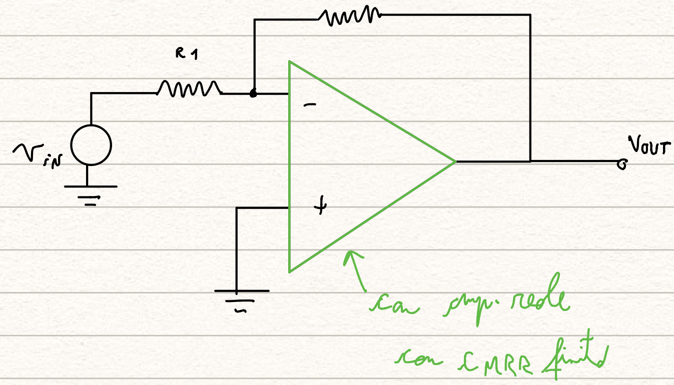
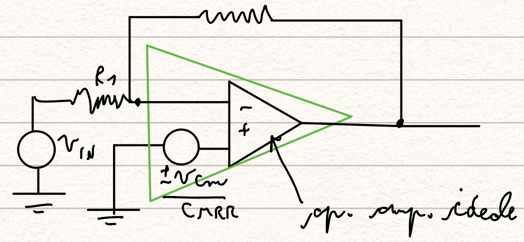
# CONFIGURAZIONE INVERTENTE DI OP. AMP. REALE (tenendo conto di CMRR finito)




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

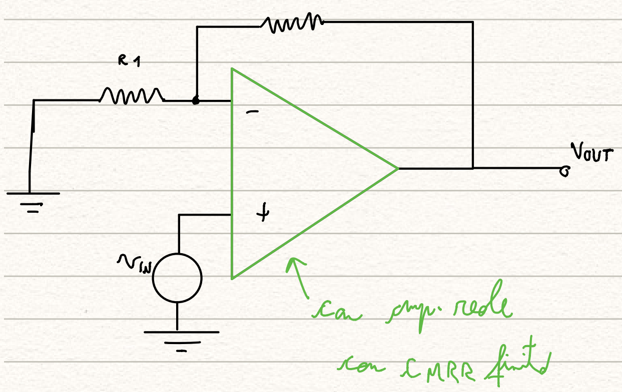
$$V_{cm} \triangleq \frac{V^+ + V^-}{2} \qquad \begin{cases} V^+ = 0 \\ V^- \simeq V^+ = 0 \end{cases} \Longrightarrow V_{cm} = 0!$$

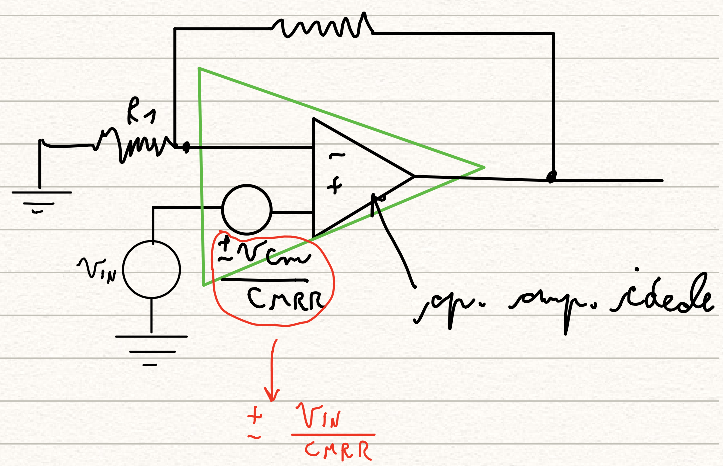
APPROSSIMAZIONE

assumendo un op. amp. ideale, cioè caratterizzato solo da guadagno ad anello aperto $A_0$ DIFFERENZIALE e $A_0 \to \infty$

config. invertente immune dagli effetti di CMRR finito

## CONFIG. NON INVERTENTE



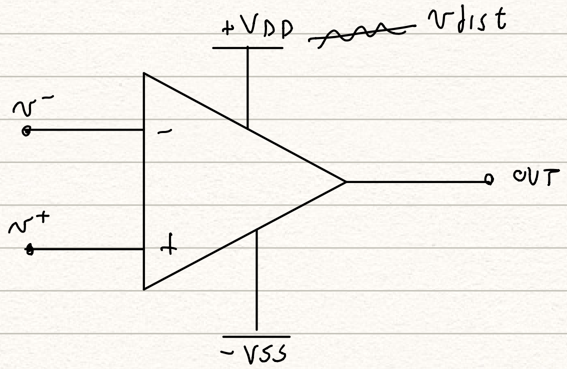




$$V_{cm} = \frac{V^+ - V^-}{2} \qquad \begin{cases} V^+ = V_{IN} \\ V^- \simeq V^+ = V_{IN} \end{cases} \Longrightarrow V_{cm} = V_{IN}$$

APPROSSIMAZIONE OPERAZIONALE IDEALE!

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

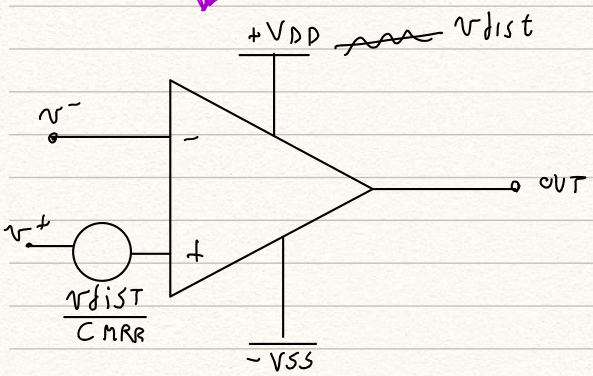
## RAPPORTO DI REIEZIONE DELLA TENSIONE DI ALIMENTAZIONE:
## (POWER SUPPLY REJECTION RATIO - PSRR)




$$V_{OUT} = A_0 V_\varepsilon + A_{power\ supply}\, v_{dist} =$$

$$= A_0 \left[ v_\varepsilon + \frac{A_{power\ supply}}{A_0} v_{dist} \right] =$$

$$= A_0 \left[ v_\varepsilon \pm \frac{v_{dist}}{PSRR} \right]$$



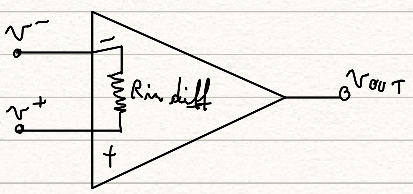

$$PSRR = \left| \frac{A_0}{A_{power\ supply}} \right|$$

$PSRR^+$ (relativo a $V_{dd}$) fornito dal datasheet

$PSRR^-$ (relativo a $-V_{ss}$)

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

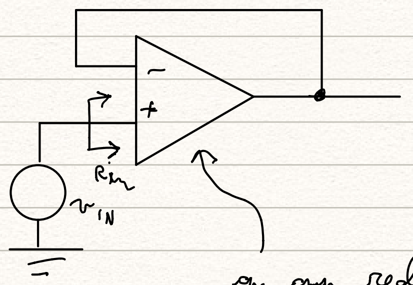
### RESISTENZA DI INGRESSO FINITA

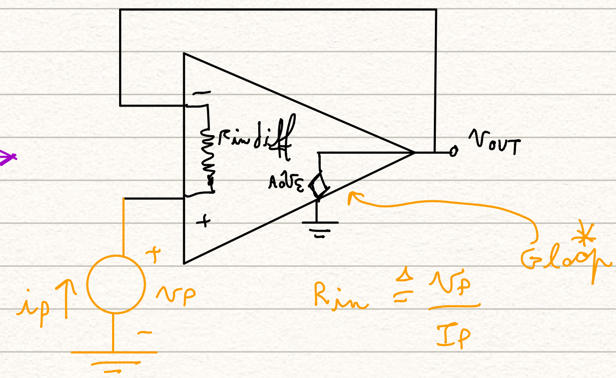



$R_{in,diff}$: resistenza di ingresso differenziale tra i morsetti dell'OPAMP

($R_{iD}$)

CONFIG. BUFFER DI TENSIONE:




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

$R_{in_{IDEALE}} = \infty$

$i_P = \frac{V_\varepsilon}{R_{in}diff} = \frac{V_P}{(1+A_0)R_{in,diff}}$

$V_\varepsilon = V_P - A_0 V_\varepsilon$

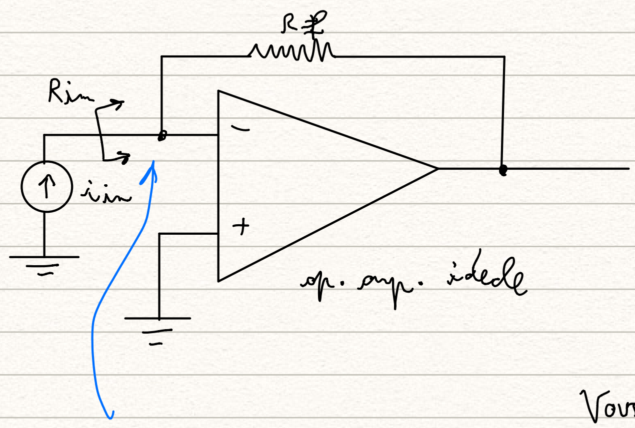
$\hookrightarrow V_\varepsilon = \frac{V_P}{1+A_0}$

$R_{in} \triangleq \frac{V_P}{I_P} = \frac{\cancel{V_P}}{\cancel{V_P}} (1+A_0) R_{in,diff} = R_{in}diff\,(1+A_0)$

$G_{loop} = -A_0$

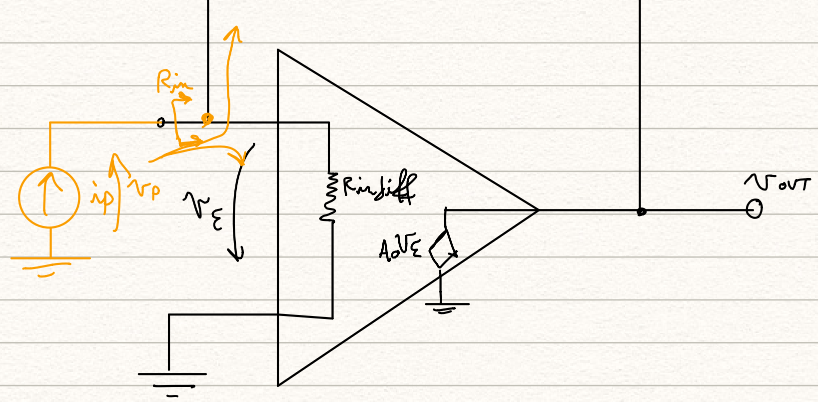
$R_{in} = R_{in_0}(1 - G_{loop}^*)$

## STADIO A TRANSIMPEDENZA:




$V_{OUT}|_{ideale} = -i_{in} R_f$

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




$$R_{in} \triangleq \frac{v_p}{i_p}$$

$$\boxed{\begin{array}{l} R_{in} = \dfrac{R_{in}^{0}}{1 - G_{loop}^{*}} \\ R_{in,\,IDEALE} = 0! \end{array}}$$

$$\begin{cases} i_p = \dfrac{v_p}{R_{in\,diff}} + \dfrac{v_p - A_0 v_\varepsilon}{R_f} \\ v_\varepsilon = -v_p \end{cases}$$

$$i_p = \frac{v_p}{R_{in,\,diff}} + \frac{v_p + A_0 v_p}{R_f} = v_p \left[ \frac{1}{R_{in,\,diff}} + \frac{(1+A_0)}{R_f} \right] =$$

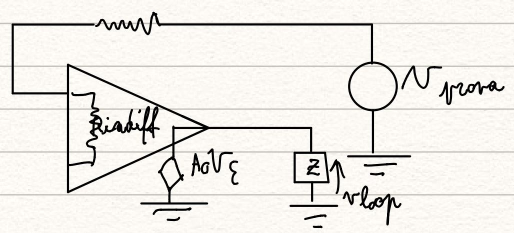
$$= \left[ \frac{1}{R_{in,\,diff}} + \frac{(1+A_0)}{R_f} \right]^{-1} = R_{in,\,diff} \;//\; \left( \frac{R_f}{1+A_0} \right) =$$

$$= \frac{R_{in\,diff} \cdot \dfrac{R_f}{(1+A_0)}}{R_{in\,diff} + \dfrac{R_f}{1+A_0}} = \frac{R_{in\,diff} \cdot R_f}{R_{in\,diff} + R_f} \cdot \frac{1}{1 + A_0 \dfrac{R_{in\,diff}}{R_{in\,diff} + R_f}}$$

$$R_{in} = \underbrace{\left( R_{in\,diff} \;//\; R_f \right)}_{R_{in}^{0}} \qquad \frac{1}{1 - \left[ A_0 \dfrac{R_{in\,diff}}{R_{in\,diff} + R_f} \right]}$$

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

CALCOLO $G_{LOOP}^{*}$




$$G_{loop}^{*} \triangleq \frac{v_{loop}}{v_{prova}} = \frac{-R_{in\,diff}}{R_{in\,diff} + R_f} A_0$$

# METODO DI CALCOLO DELLA RESISTENZA VISTA IN UN CIRCUITO RETROAZIONATO

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

$R_{in}|_{ideale} = \infty$

$R_{in}|_{ideale} = 0$
(la retroazione controlla la tensione nel nodo)

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

gen. di prova di tensione

gen. di prova di corrente

3) Calcolo il guadagno d'anello della nuova configurazione circuitale ($G^*_{loop}$)
Se ho effettuato la scelta errata del generatore $G^*_{loop} = 0$!! (assurdo) → cambio generatore

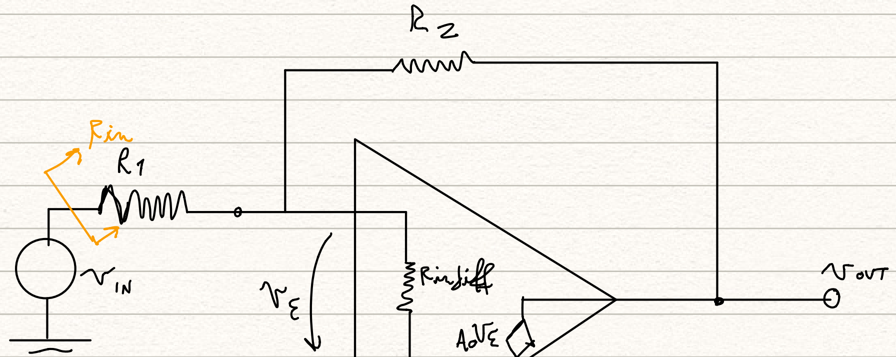
4) Calcolo la resistenza vista "a retroazione spenta" (assumendo $A_0 = 0$) ⟶ $R_{in}^0$

5) Ottengo la resistenza vista

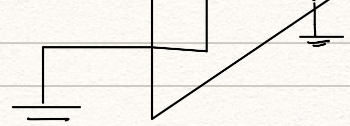
$$R_{in} = R_{in}^0 (1 - G^*_{loop})$$

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

cioè la retroazione tende a ripristinare le condizioni di idealità



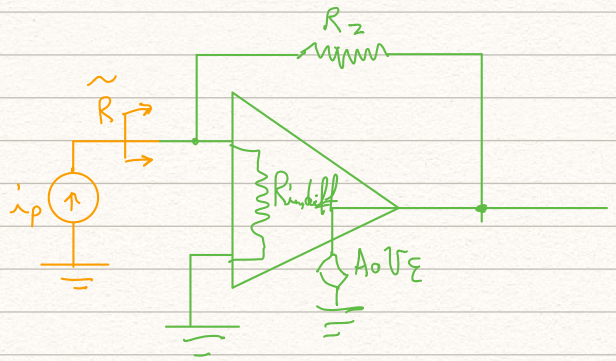

$R_{in}|_{ideale} = R_1$



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

modificato dalla retroazione

$\tilde{R}|_{ideale} = 0$ $\qquad \tilde{R} = \dfrac{\tilde{R}^0}{1 - G_{loop}^*}$

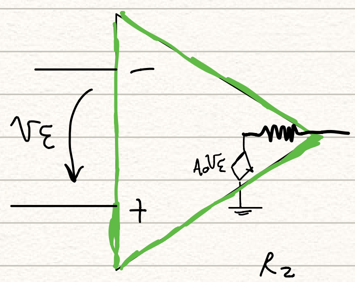



$\tilde{R}_f|_{ideale} = 0$

$\tilde{R} = \dfrac{\tilde{R}^0}{1 - G_{loop}^*}$

$$R_{in} = R_1 + \frac{R_{in,diff} // R_2}{1 + A_0 \dfrac{R_{in,diff}}{R_{in,diff} + R_2}}$$

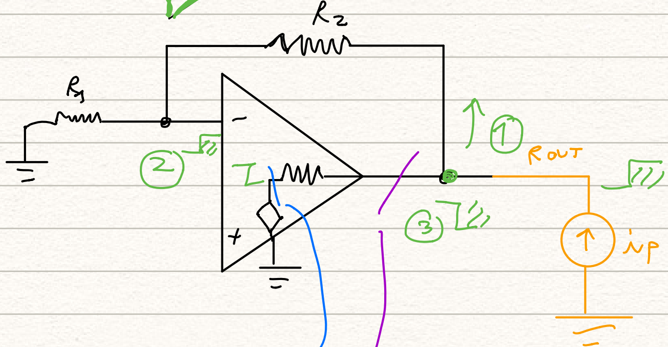
# RESISTENZA DI USCITA NON NULLA




$r_0$ = resistenza di uscita non nulla dell'amplificatore operazionale

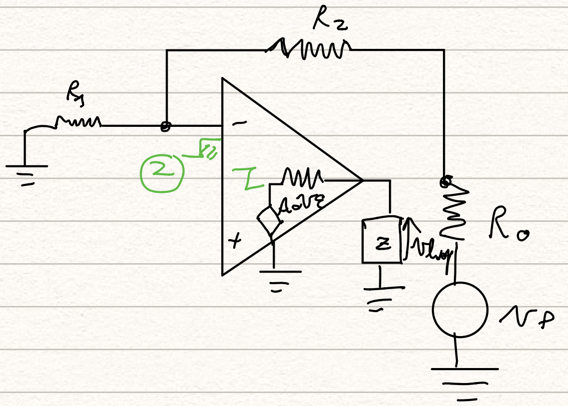
$R_{OUT}|_{ideale} = 0$

la retroazione controlla la tensione del nodo di uscita




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

se taglio qui il valore di impedenza ricostruita non entra nei calcoli di $G_{loop}^*$




$Z = r_o + R_2 + R_1$

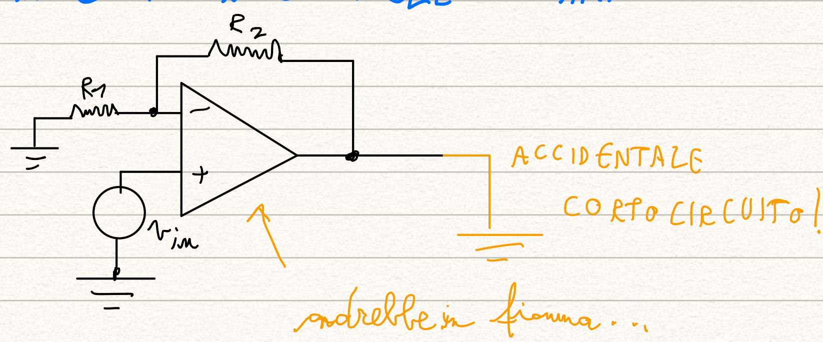
$$G_{loop}^* = \frac{V_{loop}}{v_P} = \frac{-R_1}{R_1 + R_2 + r_o} A_0 \simeq -\frac{R_1}{R_1 + R_2} A_0$$

$R_{OUT}^0$ (con $A_0 = 0$) $\quad R_{OUT}^0 = r_o // (R_2 + R_1) \simeq r_o$

$\downarrow$

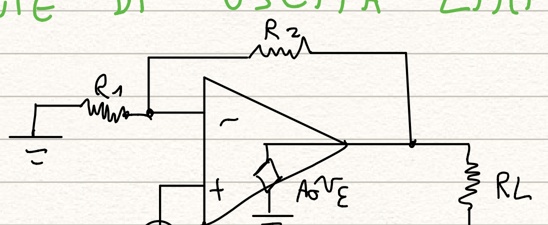
$$r_{OUT} = \frac{R_{OUT}^0}{1 - G_{loop}^*}$$

## FUNZIONAMENTO DELL' OPAMP PER GRANDI SEGNALI

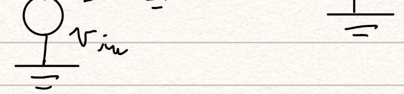



## CIRCUITI DI PROTEZIONE CHE LIMITANO LA CORRENTE DI USCITA

## CORRENTE DI USCITA LIMITATA:




$i_{OUT} < \underbrace{i_{out\,MAX}}_{\text{limitata dal circuito}}$




di protezione

$$i_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{R_L} + \frac{V_{OUT}}{R_2 + R_1} < i_{OUT}\Big|_{MAX}$$

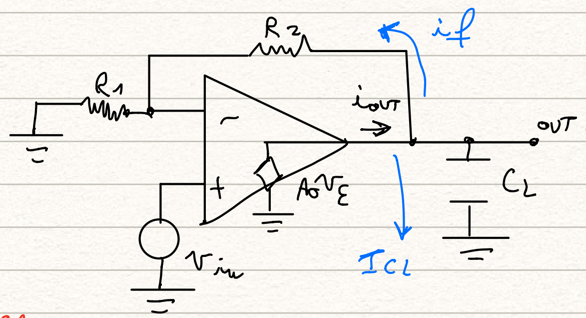
$$i_{OUT}\Big|_{MAX} = \frac{\Delta V_{OUT}\Big|_{MAX}}{R_{min}}$$

minimo 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:

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

Che cosa accade se piloto un carico capacitivo?




$$i_{out} = \overbrace{\frac{V_{OUT}}{R_2 + R_1}}^{i_f} + i_{CL}$$

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

approssimazione

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

$$i_{CL}\Big|_{MAX} = i_{out}\Big|_{MAX} - \frac{V_{OUT}}{R_2 + R_1} \simeq i_{out}\Big|_{MAX}$$

$$C_L \frac{dV_{OUT}}{dt} = i_{OUT}\Big|_{MAX} - \frac{V_{OUT}}{R_2 + R_1}$$

(slew-rate "esterno")

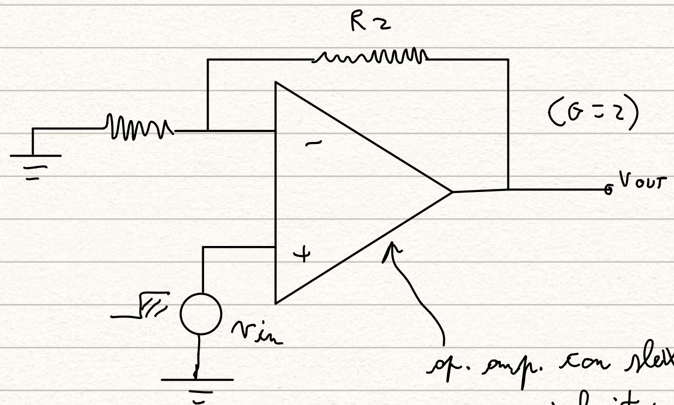
$$\frac{dV_{OUT}}{dt}\Big|_{MAX} = \frac{1}{C_L}\left[ i_{OUT}\Big|_{MAX} - \frac{V_{OUT}}{R_2 + R_1} \right]$$

POSSIBILE DISTORSIONE!!

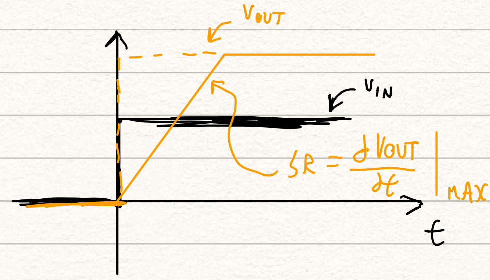
* SLEW-RATE (SR) (interno)

$$SR = \left.\frac{dV_{OUT}}{dt}\right|_{MAX} \qquad 0.1\ V/\mu s < SR < 100\ V/\mu s$$

limite della pendenza della tensione di uscita




op. amp. con slew rate infinito




in presenza di un ingresso sinusoidale

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

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 $\qquad w = 2\pi f$

$$\left.\frac{dV_{OUT}}{dt}\right|_{MAX} = A_{OUT}\, 2\pi f \left.\cos wt\right|_{MAX} = A_{OUT}\, 2\pi f < SR$$

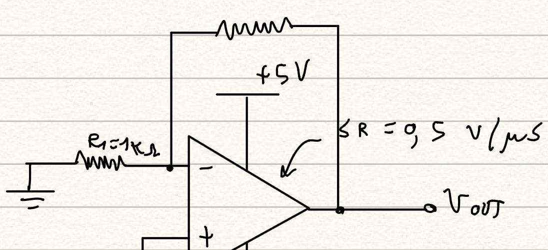
$V_{FS}$ = massima escursione positiva o negativa (supposte uguali della tensione di uscita)

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

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

LARGHEZZA DI BANDA A PIENA POTENZA

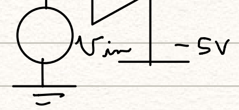
esercizio




$f = 10\ kHz \qquad w = 2\pi f$

$V_{in}(t) = A_{in} \sin(wt)$

$G_{ideale} \triangleq \left.\frac{V_{OUT}}{\ldots}\right| \ldots = 1 + \frac{R_2}{\ldots} = 10$




$v_{IN}|_{ideale}$ $\quad R_1$

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

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

$$\left.\frac{dV_{OUT}}{dt}\right|_{MAX} = A_{OUT}\,\omega = G_{ideale}\, A_{in}\, 2\pi f < SR$$

$$A_{in} < \frac{SR}{2\pi f\, G_{ideale}} = \frac{0{,}5\, V/\mu s}{2\pi\, 10\,kHz \cdot 10} = 796\, mV$$

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

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