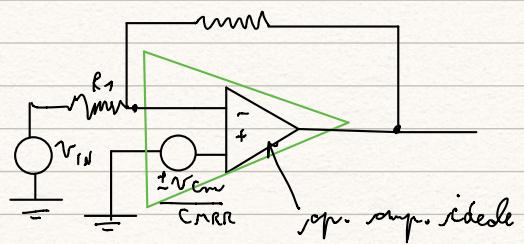
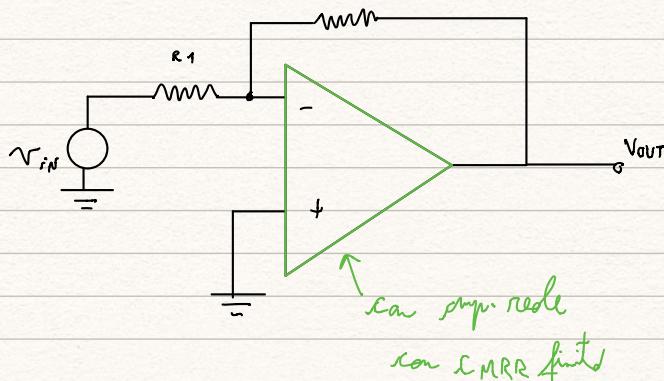


CONFIGURAZIONE INVERTENTE DI OP. AMP. REALG (tenendo conto di CMRR finito)



$V_{cm} = \text{tensione di modo comune ai morsetti dell'op. amp.}$

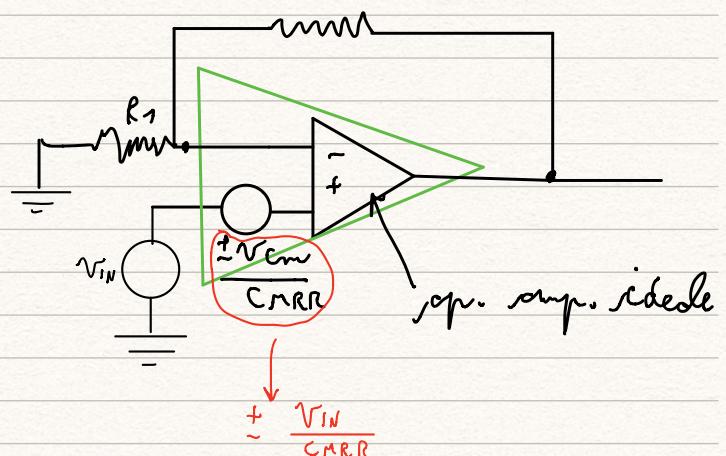
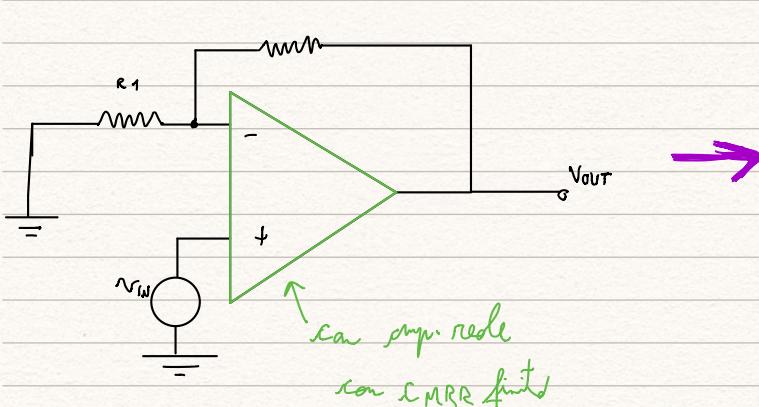
$$V_{cm} \stackrel{\Delta}{=} \frac{v^+ + v^-}{2} \quad \left\{ \begin{array}{l} v^+ = 0 \\ v^- \approx v^+ = 0 \end{array} \right. \implies V_{cm} = 0!$$

APPROXIMAZIONE

tenendo un op. opp. ideale, si è caratterizzato solo da gradino ad aperto A_0 DIFFERENZIALE e $A_0 \rightarrow \infty$

config. invertente immune dagli effetti di CMRR finito

CONFIG. NON INVERTENTE

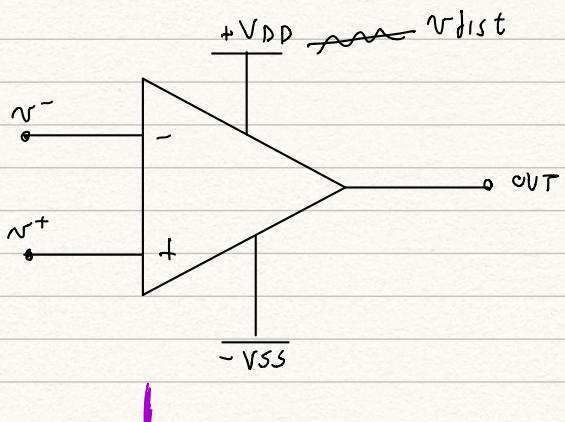


$$V_{cm} = \frac{v^+ - v^-}{2} \quad \left\{ \begin{array}{l} v^+ = V_{in} \\ v^- \approx v^+ = V_{in} \end{array} \right. \implies V_{cm} = V_{in}$$

APPROXIMAZIONE OPERAZIONALE IDEALE!

$$V_{out} = \left(V_{in} \pm \frac{V_{in}}{CMRR} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = V_{in} \left(1 \pm \frac{1}{CMRR} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

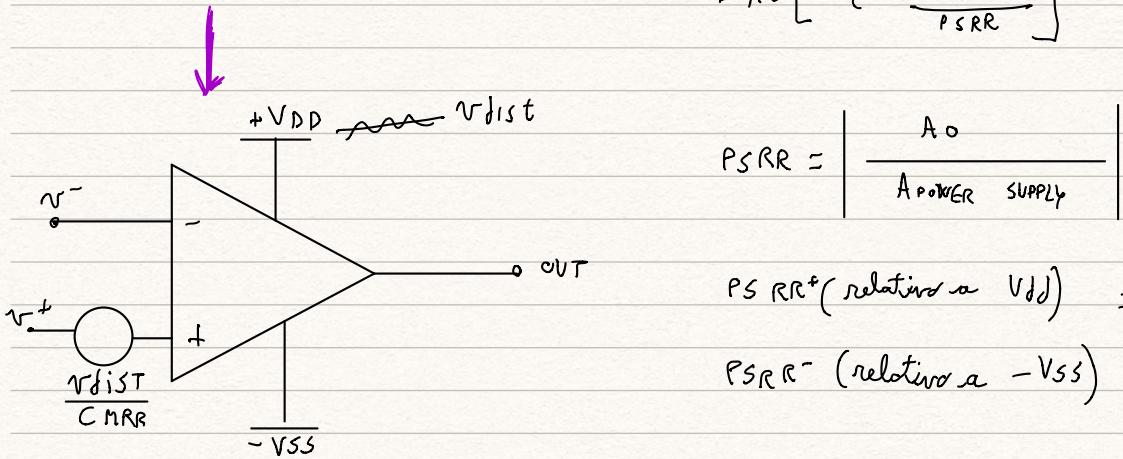
RAPPORTO DI REIEZIONE DELLA TENSIONE DI ALIMENTAZIONE: (POWER SUPPLY REJECTION RATIO - PSRR)



$$V_{out} = A_o V_E + A_{power\ supply} V_{dist} =$$

$$= A_o \left[V_E + \frac{A_{power\ supply} V_{dist}}{A_o} \right] =$$

$$= A_o \left[V_E \pm \frac{V_{dist}}{PSRR} \right]$$

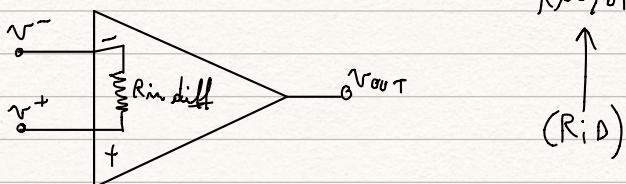


$$PSRR = \left| \frac{A_o}{A_{power\ supply}} \right|$$

$PSRR^+$ (relativa a V_{dd}) fornito dal datasheet
 $PSRR^-$ (relativa a $-V_{ss}$)

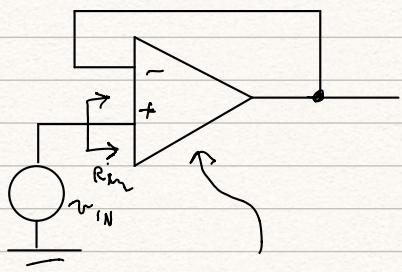
RESISTENZA D'INGRESSO FINITA E RESISTENZA D'INGRESSO NULLA. EFFETTO DELLA RETROAZIONE SULLE RESISTENZE VISTE IN UN CIRCUITO RETROAZIONATO

RESISTENZA DI INGRESSO FINITA

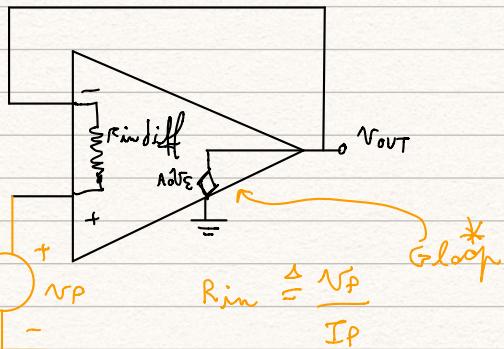


Rin,diff: resistenza di ingresso differenziale
 tra i morsetti dell'opamp
 (R_{id})

CONFIG. BUFFER DI TENSIONE:



op. amp. reale
con resistenza di ingresso
finita



$$R_{in,IDEALE} = \infty$$

$$i_p = \frac{V_\varepsilon}{R_{in,diff}} = \frac{V_p}{(1+A_o) R_{in,diff}}$$

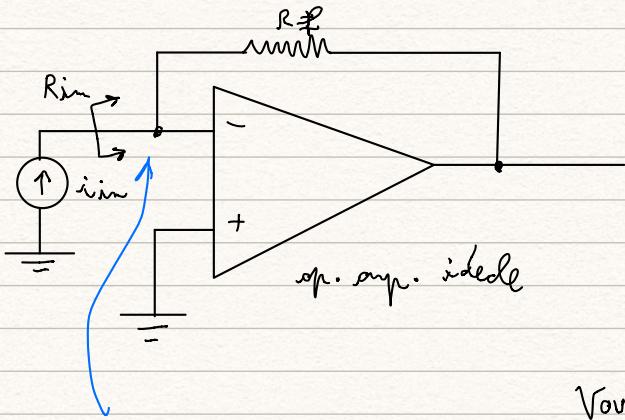
$$\begin{aligned} V_\varepsilon &= V_p - A_o V_\varepsilon \\ \hookrightarrow V_\varepsilon &= \frac{V_p}{1 + A_o} \end{aligned}$$

$$R_{in} \triangleq \frac{V_p}{I_p} = \frac{V_p}{\frac{V_p}{(1+A_o) R_{in,diff}}} = (1+A_o) R_{in,diff} = R_{in,diff} (1+A_o)$$

$$Gloop = -A_o$$

$$R_{in} = R_{in,0} (1 - Gloop^*)$$

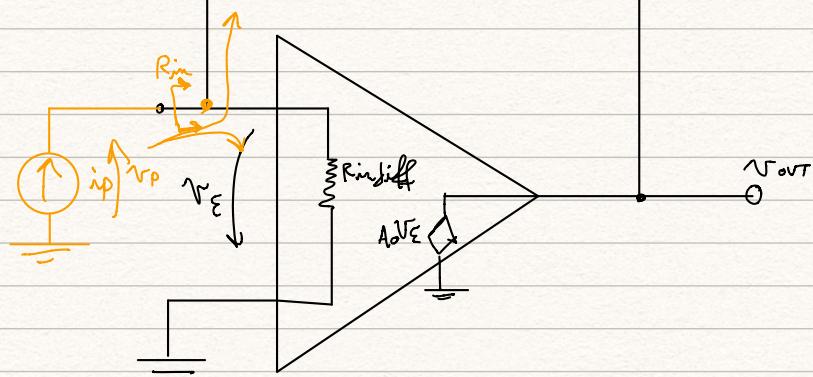
STADIO A TRANSIMPEDENZA:



TERRA VIRTUALE

$$V_{out,ideale} = -i_{in} R_f$$

$$G_{ideale} = \frac{V_{out}}{i_{in}} \Big|_{ideale} = -R_f$$



$$R_{in} \triangleq \frac{V_P}{i_P}$$

$$R_{in} = R_{in}^0 \frac{1 - G_{loop}}{1 - G_{loop}^*}$$

$$R_{in, ideal} = 0!$$

$$\left\{ \begin{array}{l} i_P = \frac{V_P}{R_{in, diff}} + \frac{V_P - A_o V_E}{R_f} \\ V_E = -V_P \end{array} \right.$$

$$\rightarrow i_P = \frac{V_P}{R_{in, diff}} + \frac{V_P + A_o V_P}{R_f} = V_P \left[\frac{1}{R_{in, diff}} + \frac{(1 + A_o)}{R_f} \right] =$$

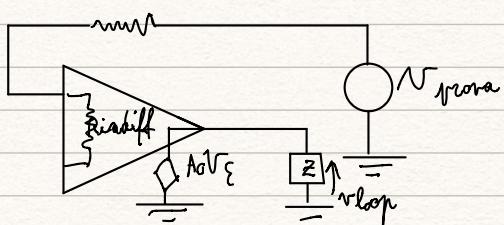
$$= \left[\frac{1}{R_{in, diff}} + \frac{(1 + A_o)}{R_f} \right]^{-1} = R_{in, diff} \parallel \left(\frac{R_f}{1 + A_o} \right) =$$

$$= R_{in, diff} \cdot \frac{\frac{R_f}{(1 + A_o)}}{R_{in, diff} + \frac{R_f}{1 + A_o}} = \frac{R_{in, diff} \cdot R_f}{R_{in, diff} + R_f} \cdot \frac{1}{1 + A_o} \cdot \frac{R_{in, diff}}{R_{in, diff} + R_f}$$

$$R_{in} = \left(R_{in, diff} \parallel R_f \right) \cdot \frac{1}{1 + E A_o} \cdot \frac{R_{in, diff}}{R_{in, diff} + R_f}$$

R_{in}^0 : resistenza vista
a retroazione spenta

CALCOLO G_{loop}^*

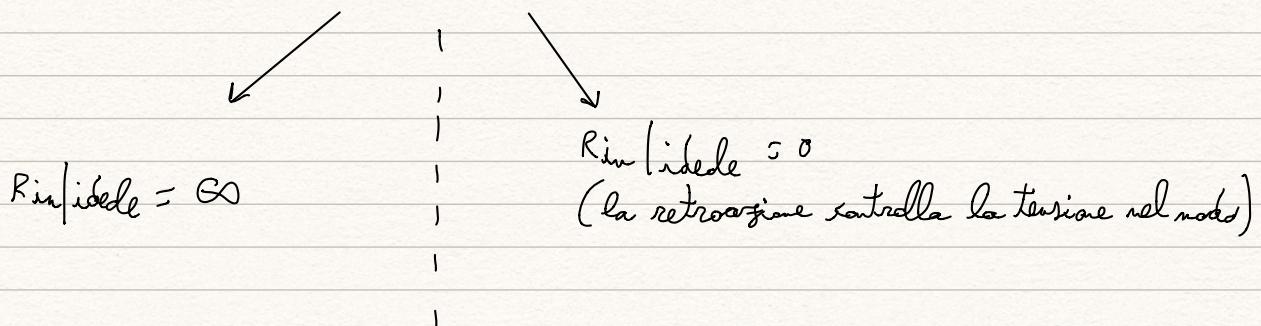


$$G_{loop}^* \triangleq \frac{V_{loop}}{V_{out}} = -\frac{R_{in, diff} \cdot R_f}{R_{in, diff} + R_f} \cdot A_o$$

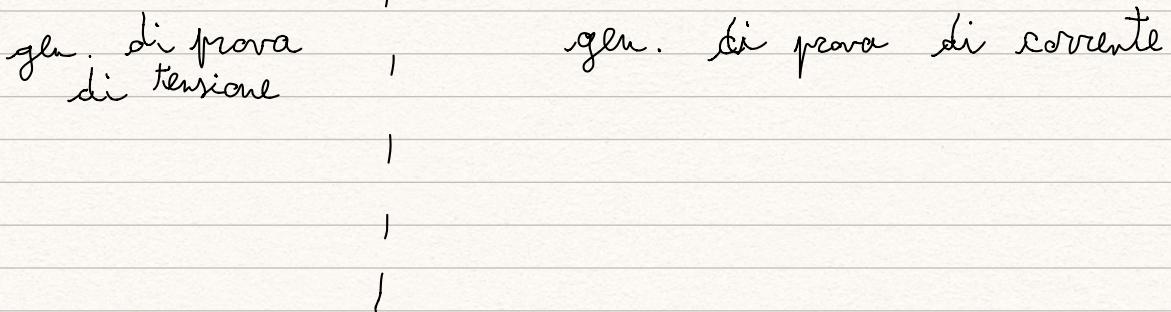
METODO DI CALCOLO DELLA RESISTENZA VISTA IN UN

CIRCUITO RETROAZIONATO

1) Qual'è la resistenza vista nel caso ideale?



2) Applico il generatore di prova opportuno, che non "uccide la retroazione"



3) Calcolo il guadagno d'anello della nuova configurazione circolare (G_{loop}^*)
Se ho effettuato la scelta errata del generatore $G_{loop}^* = 0$! (ovvero) \rightarrow Cambio generatore

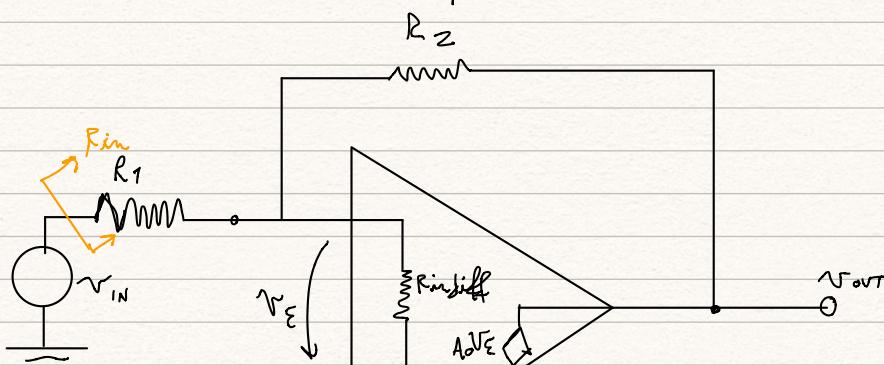
4) Calcolo la resistenza vista "a retroazione spenta" (assumendo $A_0 = 0$) $\rightarrow R_{in}^0$

5) Ottengo la resistenza vista

$$R_{in} = R_{in}^0 (1 - G_{loop}^*)$$

$$R_{in} = \frac{R_{in}^0}{1 - G_{loop}^*}$$

cioè la retroazione tende a ripristinare le condizioni di idealità



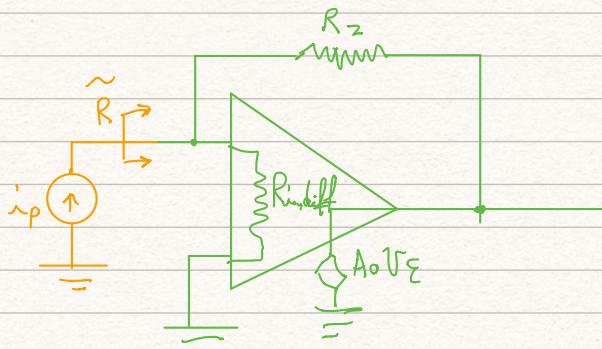
$$R_{in,ideal} = R_1$$

$$R_{in} = R_1 + \boxed{R}$$

modificata dalla retroazione

$$\tilde{R}|_{ideal} = 0$$

$$\tilde{R} = \frac{\tilde{R}^o}{1 - G_{loop}^*}$$

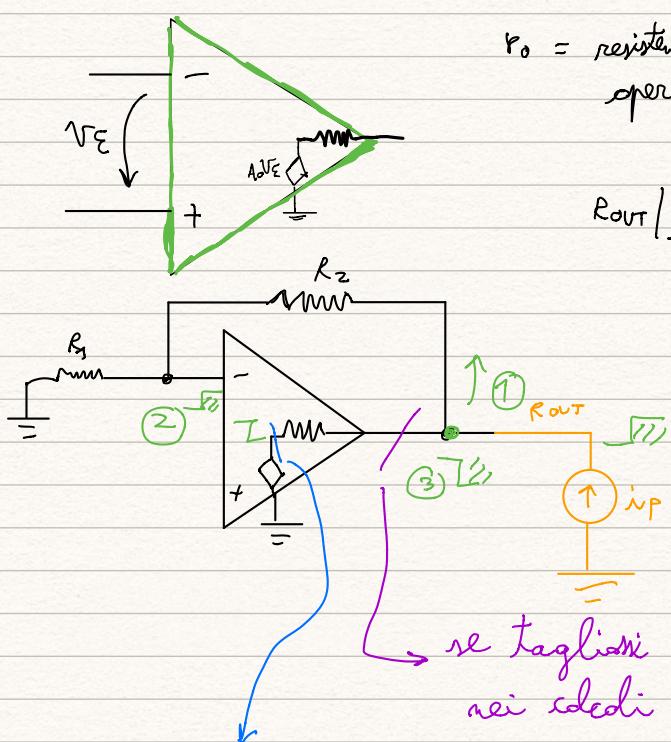


$$\tilde{R}_{ideal} = 0$$

$$\tilde{R} = \frac{\tilde{R}^o}{1 - G_{loop}^*}$$

$$R_{in} = R_1 + \frac{R_{in\ diff}}{1 + A_o \frac{R_{in\ diff}}{R_{in\ diff} + R_2}}$$

RESISTENZA DI USCITA NON NULLA



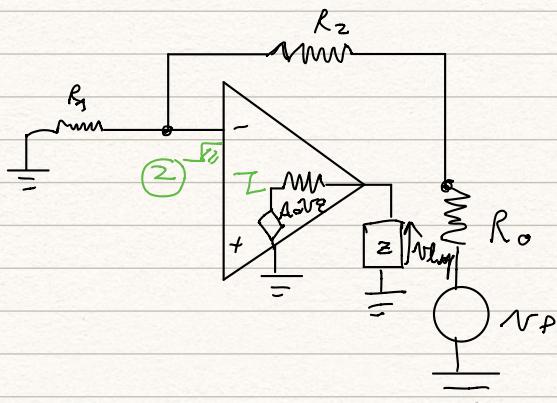
R_o = resistenza di uscita non nulla dell'amplificatore operazionale

$$R_{out\ ideal} = 0$$

la retroazione controlla la tensione del nodo di uscita

se tagliassi qui il valore di impedenza ricontrollata entra nei calcoli di G_{loop}^*

se taglio qui il valore di impedenza riconstruita non entra nei calcoli
di loop*



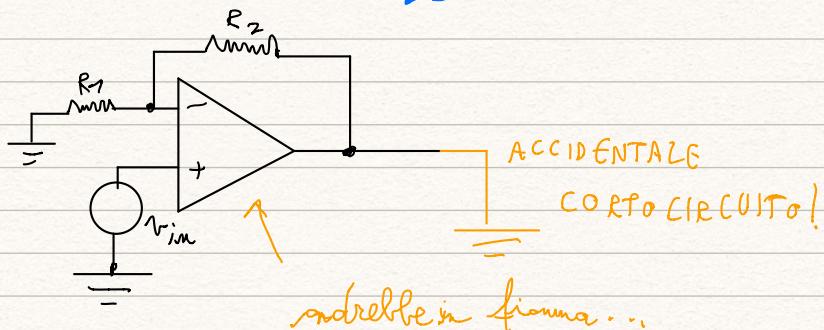
$$Z = R_0 + R_2 + R_1$$

$$G_{\text{Loop}} = \frac{V_{\text{loop}}}{V_p} = \frac{-R_1}{R_1 + R_2 + r_o} \quad A_o \approx -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad A_o$$

$$R_{\text{out}}^o \quad (\text{con } A_o = 0) \quad R_{\text{out}}^o = r_{\text{out}} / (R_2 + R_1) \approx r_o$$

$$\downarrow \\ V_{\text{out}} = \frac{R_{\text{out}}^o}{1 - G_{\text{loop}}} \quad V_{\text{out}}$$

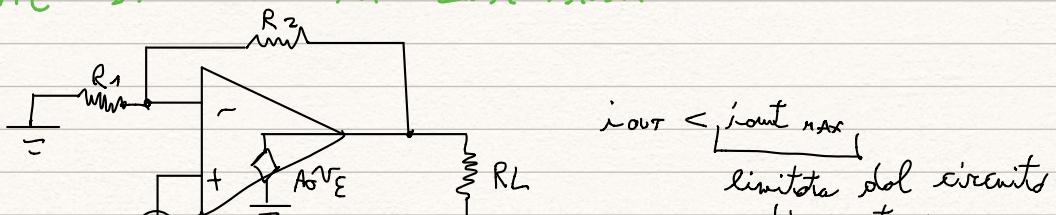
FUNZIONAMENTO DELL' OP AMP PER GRANDI SEGNALI



CIRCUITI DI PROTEZIONE CHE LIMITANO LA CORRENTE

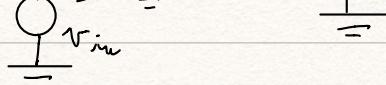
D I USCITA

CORRENTE DI USCITA LIMITATA:



$$i_{\text{out}} < i_{\text{out max}}$$

limitata dal circuito



di protezione

$$i_{out} = \frac{V_{out}}{R_L} + \frac{V_{out}}{R_2 + R_1} < i_{out}|_{max}$$

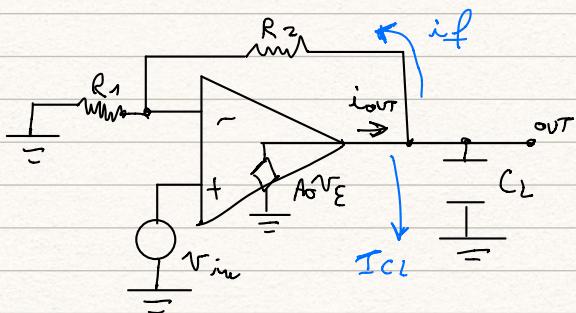
$$i_{out}|_{max} = \frac{\Delta V_{out}|_{max}}{R_{min}}$$

\uparrow minore valore di resistenza di carico che l'amplificatore operazionale può pilotare "a piena potenza", cioè con un segnale di massima dinamica

PER NON AVERE DISTORSIONI:

$$R_{eq} = \underbrace{R_L / (R_2 + R_1)}_{\approx R_L} > R_{min}$$

Che cosa accade se pilota in corso capacitivo?



$$i_{out} = \frac{V_{out}}{R_2 + R_1} + i_{CL}$$

$$i_{CL} = C_L \frac{dV_{out}}{dt}$$

approximation
 $i_{CL} > \frac{V_{out}}{R_2 + R_1}$ (in generale)

$$i_{CL}|_{max} = i_{out}|_{max} - \frac{V_{out}}{R_2 + R_1} \approx i_{out}|_{max}$$

$$C_L \frac{dV_{out}}{dt} = i_{out}|_{max} - \frac{V_{out}}{R_2 + R_1} \quad (\text{slew-rate esterno})$$

$$\left. \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{max} = \frac{1}{C_L} \left[i_{out}|_{max} - \frac{V_{out}}{R_2 + R_1} \right]$$

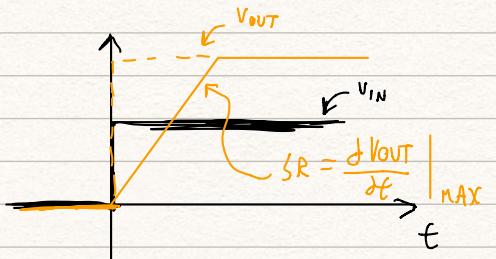
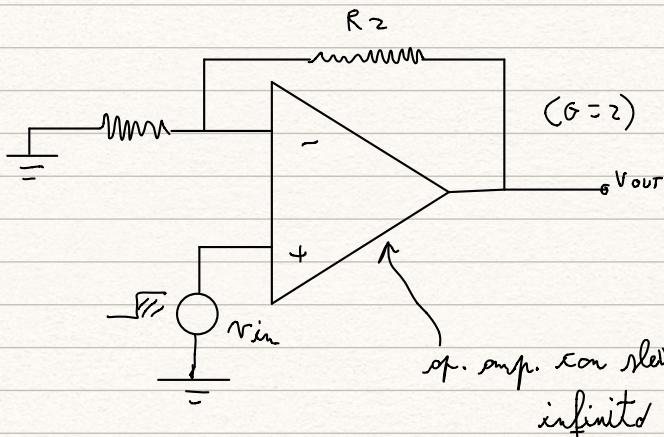
POSSIBILE DISTORSIONE!!

* SLEW-RATE (SR) (interno)

$$SR = \left| \frac{dV_{OUT}}{dt} \right|_{MAX}$$

$$0.1 \text{ V}/\mu\text{s} < SR < 100 \text{ V}/\mu\text{s}$$

limite della pendenza
della tensione di uscita



in presenza di un ingresso sinusoidale

$$V_{IN}(t) = A_{IN} \sin(2\pi f t)$$

grado di guadagno dello stadio

$$V_{OUT}(t) = A_{OUT} \sin(2\pi f t) \quad \text{dove } A_{OUT} = A_{IN} \cdot G$$

Massima pendenza della tensione di uscita

$$\omega = 2\pi f$$

$$\left| \frac{dV_{OUT}}{dt} \right|_{MAX} = A_{OUT} 2\pi f \cos \omega t \Big|_{MAX} = A_{OUT} 2\pi f < SR$$

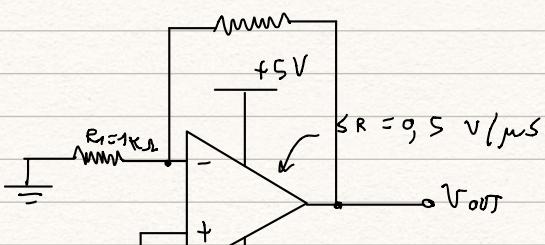
V_{FS} = massima estensione positiva o negativa (rispetto uguale della tensione di uscita)

$$V_{FS} 2\pi f < SR$$

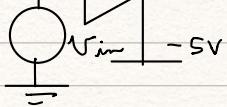
$$f_{MAX} < \frac{SR}{2\pi V_{FS}}$$

LARGHEZZA DI BANDA A PIENA POTENZA

esercizio



$$\begin{aligned} f &= 10 \text{ kHz} & \omega &= 2\pi f \\ V_{IN}(t) &= A_{IN} \sin(\omega t) \\ \text{Giduale} &\triangleq \frac{|V_{OUT}|}{|V_{IN}|} = 1 + R_2 = 10 \end{aligned}$$



V_{IN} ideale

R_L

$A_{in}|_{max}$ per non avere distorsioni in uscita?

$$V_{out}(t) = A_{out} \sin \omega t$$

$$\left. \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{max} = A_{out} \omega = \text{Gidole} A_{in} 2\pi f < SR$$

$$A_{in} < \frac{SR}{2\pi f \text{ Gidole}} = \frac{0,5 \text{ V/mV}}{2\pi \cdot 10 \text{ KHz} \cdot 10} = 7,96 \text{ mV}$$

$\hookrightarrow A_{out} = 7,96!!$ uscirebbe una V_{out} superiore a 5V, ritornando a quel valore

non sono limitati da SR ma dalla saturazione della tensione di uscita