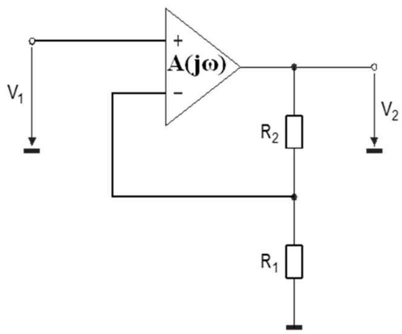
# Série N3 : Limites et Imperfections de l'AmpliOP

## Ex :1 Limites de l'AmpliOp

Soit l'amplificateur non-inverseur suivant. Le gain de son AmpliOp est donné par :




$$\underline{A}(j\omega) = \frac{A_0}{1+jf/f_0}$$ avec $A_0 = 10^4$ et $f_0 = 150$ Hz.

1. Exprimer le gain boucle fermé ($\underline{A_c}(j\omega) = \frac{\underline{V_2}}{\underline{V_1}}$) en fonction de $A_0$ et $f_0$ (sans supposer que V+ = V-).

Amplification non-inverseur: Solution complète

- $V_2 = A(j\omega)(V^+ - V^-)$ avec $V^+ = V_1$ et $V^- = \frac{R_1}{R_1+R_2}V_2$
- $V_2 = A(j\omega)\left(V_1 - \frac{R_1}{R_1+R_2}V_2\right) \rightarrow A_c(j\omega) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{A(j\omega)}{1+A(j\omega)\frac{R_1}{R_1+R_2}} = \frac{\frac{A_0}{1+jf/f_0}}{1+\frac{A_0}{1+jf/f_0}\frac{R_1}{R_1+R_2}}$

2. Ecrire $\underline{A_c}(j\omega)$ sous forme $\frac{A_c}{1+jf/f_c}$ et donner la valeur de $A_c f_c$. Qu'appelle t'en ce produit?

- $A_c(j\omega) = \left(\frac{A_0}{1+\frac{R_1}{R_1+R_2}A_0}\right)\frac{1}{1+jf/\left(1+\frac{R_1}{R_1+R_2}A_0\right)f_0} = A_c\frac{1}{1+jf/f_c}$
- L'ampli Non-Inv ≡ à un filtre passe-bas d'ordre 1 de réponse $A_c(j\omega) = A_c\frac{1}{1+jf/f_c}$ *avec*
- $A_c = \frac{A_0}{1+\frac{R_1}{R_1+R_2}A_0} \left\langle \xrightarrow[A_0\to\infty]{} 1+\frac{R_2}{R_1}\right\rangle$ et $f_c = \left(1+\frac{R_1}{R_1+R_2}A_0\right)f_0$
  - et donc $A_c f_c = A_0 f_0 = 10^4 . 150\text{ Hz} = 1.5\text{ MHz}$ c'est ausssi le GBW de l'ampliOp

**<u>Notez</u>** que le GBW et une caractéristique de l'AmplOp donnée par le constructeur qui décrit le compromis entre le gain et la bande passante (plus le gain est grand, plus la bande passante est faible et vice-versa). D'autre part, le GBW reste valable aussi pour l'ampli avec sa contre réaction (inv. et non-inv.), Si on connait le Gain à réaliser, on connait donc la bande passante équivalente et vice-versa.

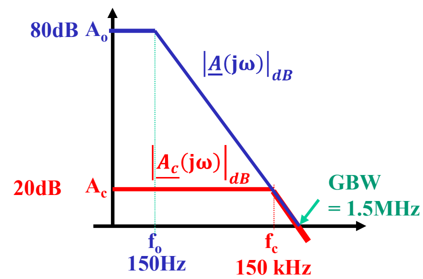
On se propose dans la suite d'avoir un gain base fréquence de 20dB.

3. Donner la valeur de $R_1$ et $R_2$. Prendre pour la valeur le plus petite 1kΩ.

$$A_c \approx 1 + \frac{R_2}{R_1} = 10 \text{ } et \text{ } R_1 = 1k\Omega \rightarrow R_1 = 9k\Omega$$

4. Quelle serait sa bande passante $f_c$ (fréquence correspondant à (20-3) dB) ?

- $GBW = f_c \cdot A_c \rightarrow f_c = GBW/A_c = 1.5\ 10^6 / 10 = 150$ KHz fréquence correspondante à 17dB (20-3 dB).




5. Esquissez le digramme de Bode de l'AmpliOp seul, $|\underline{A}(j\omega)|_{dB}$ et de l'ampli non-inverseur $|\underline{A_c}(j\omega)|_{dB}$.

6. Que doit être la fréquence maximale du signal $f_s$ pour avoir $19dB \leq |A_c(jf)| \leq 20$ dB.

- La fonction de transfert de AO réel avec son circuit de réaction négative étant celle d'un filtre passe-bas premier ordre, elle s'écrit $A_c(jf) = A_c \frac{1}{1+jf/f_c}$. Son module $|A_c(jf)| = \frac{10}{\sqrt{1+(f/f_c)^2}}$ diminue avec la fréquence.
- Si la fréquence maximale du signal est égale à $f_c$, le gain varierait entre 20 dB en DC et 17 dB à $f_c$, ce qui est supérieure à la tolérance demandée. La fréquence maximale du signal $f_s$ est donc inférieure à $f_c$ et correspondra à la valeur minimale tolérée de $|A_c(jf)|$, à savoir 19 dB ≡ 8.91. Elle est donnée par :
    - $\frac{10}{\sqrt{1+(f_s/f_c)^2}} = 8.91 \rightarrow f_s = f_c\sqrt{\frac{10^2}{8.91^2} - 1} = 76.43\ kHz.$

7. Que doit être le slew-rate minimal de l'AO si l'amplitude maximale du signal d'entrée est de 500mV.

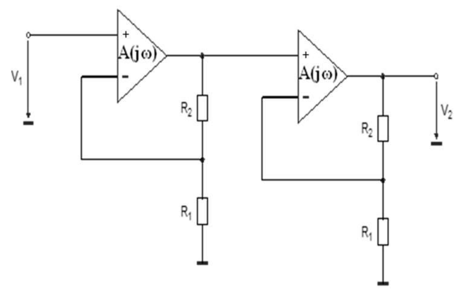
- Slew-rate (Sr) est le taux de variation maximale possible de la tension que peut traiter l'AmpliOp sans distorsion. Le Sr doit donc être supérieure à $(dV_{out}/dt)_{Max}$.
- En assimilant le signal de sortie à une sinusoïde, on peut écrire $V_{out} = Ac\,|V_{in}|\sin(\omega t)$ et donc
- $(dV_{out}/dt)_{max} = Ac\,|V_{inmax}|\,2\pi f_{max} \approx 10\ 0.5\ 2\ \pi\ 76.43\ 10^3 \approx 2.4\ 10^6 V/s \approx 2.4\ V/\mu s$.
    - $Sr \geq 2.4\ V/\mu s$

8. Quel doit être l'offset maximal de l'AmplO ($v_{oi,max}$), s'il est alimenté entre -6V et 6V et que l'amplitude maximale du signal d'entrée est de 500mV.

- L'amplitude maximale du signal de sortie est de 5V (= 500mVx10). Il restera donc une marge de 1V pour atteindre les limites Vsat ± = ± 6V. La valeur DC à la sortie ne doit donc pas dépasser ±1, si non le signal s'écrête.
- L'offset $v_{oi}$ est amplifié par le même gain que le signal utile c.à.d. 10. Nous aurons donc:
    - $v_{oi,max} = \pm 1/10 = \pm 100$ mV.

## Ex2 : Limites en fréquence d'un Ampli à plusieurs étages

Refaire les questions de 4, 6, 7 et 8 de l'ex 1 si on utilise pour réaliser le même gain, l'ampli à deux étages identiques ci-dessous ?




**(4.) $f_c^*$ correspondante à $A_{0dB}$–3dB?**

- Pour un ampli à deux étages identiques, le gain total est donné par $A_c = A_u^2$, avec $A_u$ le gain unitaire de chaque étage.
- Chaque étage se comportera comme un filtre de premier ordre avec un gain $A_u = \sqrt{10}$ et une bande passante unitaire de $f_{cu} = \frac{GBW}{A_u} = 474$ kHz.
- L'ampli en entier par contre se comporte comme un filtre de second ordre dont la réponse est :
  - $A(jf) = \frac{A_c}{(1+jf/f_{cu})^2} = \frac{A_u^2}{(1+jf/f_{cu})^2}$ ; **$f_{cu}$ correspond donc à $A_c$ – 6dB et non à $A_c$ –3dB.**
- La fréquence $f_c^*$ correspondante à $A_c$–3dB ou encore à $\frac{A_c}{\sqrt{2}}$ est donnée par :
- $|A(jf_c^*)| = \left|\frac{A_u^2}{\left(1+j\frac{f_c^*}{f_{cu}}\right)^2}\right| = \frac{10}{1+(f_c^*/f_{cu})^2} = \frac{10}{\sqrt{2}}\ (\equiv\ 17dB) \rightarrow \boldsymbol{f_c^*} = \sqrt{\boldsymbol{\sqrt{2}-1}}\, \boldsymbol{f_{cu}} = \boldsymbol{0.64\, f_{cu}} \approx \boldsymbol{305\ kHz}.$
- **Notez** qu'on a **doublé la bande passante** correspondante $A_c$–3dB de l'ampli (150 kHz à 305 kHz) en passant d'une architecture à un étage à celle à deux étages (bien sûr au prix de plus de consommation et de complexité).

(6) $f_s^*$ correspondante à 20 -1 = 19 dB?:

$$|A(jf_c^*)| = \left|\frac{A_u^2}{\left(1+j\frac{f_c^*}{f_{cu}}\right)^2}\right| = \frac{10}{1+(f_c^*/f_{cu})^2} = 8.91 = \frac{10}{1.122}\ (\equiv\ 19dB)$$

$$\rightarrow \boldsymbol{f_c^*} = \sqrt{\boldsymbol{1.122-1}}\, \boldsymbol{f_{cu}} = \boldsymbol{0.349\, f_{cu}} \approx \boldsymbol{167.3\ kHz}.$$

(7) Slew Rate ?

- Le premier étage aura à sa sortie un signal d'une amplitude de $0.5 \times \sqrt{10}$ V et de fréquence maximale de 167.3 kHz. Son Sr doit être donc au minimum :
- $Sr_{1,min} = A_u\,|V_{inmax}|\,2\pi f_{max} = \sqrt{10}\ 0.5\ 2\ \pi\ 167.3\ 10^3 \approx 1.66$ V/µs.
- Le deuxième étage aura un signal à sa sortie d'une amplitude de $0.5 \times 10$ et de fréquence maximale de 167.3 kHz. Son Sr doit être donc au minimum : $Sr_{2,min} = Sr1\,\sqrt{10} = 5.25$ V/µs.

(8) Offset ?

- Là aussi l'amplitude maximale du signal de sortie est de 5V. Il restera donc une marge de ±1V pour atteindre les limites Vsat ± = ± 6V. La valeur DC à la sortie ne doit donc pas dépasser ±1, si non le signal s'écrête.
- L'offset du premier étage ($v_{oi1,max}$) est amplifié par le gain totale c.à.d. 10, alors que l'offset du deuxième étage ($v_{oi2,max}$) n'est amplifié que par son propre gain c.à.d. $\sqrt{10}$. Les offsets max doivent donc obéir à la limitation suivante : $10.\left|v_{oi1,max}\right| + \sqrt{10}\,.\left|v_{oi2,max}\right| = 1\text{V}$.
- Par exemple, si on suppose que les contributions des deux étages sont identiques (0.5 Vmax chacun) on écrire : $10.\left|v_{oi1,max}\right| = 0.5\text{ V}$ et $\sqrt{10}\,.\left|v_{oi2,max}\right| = 0.5\text{V}$.
  Ce qui donne : $\left|v_{oi1,max}\right| = 50\text{ mV}$ et $\left|v_{oi1,max}\right| = 15.8\text{ mV}$ .

- **Notez** qu'autant pour l'offset c'est les performances du premier étage qui domine, pour le Sr et pour la linéarité c'est l'étage de fin de chaine qui domine car il traite des signaux beaucoup plus larges, déjà amplifiés par les étages précedents.