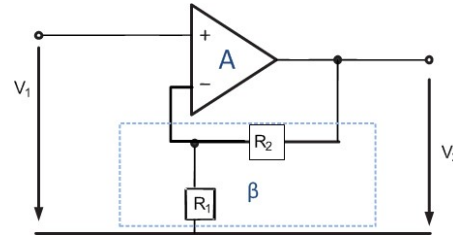


Imperfections de l'A0

Electronique I
Adil KOUKAB

Rappel: AmpliOp idéal + réaction négatif → Régime linéaire

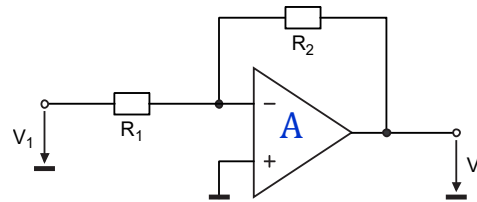
G : Gains boucle fermée = $\frac{v_2}{v_1}$



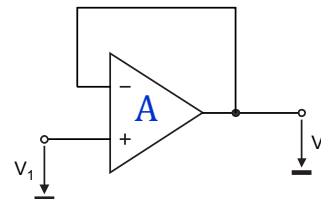
$$G_{N_INV} = \frac{v_2}{v_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

AO idéal:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{in} \rightarrow \infty \Rightarrow i+ = i- \\ A \rightarrow \infty \Rightarrow (\text{AO} + \text{ReacNeg}) \Rightarrow v^+ = v^- \\ R_{out} \rightarrow 0 \Rightarrow \text{Gain indep de } R_L \end{array} \right.$$



$$G_{INV} = \frac{v_2}{v_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$



$$G_{N_Suiv} = \frac{v_2}{v_1} = 1$$

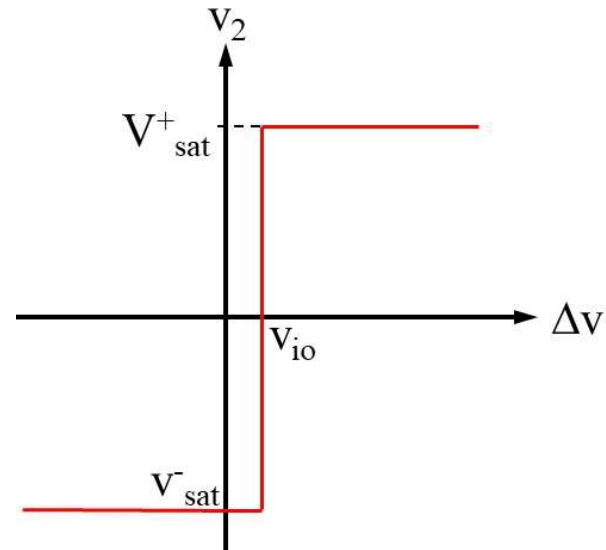
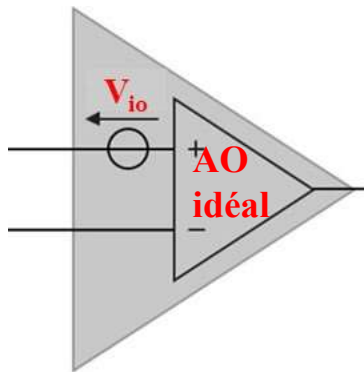
Imperfections d'un AO

- Imperfection 1: Tension de décalage «Offset» et chaîne d'amplification
- Imperfection 2 : Courants de polarisation
- Intérêt du Gain infini de l'AO
- Imperfection 3: Limitation fréquentielle en petits signaux (BW)
- Imperfection 4: Limitation en fréquence - grand signaux
 - (Taux de variation limité: “slew-rate”)

Imperfections 1: Offset

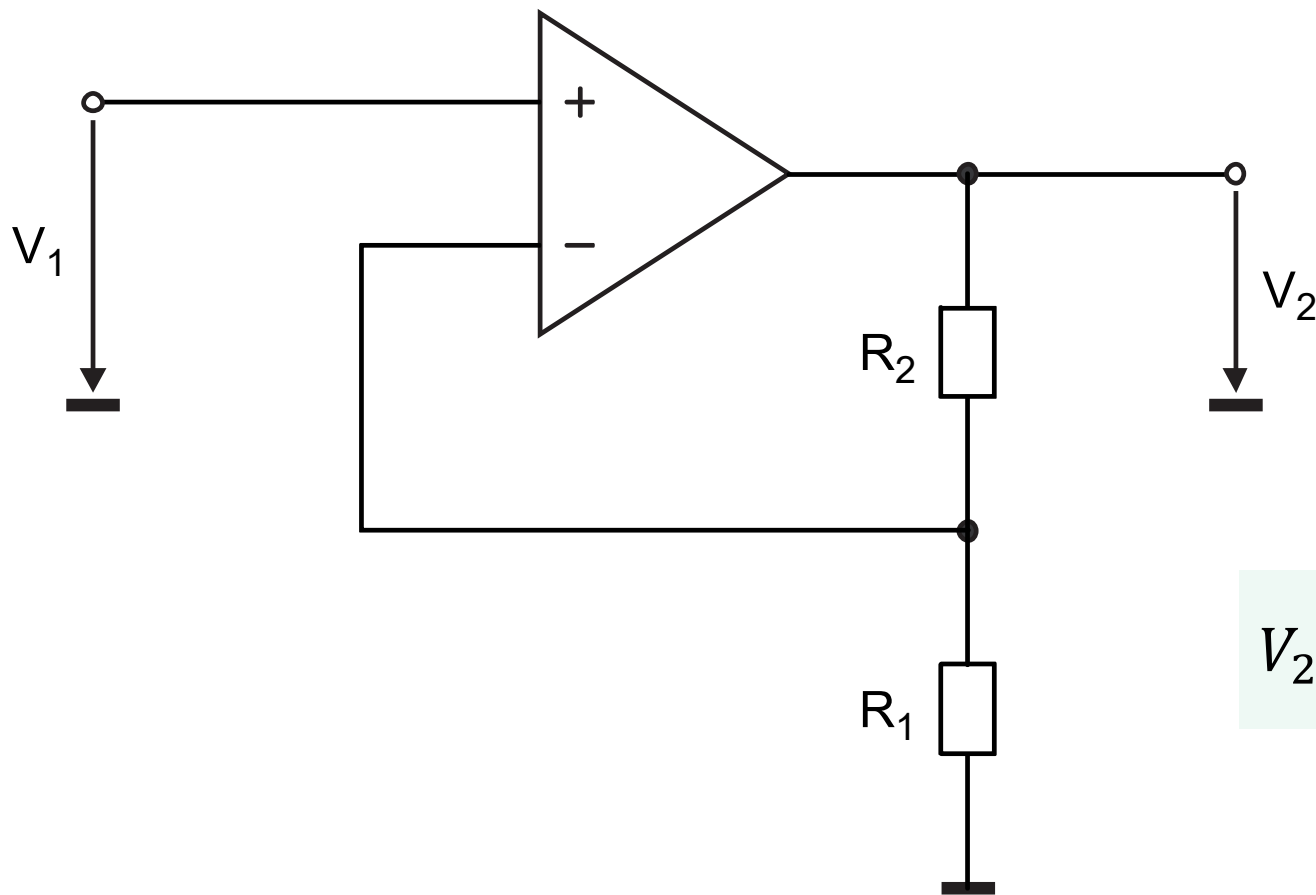
- La tension de décalage ou « offset » est due à un défaut de symétrie causé par à un pareillement imparfait des composants de l'AO réel.
- Elle se manifeste par une tension V_{io} continue positive ou négative (DC) entre ses entrées + et - .

Modèle:



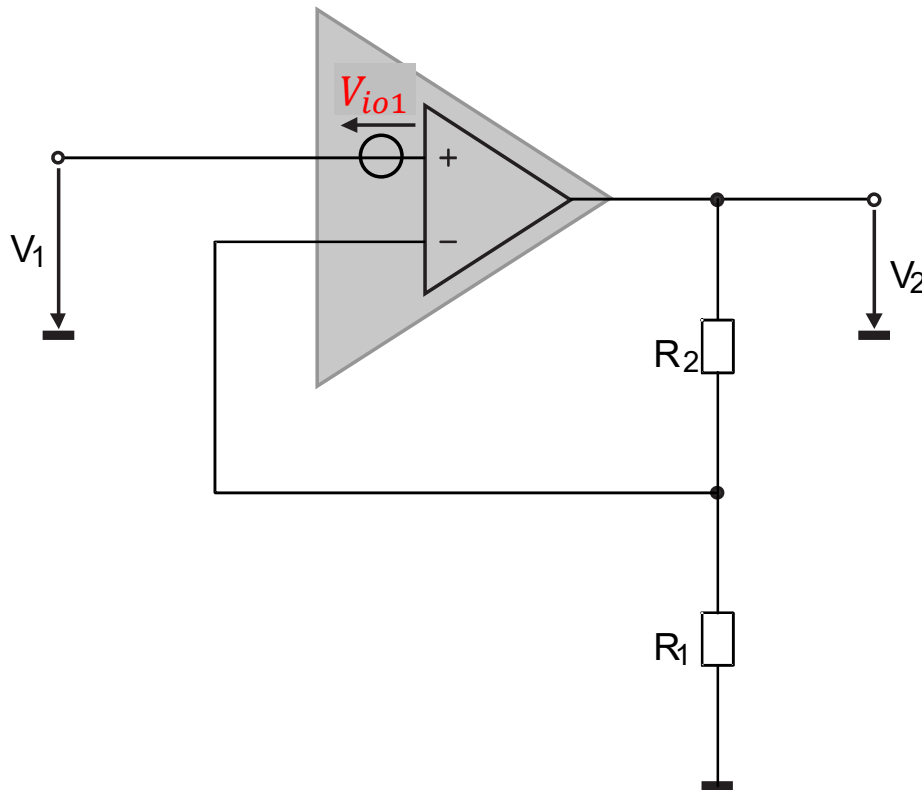
- Les fabricants donnent une valeur absolue maximale de l'offset $V_{io,max}$
 - (Ex: 7.5 mV pour LM741; 3 mV pour TL072; 10 mV pour LF356;)

Amplificateur opérationnel idéal



$$V_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1$$

Amplificateur opérationnel avec: Offset

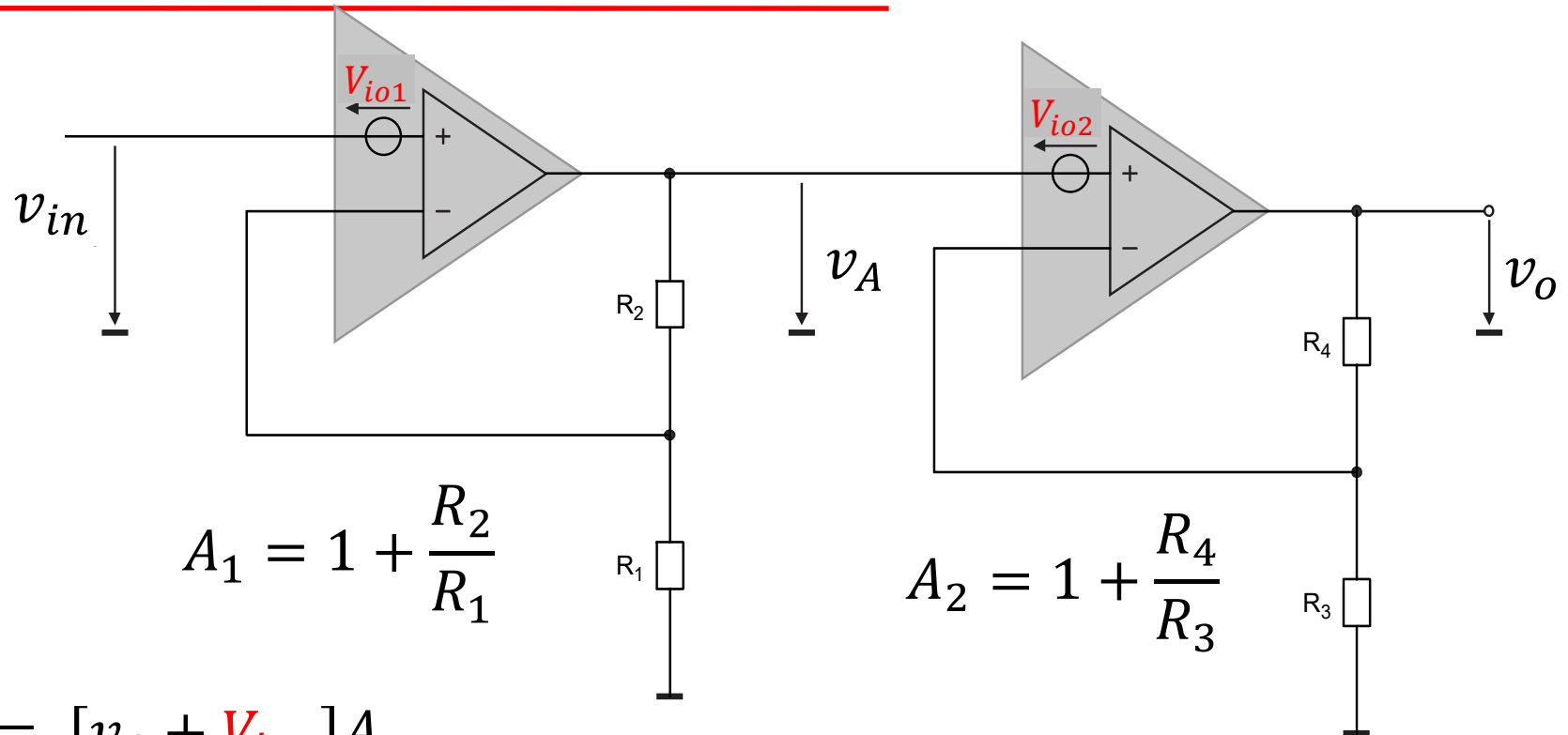


$$V_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} (V_+)$$

$$V_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} (V_1 + V_{io1})$$

- V_{offset} est amplifiée de la même manière que le signal utile.
- Elle engendre une tension continue indésirable à la sortie
- Son effet est d'autant plus néfaste que le gain est élevé.

L'offset dans une chaîne d'amplification



$$v_o = [v_A + V_{io2}]A_2$$

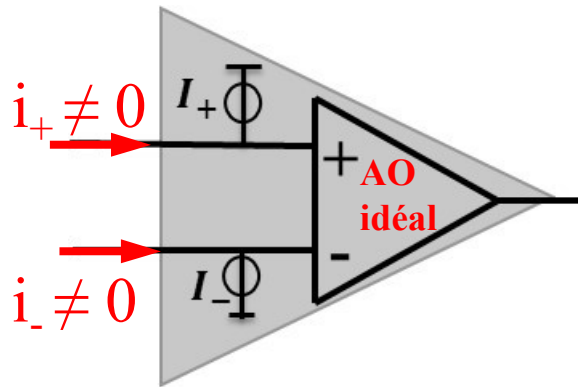
$$= [(v_{in} + V_{io1})A_1 + V_{io2}]A_2$$

$$v_o = A_1 A_2 v_{in} + \underbrace{A_1 A_2}_{\text{!}} V_{io1} + A_2 V_{io2}$$



L'offset du premier étage est dominant (car $\times A_1 A_2$)

Imperfection 2: Courants de polarisation



- L'AO réel a une impédance d'entrée très grande mais pas infinie
 $\rightarrow i_{+/-} \neq 0$
- Fabrication monolithique $\rightarrow i_+$ et i_- proches mais pas égaux
 $\rightarrow |i_+ - i_-| \ll |i_{\pm}|$

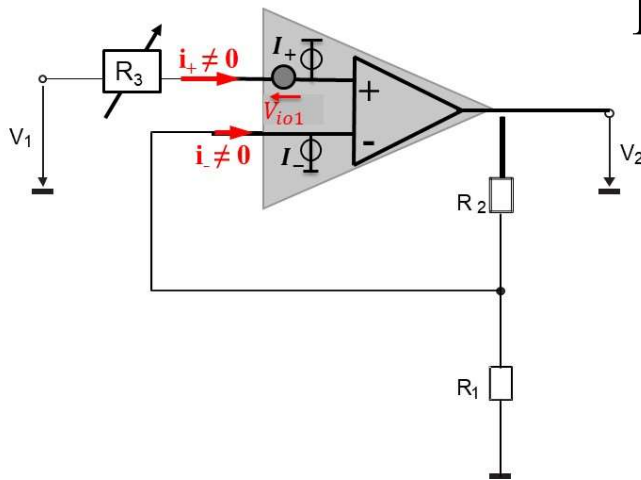
Les fabricants donnent donc deux caractéristiques de l'AO:

Input bias current: i_+ et i_- (~ 80 nA pour LM741)

Input offset current: $|i_+ - i_-|$ (~ 20 nA pour LM741)

- V_{io} et $i_{+/-}$ induisent une tension continue non désirée en sortie.
- V_{io} et $i_{+/-}$ sont indépendants $\rightarrow$ se superposent.

Exo: 1- Calculer la tension continue à l'offset et aux courants de polarisation pour le circuit ci- dessous?
Choisir R_3 pour la minimiser? (noter que $|i_+ - i_-| \ll |i_+|$)



En utilisant la superposition, on démontre que:

$$V_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{io1} - \frac{R_1 + R_2}{R_1} R_3 i_+ + R_2 i_-$$

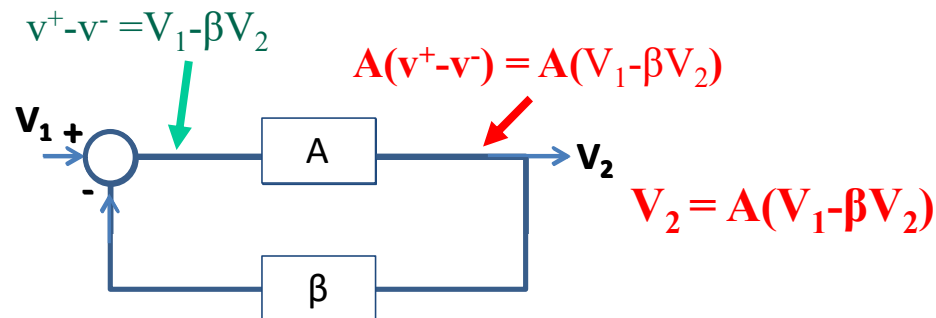
Si $\frac{R_1 + R_2}{R_1} R_3 = R_2$ c.à.d. $R_3 = R_2 // R_1$, V_2 devient:

$$V_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{io1} + R_2 (i_- - i_+)$$

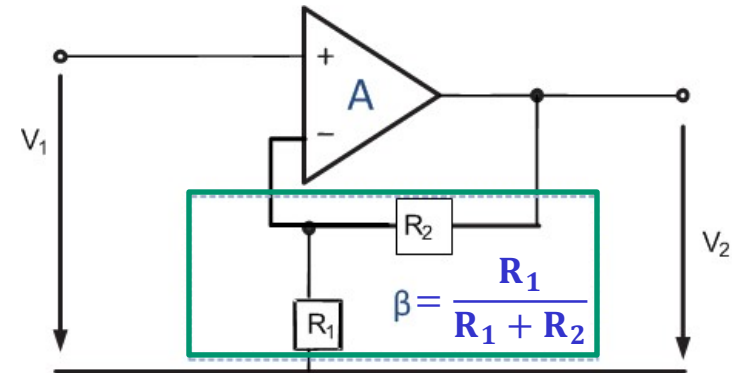
Puisque $(i_- - i_+) \ll i_+$ et i_-
cela minimise effectivement l'impact des courants de polarisation

Intérêt du Gain infini de l'AO

Model de l'Ampli à contre réaction



$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{A}{1 + \beta A} \approx \xrightarrow{A \rightarrow \infty} \beta^{-1}$$



$$V_2 = A(V^+ - V^-) \text{ avec } V^+ = V_1 \text{ et } V^- = \beta V_2$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{A}{1 + A \underbrace{\frac{R_1}{R_1 + R_2}}_{\beta}} \xrightarrow{A \rightarrow \infty} 1 + \frac{R_2}{R_1} = \beta^{-1}$$

V_2/V_1 : Gain Boucle Fermée; $A\beta$: Gain Boucle Ouverte; β : Facteur de Contre Réaction

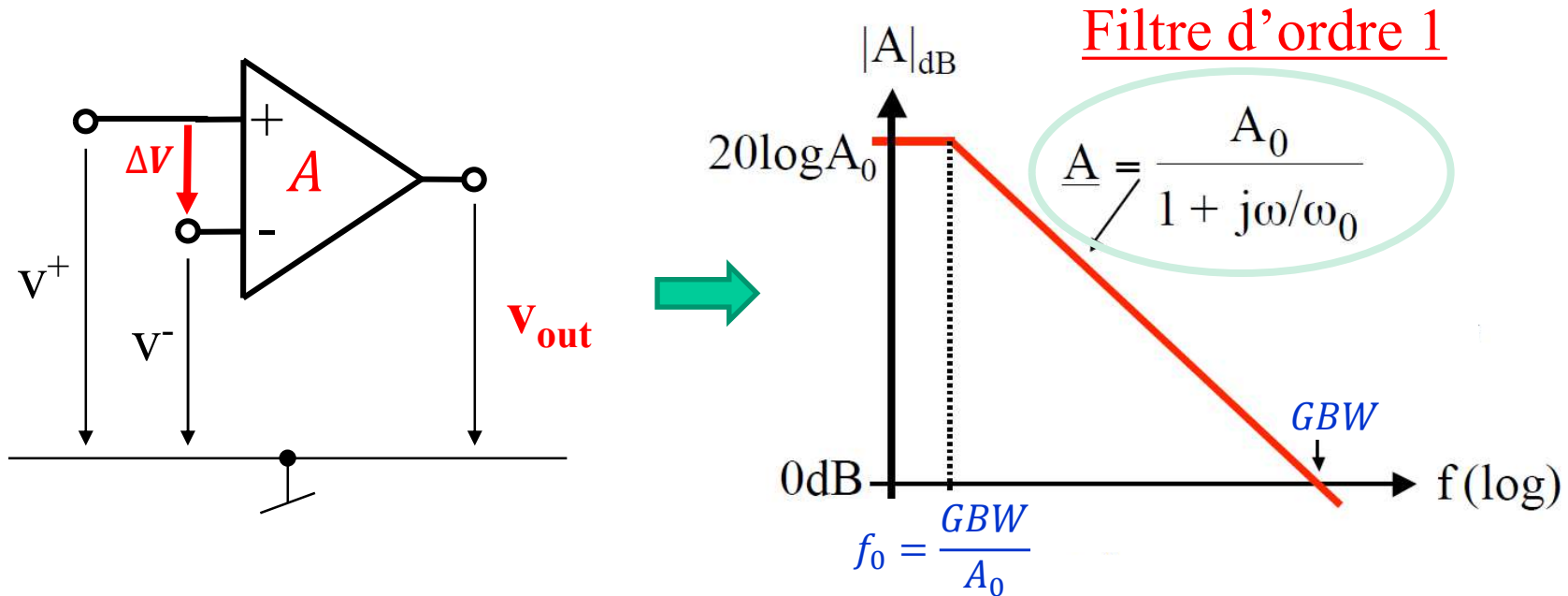
- Le gain boucle fermée est déterminé par β^{-1} , si A très grand ($1/A\beta \rightarrow 0$).
- β^{-1} (à la différence de A) est peu sensible aux variations des procédés de fabrication et de température, du fait qu'il est exprimé comme un rapport de deux résistances.

la contre-réaction rend donc le gain boucle fermée peu sensible aux imperfections de l'AO pour autant que le gain de ce dernier soit suffisamment élevé.



Imperfection 3: Limitation fréquentielle en petits signaux

- Un AO réel a un gain élevé en basse fréquence (A_0), mais qui diminue de -20dB/décade au delà d'une certaine fréquence de coupure f_0 .
- On définit le paramètre **GBW** (**Gain·Bandwidth [Hz]**) comme étant le produit $A_0 \cdot f_0$.
- GBW est aussi la fréquence pour laquelle le gain est égal à 1 (0dB)

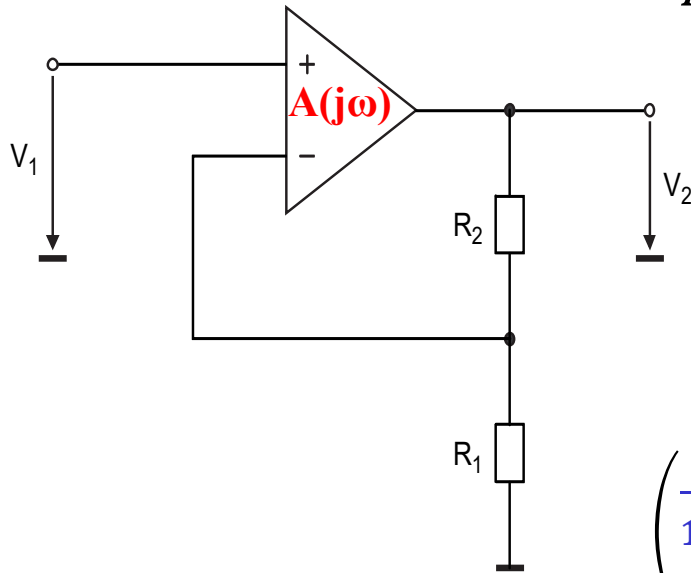


GBW est une caractéristique de l'AmpliOp donnée par le fabricant:

Ex: GBW (LM741) $\approx 1\text{ MHz}$ et GBW (LM356) $\approx 5\text{ MHz}$.

Effet de la contre réaction sur BW

• Amplification non-inverseur: Solution complète



- $A(j\omega) = \frac{A_0}{1+j\omega/\omega_0}$

- $V_2 = A(j\omega)(V^+ - V^-)$ avec $V^+ = V_1$ et $V^- = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_2$

- $V_2 = A(j\omega) \left(V_1 - \frac{R_1}{R_1+R_2} V_2 \right)$

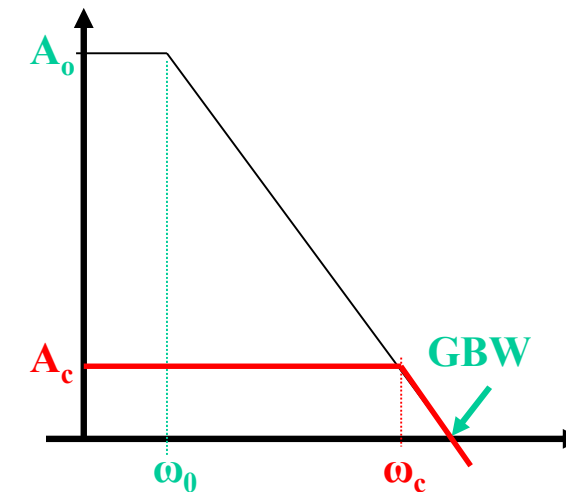
$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = A_c(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{1 + A(j\omega) \frac{R_1}{R_1+R_2}} = \frac{\frac{A_0}{1+j\omega/\omega_0}}{1 + \frac{A_0}{1+j\omega/\omega_0} \frac{R_1}{R_1+R_2}}$$

$$\left(\underbrace{\frac{A_0}{1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} A_0}}_{A_c} \right) \frac{1}{1 + j\omega / \underbrace{\left(1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} A_0 \right) \omega_0}_{\omega_c}} = A_c \frac{1}{1 + j\omega / \omega_c}$$

- Donc l'ampli Non-Inv $\equiv$ à un filtre passe-bas d'ordre 1 de réponse $A_c(j\omega) = A_c \frac{1}{1+j\omega/\omega_c}$ avec

- $A_c = \frac{A_0}{1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} A_0} = \frac{A_0}{1 + \beta A_0} \left(\xrightarrow{A_0 \rightarrow \infty} \beta^{-1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$ et

- $\omega_c = \left(1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} A_0 \right) \omega_0 = (1 + \beta A_0) \omega_b$



Rq: $A_c f_c = A_0 f_b = GBW (= 1MHz) \rightarrow \langle f_c \approx 10kHz \rangle$

Effet de la contre réaction sur BW: Model générique

Filtre d'ordre 1

$$A(jf) = \frac{A_0}{1 + jf/f_0}$$

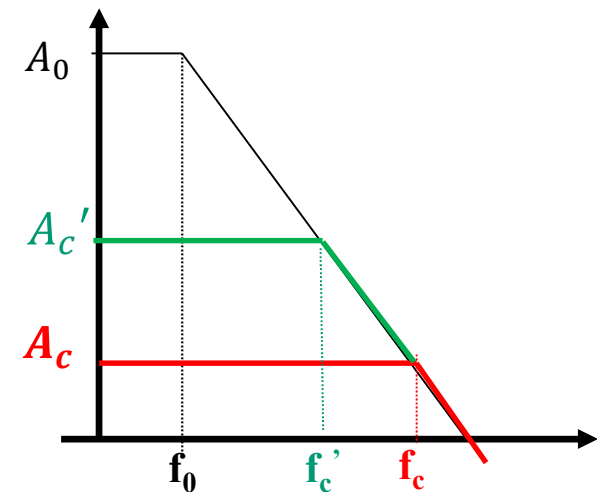
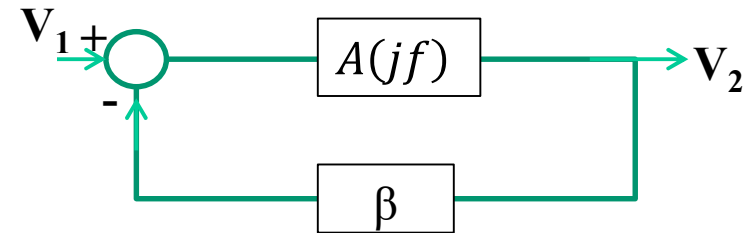
Gain boucle fermée

$$A_c(jf) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{A(jf)}{1 + \beta A(jf)} = \frac{\frac{A_0}{1 + jf/f_0}}{1 + \beta \frac{A_0}{1 + jf/f_0}} = \frac{A_0}{1 + \beta A_0 + jf/(1 + \beta A_0)f_0}$$

$$\frac{A_0}{1 + \beta A_0} \frac{1}{1 + jf/(1 + \beta A_0)f_0} = A_c \frac{1}{1 + jf/f_c}$$

Filtre d'ordre 1

Avec $A_c = \frac{A_0}{1 + \beta A_0}$ et $f_c = (1 + \beta A_0)f_0$



Rq: $A_c f_c = A_0 f_0 = GBW = \text{Cst}$

- Appliquée à l'AO la contre-réaction permet de troquer du gain contre de la bande passante.
- GBW est une constante (donnée du fabricant) → si on connaît A_0 on connaît ω_0 et vice-versa.

Limitation en fréquence «Grands Signaux»:

Taux de variation limité: “slew-rate”

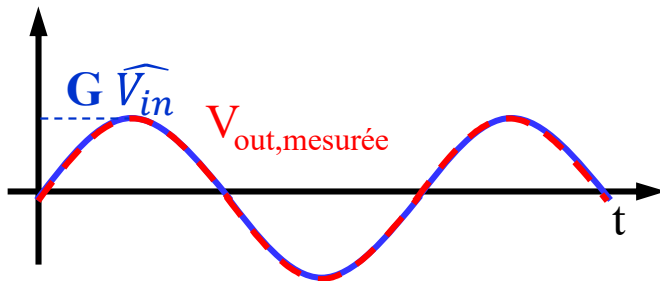
- Slew Rate ($Sr = (dV_{out}/dt)_{Max}$) $\equiv$ Taux de variation maximale possible de la tension à la sortie du AO
- $Sr = 0.5 \text{ V}/\mu\text{s}$ pour le LM 741, $13 \text{ V}/\mu\text{s}$ pour TL 071 et 072, $12 \text{ V}/\mu\text{s}$ pour LF356
- Cette limitation est due au courant finie qui charge et décharge les capacités internes de l'AO.

• Conséquences pratiques du Sr

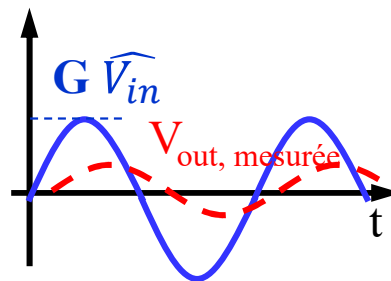
Ex: soit le signal de sortie théorique:

$$V_{out} = G \widehat{V}_{in} \sin(\omega t) \quad \rightarrow \quad \left. \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{max} = G \widehat{V}_{in} \omega$$

Si $A_0 \widehat{V}_{in} \omega < Sr \rightarrow$ régime
petits signaux
si $\omega < \omega_{BW} \rightarrow$ pas
d'atténuation ni distorsion



Si $A_0 \widehat{V}_{in} \omega < Sr \rightarrow$ régime
petits signaux
si $\omega > \omega_{BW} \rightarrow$ Atténuation
sans distorsion



$A_0 \widehat{V}_{in} \omega > Sr \rightarrow$ régime **grands signaux**
 $\rightarrow$ Distorsion (même si $\omega < \omega_{BW}$)

