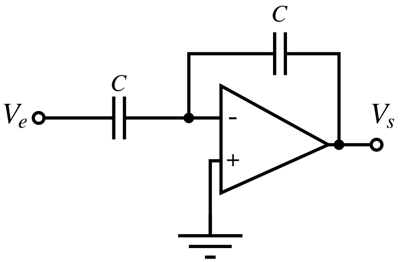
L'utilisation des structures différentielles, malgré quelques petits défauts, reste la norme en pratique.

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



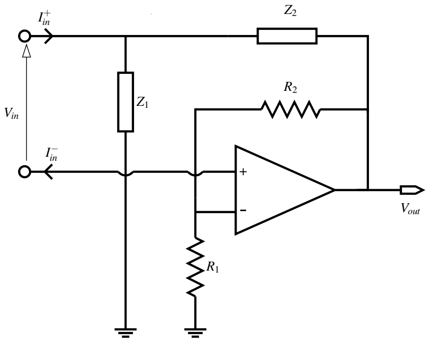
Montage à base d'AOP

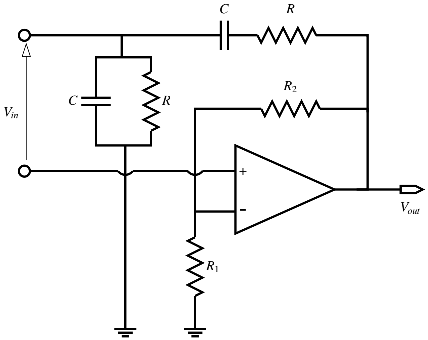


- L'utilisation la plus courante des AOP est en boucle fermée
- Son gain et ses impédances d'entrée infinis permettent de créer une masse virtuelle [1] à l'entrée $-$
- Son impédance de sortie nulle permet de réaliser les fonctions désirées sans se préoccuper des étages suivants

1. quand l'entrée $+$ est à la masse

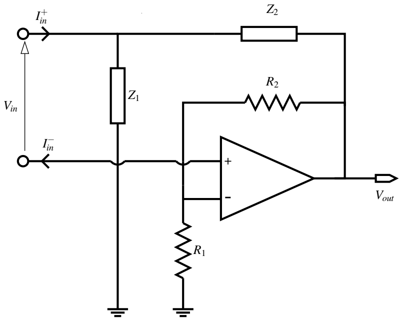
Exercice 1





1. Calculer la fonction de transfert $F(p) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ 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 τ .

Solution Exercice 1



Solution Exercice 1

1- Calculer la fonction de transfert $F(p) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$**.**

L'entrée étant différentielle et symétrique, comme le courant $I_{in}^{-} = 0 \Longrightarrow = I_{in}^{+} = 0$.
On se retrouve ainsi avec 2 diviseurs de tensions :

$$V_{in}^{+} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} V_{out}$$

$$V^{-} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out}$$

Comme l'aop a un gain infini, on $V^{-} \simeq V^{+} = V_{in}^{-}$

$$V_{in} = V_{in}^{+} - V_{in}^{-} = \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V_{out}$$

En réarrangeant les termes et en utilisant $a = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ et $H = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$, on obtient :

$$F(p) = \frac{V_{out}(p)}{V_{in}(p)} = \frac{-a}{1 - aH}$$

Solution Exercice 1

2-Exprimer dans le formalisme de Laplace Z_1, Z_2 et H(p) en fonction de $\tau = RC$

$$Z_1(p) = \frac{R\frac{1}{Cp}}{R + \frac{1}{Cp}} = \frac{R}{1 + RCp}$$

$$Z_2(p) = R + \frac{1}{Cp} = \frac{1 + RCp}{Cp}$$

En remplaçant $Z_1(p)$ et $Z_2(p)$ dans l'expression de $H(p)$ et RC par τ, on obtient

$$H(p) = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{\tau p}{\tau^2 p^2 + 3\tau p + 1}$$

Solution Exercice 1

3-Donner l'expression de la fonction de transfert F(p) en fonction de a et de τ

On a

$$F(p) = \frac{V_{out}(p)}{V_{in}(p)} = \frac{-a}{1 - aH}$$

On a $a = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ et

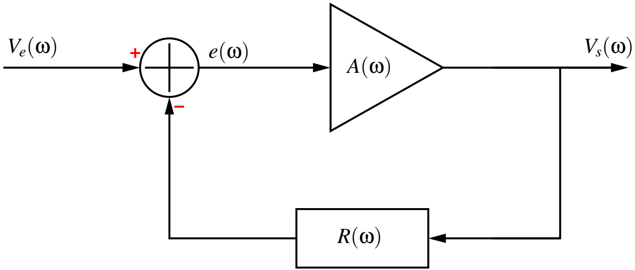
$$H(p) = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{\tau p}{\tau^2 p^2 + 3\tau p + 1}$$

On obtient

$$F(p) = \frac{-a(\tau^2 p^2 + 3\tau p + 1)}{\tau^2 p^2 + (3 - a)\tau p + 1}$$

Outline

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 $A(j\omega) \cdot R(j\omega) >> 1, \Longrightarrow \ H(j\omega) \simeq \frac{1}{R(j\omega)}$

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 ω_c pulsation de coupure à 3 dB. Le circuit bouclé a pour fonction de transfert :

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

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

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

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

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

Diminution de la distorsion

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

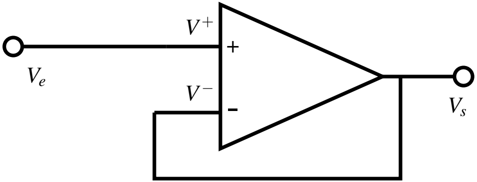
$$u' = u + A(j\omega) \cdot R \cdot u'$$

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.

Stabilité : le suiveur



Pour un amplificateur opérationnel avec

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

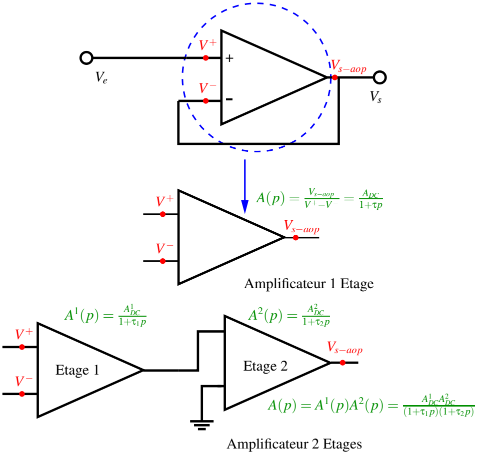
On a

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

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

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

Exemple : le suiveur – Architecture AOP



Étude de la stabilité

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 [2]

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

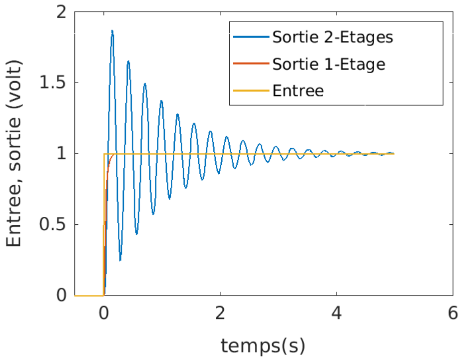
Stabilité

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

2. Sous certaines conditions pour τ_i et le gain

Simulation premier cas

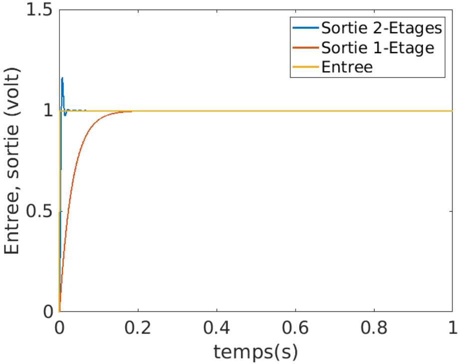
$$\tau_1 = \tau_2 = \tau = 1 \text{ et } A_{DC}^1 = A_{DC}^2 = A_{DC} = 30 \text{ dB}$$



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

Simulation deuxième cas

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



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 pôles 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

Outline

Non idéalités AOP

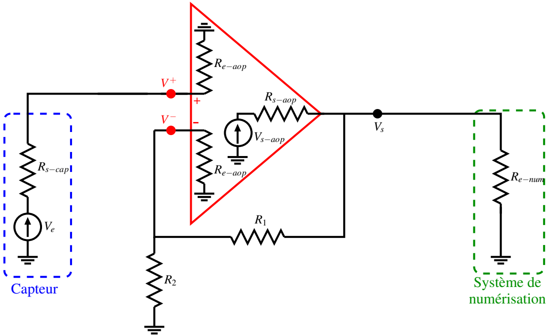
Un vrai AOP : does it exist ?

Un “vrai” amplificateur opérationnel n’existe pas, on peut juste s’en rapporcher

Un AOP a plusieurs idéalités en pratique :

- Des impédances d’entrée finies
- Une impédance de sortie non nulle
- Un gain fini
- Une bande passante et un courant de sortie finis
- ...

Exercice : Chaine d'acquisition photo-détecteur



- Calculer la FT du montage pour un AOP idéal pour R_1=9 k˙, R_2=1 k˙, R_{s-cap}=1 k˙ et R_{e-num}=10 k˙
- Analyse de l'impact de R_{e-aop}
- Analyser de l'impact du gain
- Analyser de l'impact du gain et de la R_{s-aop}

Solution

1-FT du montage pour un AOP idéal

L'AOP étant idéal avec un gain infini et une impédance d'entrée infinie $\Longrightarrow V^- = V^+ = V_e$

$H0 = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R1+R2}{R2} = 10$

2-Analyse de l'impact de R_{e-aop}

R_2 et R_{e-aop} sont en parallèle, leur une résistance équivalente

$$R_{eq} = \frac{R_2 R_{e-aop}}{R_{e-aop} + R_2}$$

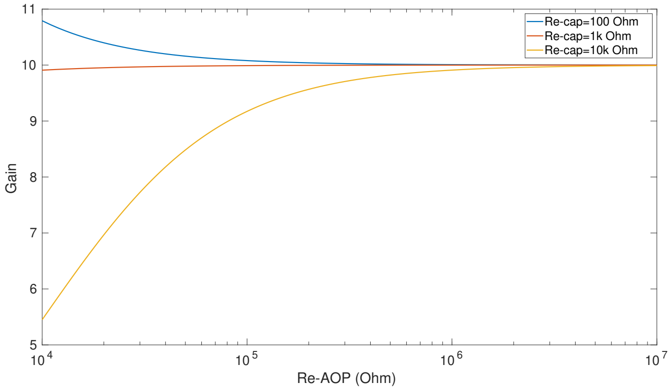
R_{e-aop} et R_{s-cap} forment un diviseur de tension, on a donc :

$$V^+ = \frac{R_{e-aop}}{R_{s-cap} + R_{e-aop}} V_e$$

En prenant $V^- = V^+$, nous pouvons calculer la FT :

$$H0 = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R1 + R_{eq}}{R_{eq}} \frac{R_{e-aop}}{R_{s-cap} + R_{e-aop}}$$

Impact résistance d'entrée

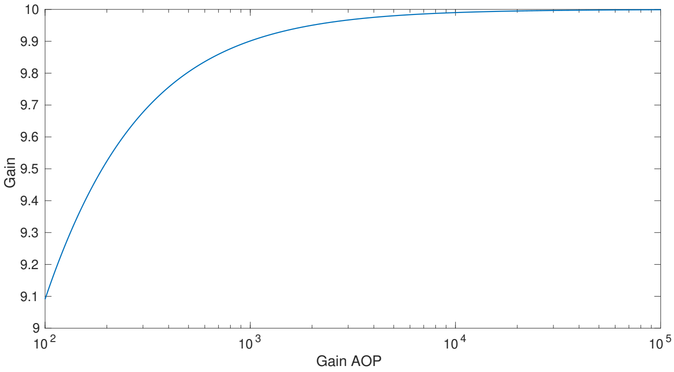


Solution

Calculer la fonction de transfert pour un gain fini Avec un gain fini A pour l'AOP et $\Longrightarrow$

$$V_s = V_{s-aop} = A(p)(V^+ - V^-)$$

$$V_s = A(V_e - \frac{R2}{R1+R2}V_s) \Longrightarrow H = \frac{A}{1+AK} \text{ avec } K = \frac{R2}{R1+R2}$$



Solution

4-Impact résistance de sortie

En appliquant le théorème de Millman au point V_s, on a

$$V_s = \frac{\frac{V_{s-aop}}{R_{s-aop}}}{\frac{1}{R_{e-num}} + \frac{1}{R_{s-aop}} + \frac{1}{R_1+R_2}}$$

En réorganisant l'expression, on obtient :

$$V_{s-aop} = V_s \underbrace{\left(1 + \frac{R_{s-aop}}{R_{e-num}} + \frac{R_{s-aop}}{R_1 + R_2}\right)}_{K'}$$

$$V_{s-aop} = A(V^+ - V^-)$$

Comme R_{e-aop} est considérée infinie, on a $V^+ = V_e$. Pour V^-, on applique un diviseur résistif entre V_s et V^-

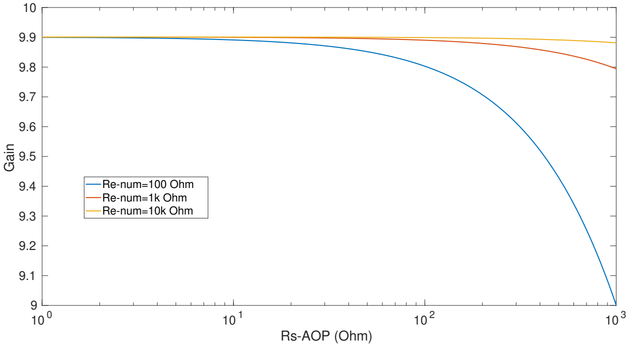
$$V_{s-aop} = A(V_e - \underbrace{\frac{R2}{R1 + R2}}_{K} V_s)$$

Impact résistance de sortie

En remplaçant, V_{s-aop} par $K' V_s$, on obtient l'expression voulue

$$H = \frac{V_s}{V_e} = \frac{A}{AK + K'},$$

avec $K = \frac{R2}{R1+R2}$ et $K' = 1 + \frac{R_{s-aop}}{R_1+R_2} + \frac{R_{s-aop}}{R_{e-num}}$



Merci pour votre attention

Questions ?