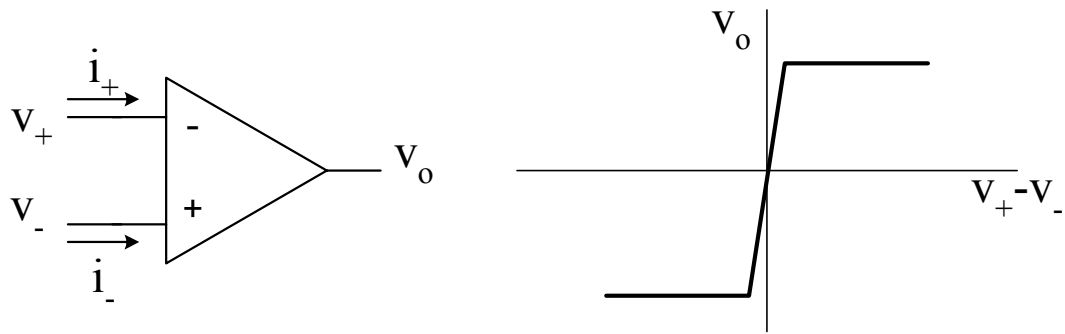


Amplificador Operacional No Ideal

Tècniques Analògiques

Introducció

Amplificador Operacional Ideal (Recordatori)



$$v_o = A(v_+ - v_-)$$

Idealitat 1: $A \rightarrow \infty$

Amb realimentació negativa $\Rightarrow v_+ = v_-$

Idealitat 2: $Z_i \rightarrow \infty$

Per tant, $i_+ = i_- = 0$

Característiques de l'AmpOp real

- Guany Finit
- Impedància d'entrada
- Impedància de sortida
- Tensió d'offset d'entrada
- Corrents d'entrada
- Slew-rate
- Resposta freqüencial

Guany finit

- Idealment, un AmpOp té un guany infinit. Una primera aproximació al AmpOp no ideal consisteix en considerar un guany finit A , i per tant

$$v_o = A(v_+ - v_-) \quad \text{amb } v_+ \neq v_-$$

- Ara bé, això implica considerar l'AmpOp com un amplificador diferencial ideal, ja que només amplificaria la diferència de les entrades. Realment tendrem

$$v_o = A_d(v_+ - v_-) + A_c \left(\frac{v_+ + v_-}{2} \right)$$

amb A_d : Guany Diferencial
 A_c : Guany en Mode Comú

- Definim el CMRR (*Common Mode Rejection Rate*)

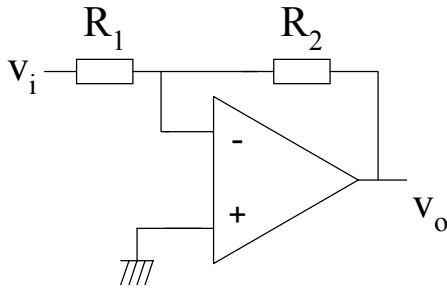
$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

El CMRR caracteritza la qualitat de l'AmpOp com a amplificador diferencial (CMRR alts  bon diferencial)

CMRR típics de 90dB a 120dB

Guany finit

Exemple: AmpOp amb A_d finit i $A_c=0$, en configuració d'amplificador inversor



$$v_o = A_d(v_+ - v_-)$$

$$v_+ = 0$$

$$\frac{v_i - v_-}{R_1} = \frac{v_- - v_o}{R_2}$$

Aplicació numèrica: $A_d=10^5$ $R_1 = 1K$ $R_2 = 10K$

Impedància d'entrada

Definim dues impedàncies d'entrada:

- **Impedància d'entrada diferencial**

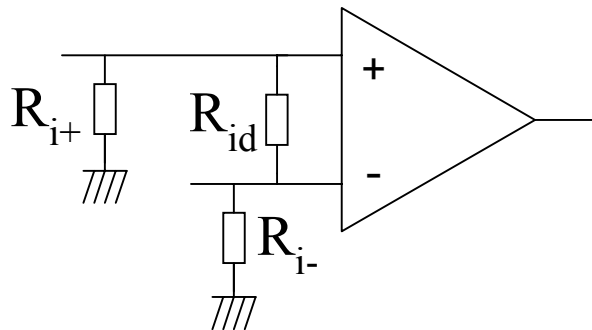
És la impedància mesurada entre els dos terminals d'entrada quan un d'ells es connecta a terra.

$$\text{uA741 (BJT)} \quad R_{id} \approx 2\text{M}\Omega$$

$$\text{TL071 (FET)} \quad R_{id} > 10\text{G}\Omega$$

- **Impedància d'entrada en mode comú**

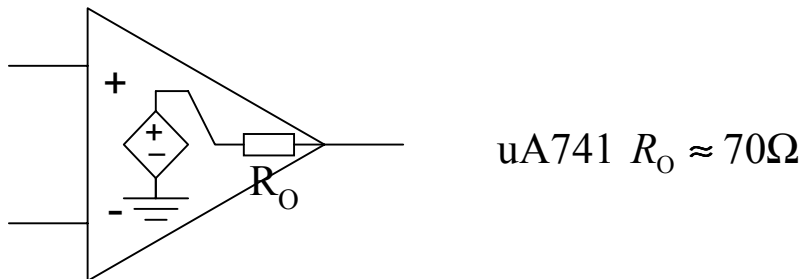
És la resistència entre cada una de les entrades i massa. Solen ser molt més grosses que R_{id} , i sovint es consideren infinites.



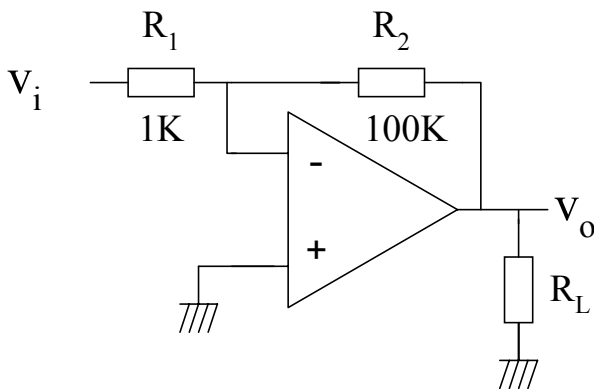
- Tot i que sovint es considera una impedància purament resistiva, per altes freqüències esdevenen capacitives

Impedància de sortida

És la impedància que es veu des de la sortida



Exemple: Amplificador inversor amb AmpOp de guany finit $A_d=10^4$ i $R_O=100\Omega$. Determinar R_L si volem que la desviació del guany respecte a l'ideal sigui $< 10\%$



Tensió d'*offset* d'entrada

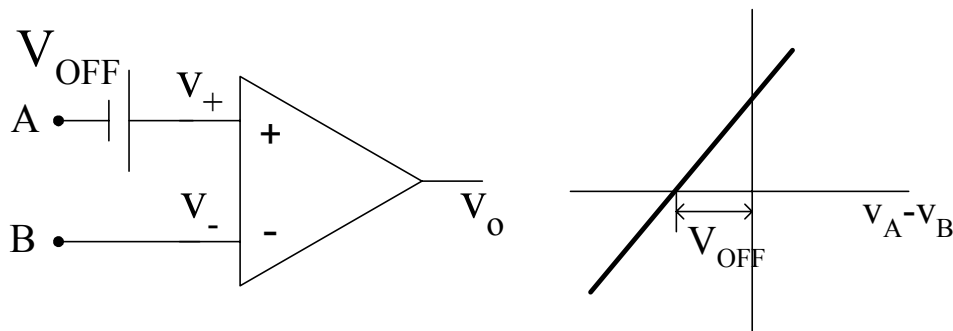
És la diferència entre v_+ i v_- tal que fa que $v_o = 0$.

Idealment $V_{OFF}=0$, però per exemple

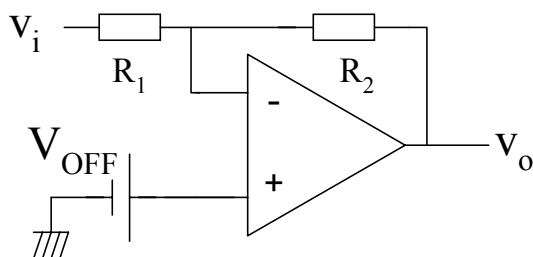
$$\text{uA741} \quad V_{OFF} \leq 6\text{mV}$$

$$\text{OP27} \quad V_{OFF} \leq 30\mu\text{V}$$

- La polaritat de la tensió d'offset no es pot preveure.
- Els valors donats per els fabricants són valors típics.
- Varia amb la temperatura

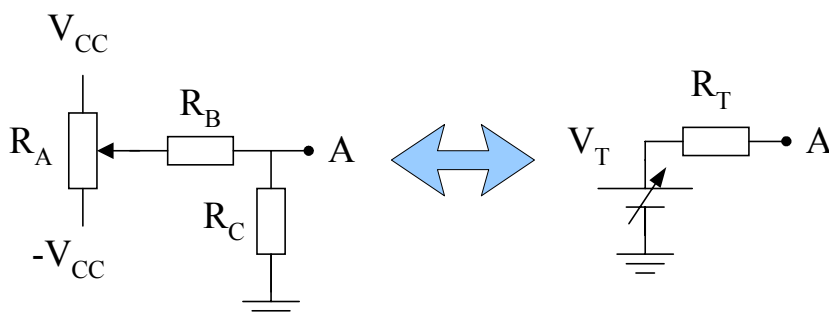
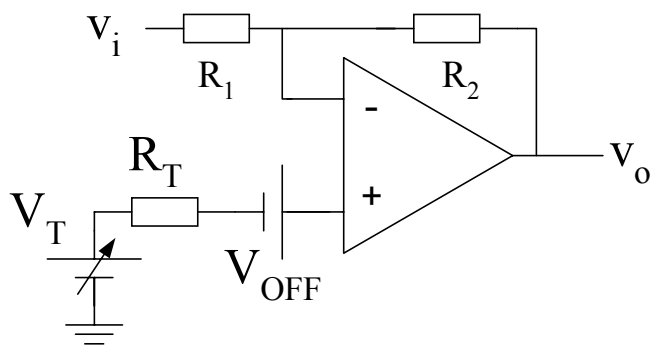


Exemple: Offset a un amplificador inversor



Tensió d'*offset* d'entrada

Com podem compensar l'efecte de l'offset?



Corrents d'entrada

Es diferencien dos tipus:

- **Corrent de polarització I_B**

$$I_B \equiv \frac{i_+ + i_-}{2} \quad \begin{array}{ll} \text{uA741} & 500 \text{ nA} \\ \text{uA714} & 7 \text{ nA} \end{array}$$

Depen fortament de la tecnologia de l'etapa d'entrada de l'AmpOp. Els que s'implementen amb transistors bipolars presenten una I_B variis ordres de magnitud majors que els que duen transistors FET

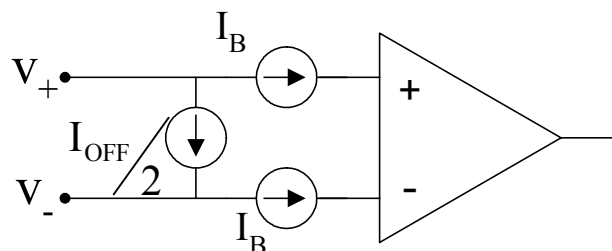
- **Corrent d'offset I_{OFF}**

$$I_{OFF} \equiv I_+ + I_- \quad \text{quan } v_+ = v_- = 0$$

Sovint es dona en valor absolut. uA741 200 nA
uA714 6 nA

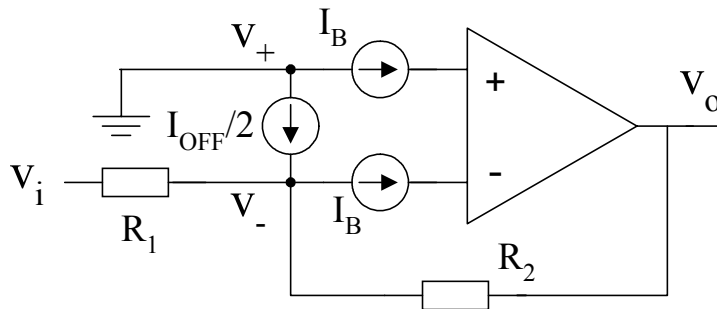
Notem que

$$\left. \begin{array}{l} I_B = \frac{I_+ + I_-}{2} \\ I_{OFF} = I_+ - I_- \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} I_+ = I_B + \frac{1}{2} I_{OFF} \\ I_- = I_B - \frac{1}{2} I_{OFF} \end{array}$$



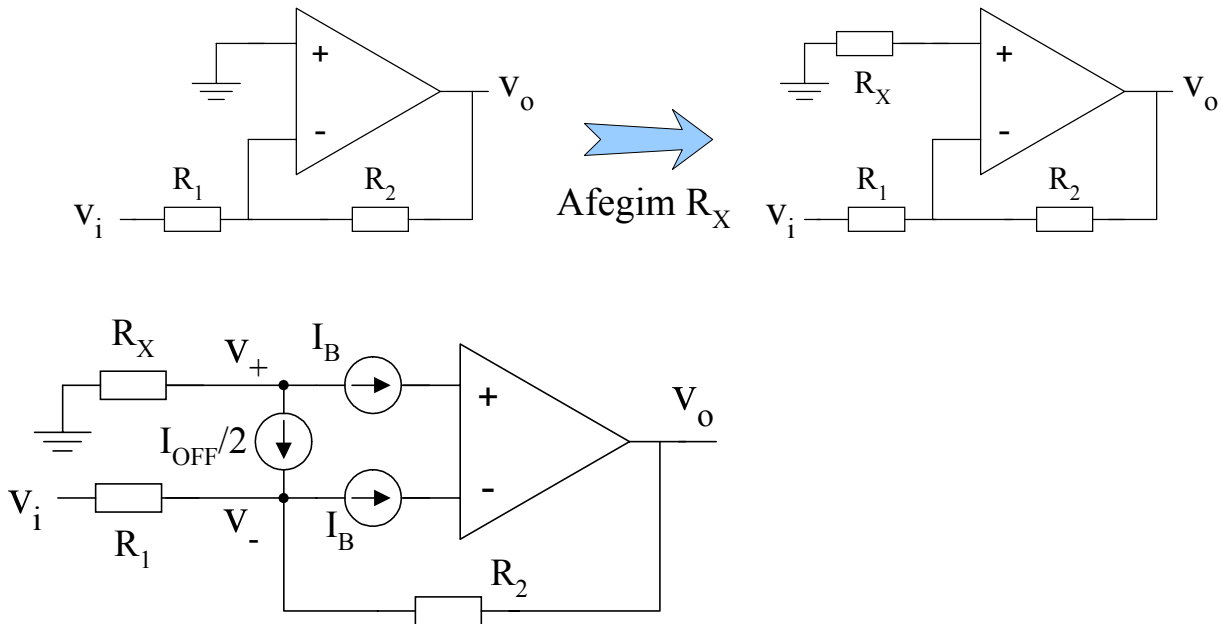
Corrents d'entrada

Vegem l'efecte en un amplificador inversor



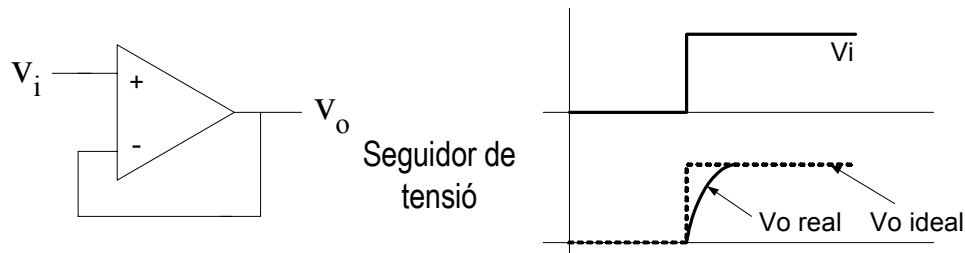
Corrents d'entrada

Vegem com compensar els corrents d'entrada afegint una R



Slew rate

- L'slew-rate dona idea de la velocitat de resposta de l'amplificador operacional



- Definim l'slew-rate com el pendent màxim de la sortida

$$SR = \left. \frac{dV_o}{dt} \right|_{max}$$

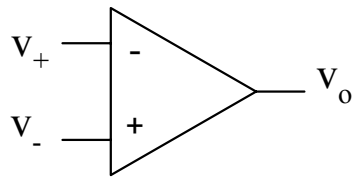
Es sol mesurar en V/ μ s
 uA741 SR=0.5 V/ μ s
 OPA327 SR>350 V/ μ s

- L'amplificador només amplificarà correctament senyals que presentin $\left. \frac{dV}{dt} \right|_{max} < SR$

- Si $V_i = A \sin \omega t$

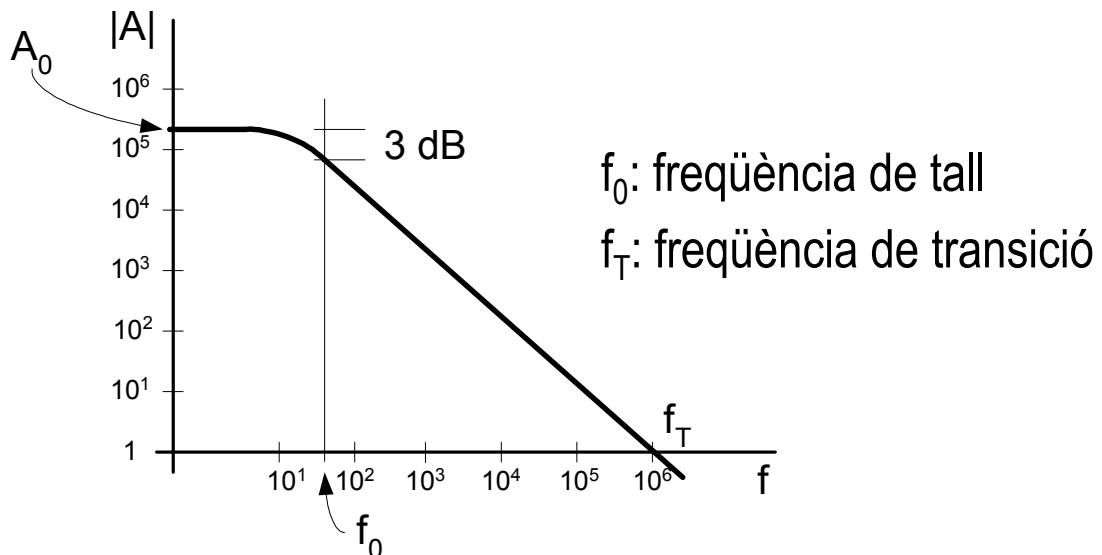
$$\left. \frac{dV_i}{dt} \right|_{max} = A\omega \cos \omega t \Big|_{max} = A\omega \Rightarrow A\omega < SR$$

Resposta freqüencial



$$v_o = A(v_+ - v_-)$$

- Idealment A és constant, no depen de la freqüència. Ara bé, als AmpOp reals es té un guany en llaç obert A que **SI** depen de la freqüència.



- De la gràfica es deriva que podem expressar el guany com una funció de transferència amb un pol a $f=f_0$ i un valor en contínua A_0 (aprox. $10^5 = 100\text{dB}$)

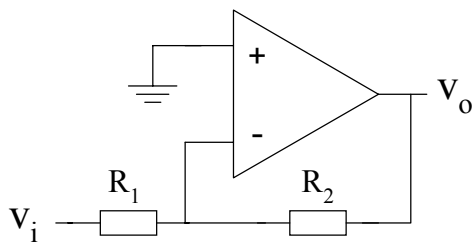
$$A(\omega) = \frac{A_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad \text{amb } \omega_0 = 2\pi f_0 \quad (f_0 \approx 10\text{Hz en el uA741})$$

f_0 és la freqüència de tall de l'A.O. en llaç obert

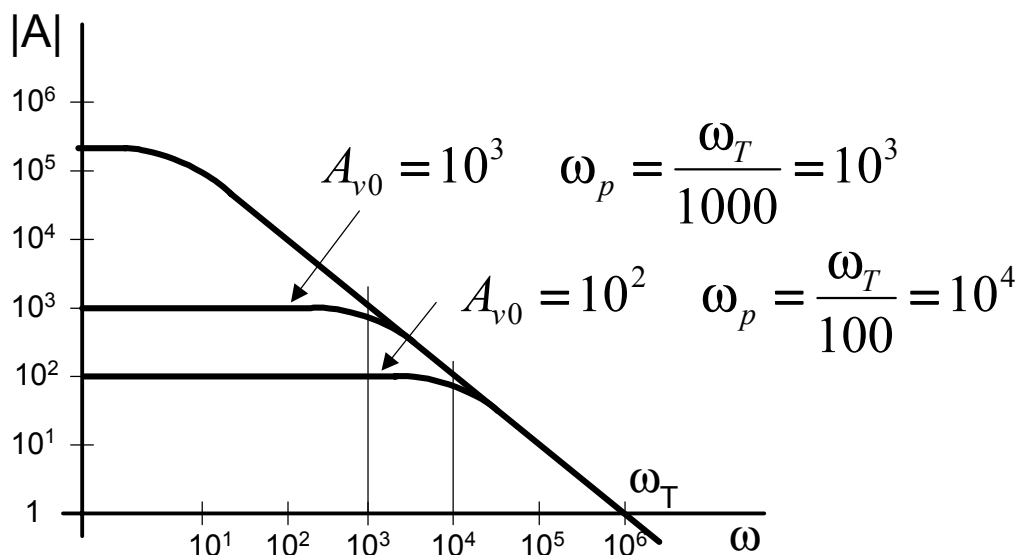
Resposta freqüencial

f_T és la freqüència de transició, o freqüència de guany 1
(freqüència a la que $|A|=0$ dB)

Un circuit amb A.O. Presentarà una dependència freqüencial malgrat no hi hagi L's o C's. Exemple: Amplificador Inversor



Resposta frequencial



Veim que:

$$A_{v0} \uparrow \Rightarrow \omega_p \downarrow$$

$$A_{v0} \downarrow \Rightarrow \omega_p \uparrow$$