



WWW.ALGORITMOSTEM.IT

SCIENCE TECHNOLOGY ENGINEERING MATHEMATICS

Appunti Amplificatori Operazionali

IIS2 - ELETTRONICA

rev.0.9 - 02 set 2023

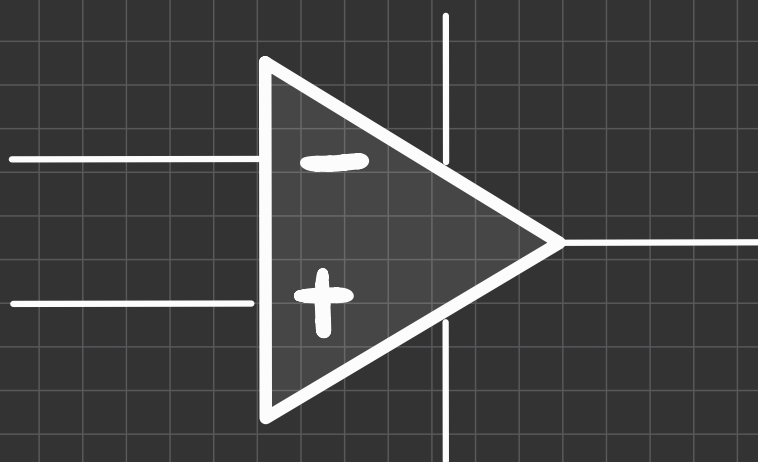
Draft version

Appunti in formato bozza, intesi esclusivamente di ausilio alle lezioni, che le integrano nelle descrizioni e nei ragionamenti su quanto viene riportato in queste pagine.

Licenza Creative Commons
CCBYNCND.

È consentita la condivisione del documento originale a condizione che non venga modificato né utilizzato a scopi commerciali, sempre attribuendo la paternità dell'opera all'autore

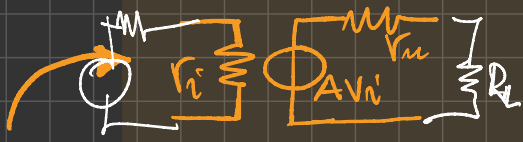
AMPLIFICATORI OPERAZIONALI



- definizione e caratteristiche
- Funzionamento in zona lineare
 - configurazione invertente
 - configurazione non invertente
- Funzionamento in zona di saturazione
 - comparatore

AMPLIFICATORE OPERAZIONALE

CIRCUITO EQUIVALENTE



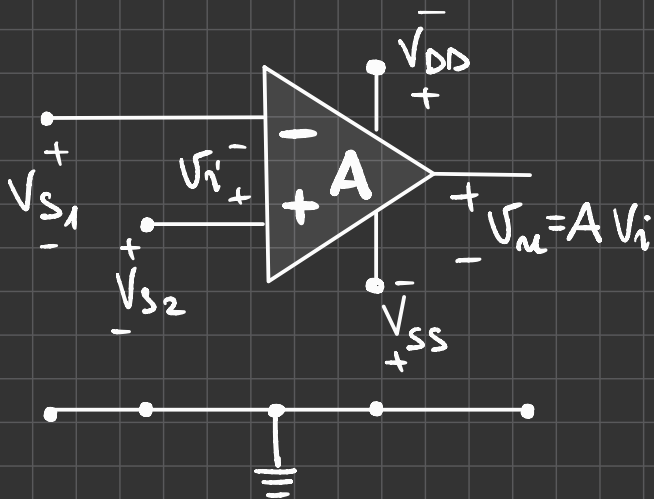
$r_i \rightarrow \infty$ resistenza d'ingresso
 $r_o \rightarrow 0$ resistenza d'uscita
 $BP \rightarrow \infty$ Banda Passante

Amplificatore di tensione differenziale con elevata amplificazione

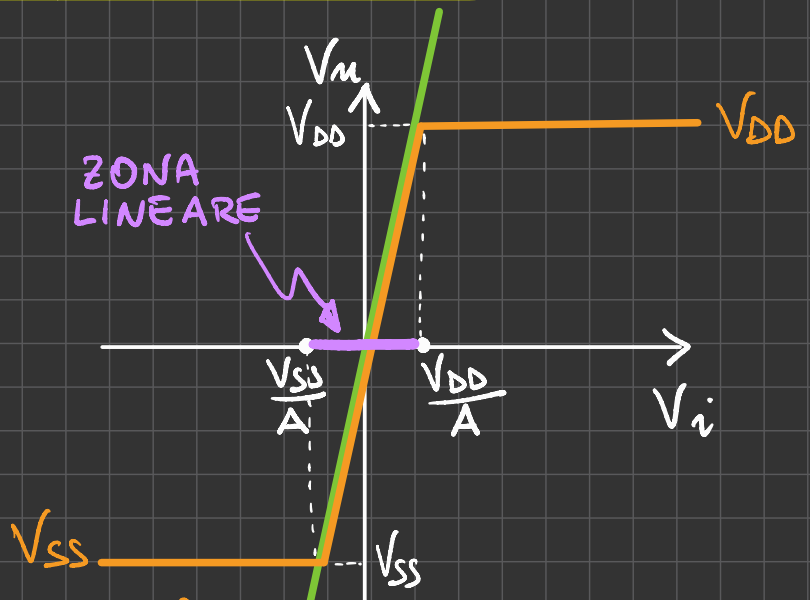
Amplificazione di segnale $A \rightarrow \infty$

Idealmente la tensione di uscita non dipende dal valor medio delle tensioni dei terminali di ingresso (common mode rejection ratio CMRR ≈ 0)

CARATTERISTICA DI TRASFERIMENTO



V_{DD} e V_{SS}
Tensione di Alimentazione



reale
 $V_{SS} < V_m < V_{DD}$

ideale

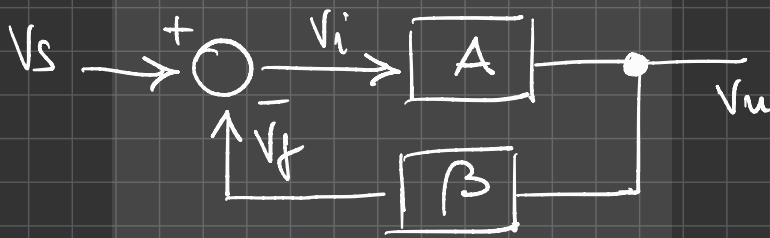
$$V_m = AV_i$$

$f = m \cdot x$
retta passante per l'origine

$$V_m = \begin{cases} V_{SS} & \text{se } V_i \leq \frac{V_{SS}}{A} \\ AV_i & \text{se } \frac{V_{SS}}{A} < V_i < \frac{V_{DD}}{A} \\ V_{DD} & \text{se } V_i \geq \frac{V_{DD}}{A} \end{cases}$$

La zona lineare è dell'ordine di decine di μV , l'amplificatore operazionale raggiunge facilmente la saturazione se non retroazionato

CIRCUITO RETROAZIONATO



$$\frac{V_m}{V_s} = A_f = \frac{A}{1 + \beta A}$$

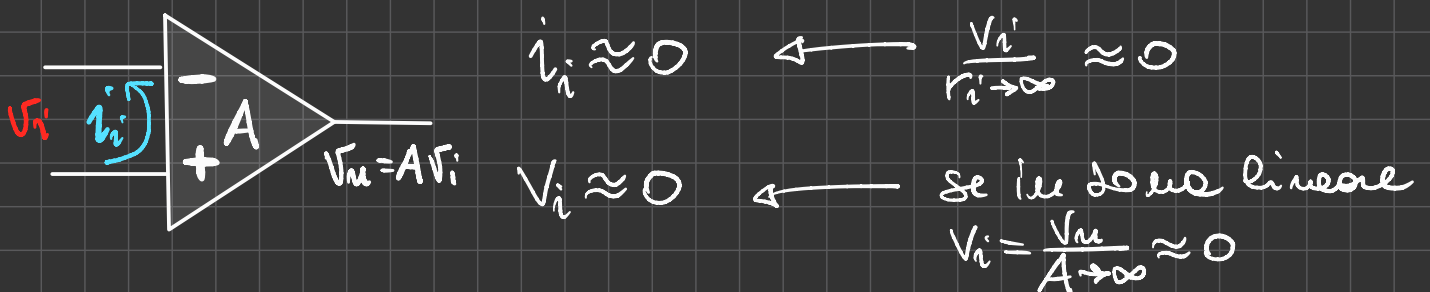
$$V_m = A V_i = A (V_s - V_f) = A (V_s - \beta V_m) \Rightarrow V_m + A \beta V_m = A V_s$$

$$V_m (1 + A \beta) = A V_s$$

NB La retroazione negativa (rappresentata in ingresso con segno "-") compensa le variazioni di guadagno in uscita.

CORTO CIRCUITO VIRTUALE C.C.V.

Un amplificatore Operazionale presenta tra i morsetti d'ingresso le seguenti condizioni:

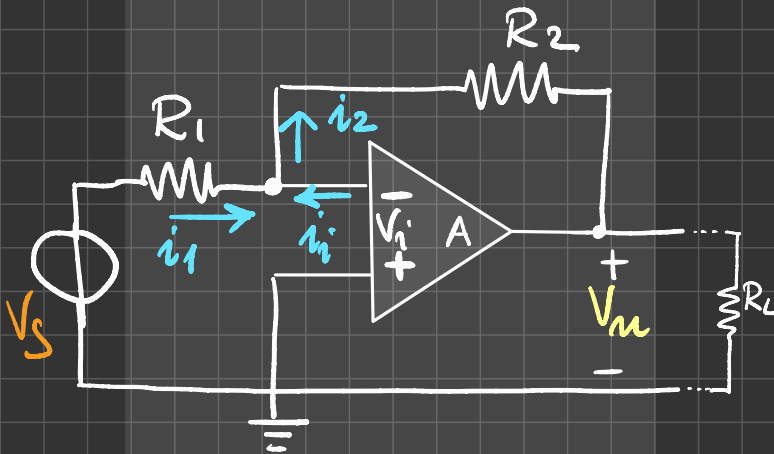


Tali condizioni descrivono il cosiddetto corto circuito virtuale c.c.v. e sono molto utili nello studio semplificato dei circuiti con Amplificatori Operazionali.

CIRCUITI LINEARI

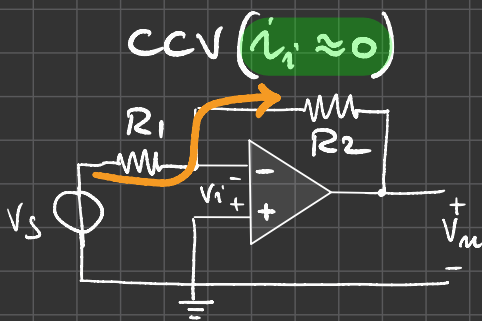
Funzionamento dell'Ampl. Op. in zona lineare con retroazione negativa

1) AMPLIFICATORE INVERTENTE



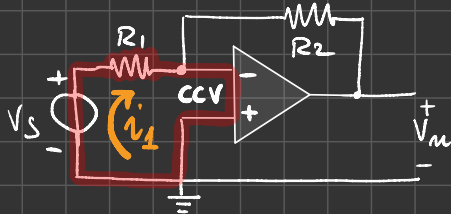
- Retroazione; MORSETTO (-)
- SEGNALE INGRESSO MORSETTO (-)
- Amplificazione

$$A_r = -\frac{R_2}{R_1}$$



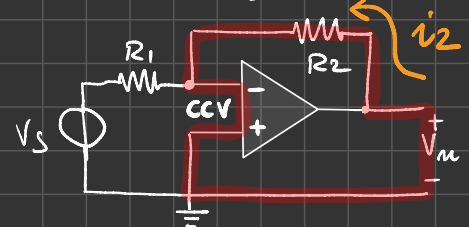
$$i_1 = i_2$$

CCV ($V_i \approx 0$)



$$\frac{V_s}{R_1} = -\frac{V_u}{R_2}$$

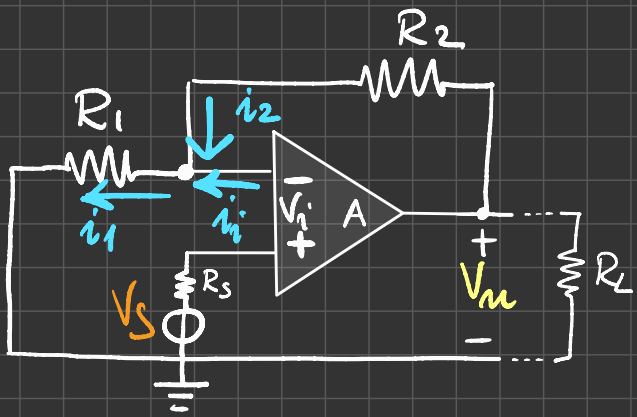
CCV ($V_i \approx 0$)



da cui: $A_r = \frac{V_u}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1}$

L'amplificazione non dipende da A ed R_L ma solamente dalle resistenze R_1 ed R_2

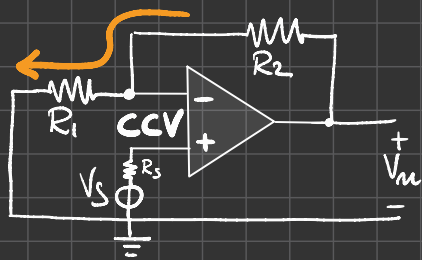
2) AMPLIFICATORE NON INVERTENTE



- Retroazione; MORSETTO (-)
- SEGNALE INGRESSO MORSETTO (+)
- Amplificazione

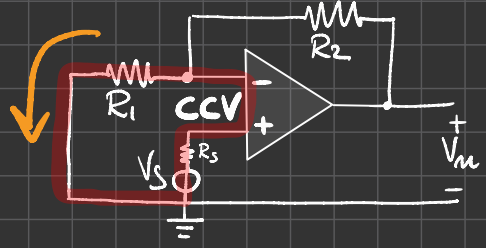
$$A_r = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

CCV ($i_i \approx 0$)



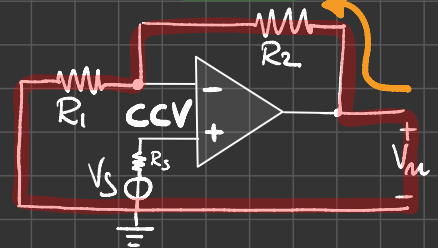
$$i_1 = i_2$$

CCV ($V_i \approx 0$)



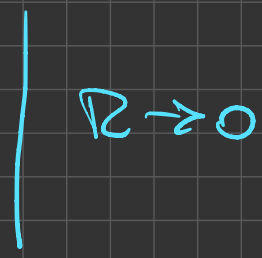
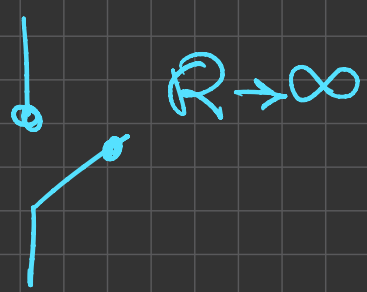
$$\frac{V_s}{R_1} = \frac{V_m}{R_1 + R_2}$$

CCV ($i_i \approx 0$)

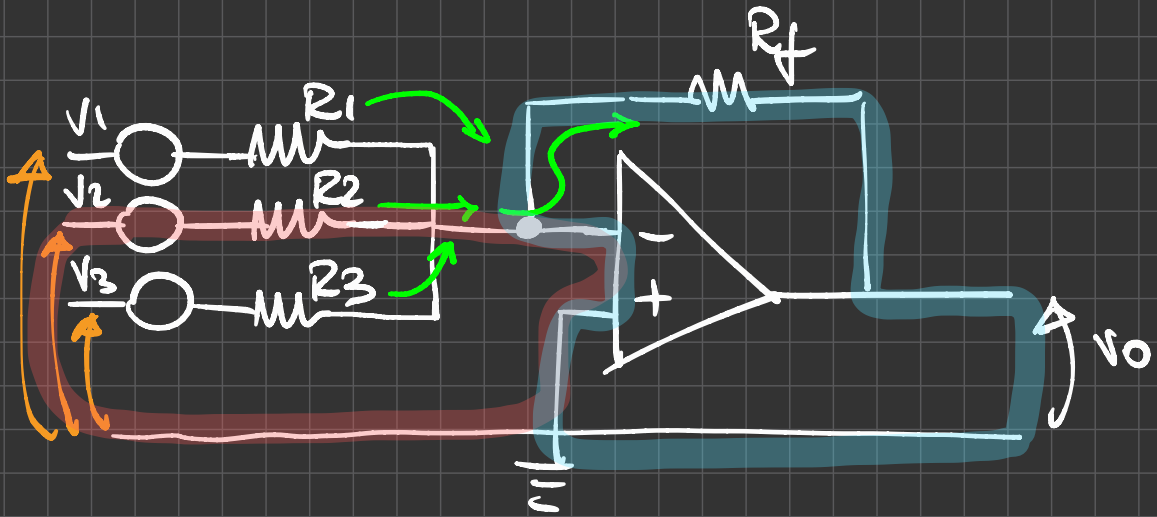


da cui:
$$A_r = \frac{V_m}{V_s} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

d'amplificazione non dipende da A, R_s , R_L ma solamente dalle resistenze R_1 ed R_2



3) SOMMATORE INVERTELENTE



C.C.V
($I_i = 0$)



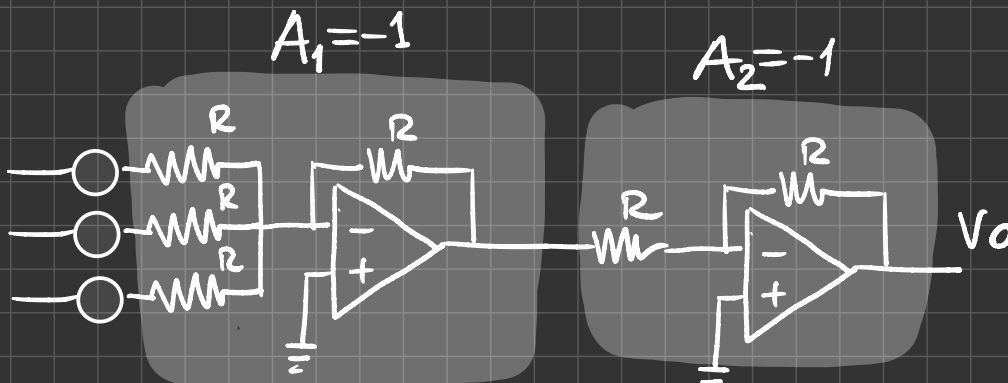
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_f$$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} = -\frac{V_0}{R_f}$$

$$V_0 = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

$R_1 = R_2 = R_3 = R \rightarrow V_0 = -\frac{R_f}{R} (V_1 + V_2 + V_3)$
 $R_1 = R_2 = R_3 = R_f = R \rightarrow V_0 = -(V_1 + V_2 + V_3)$ (Sommatore invertente)

NB per annullare l'inversione posto agli ingressi le cascate un ampl. op. configurazione invertente con $A = -1$



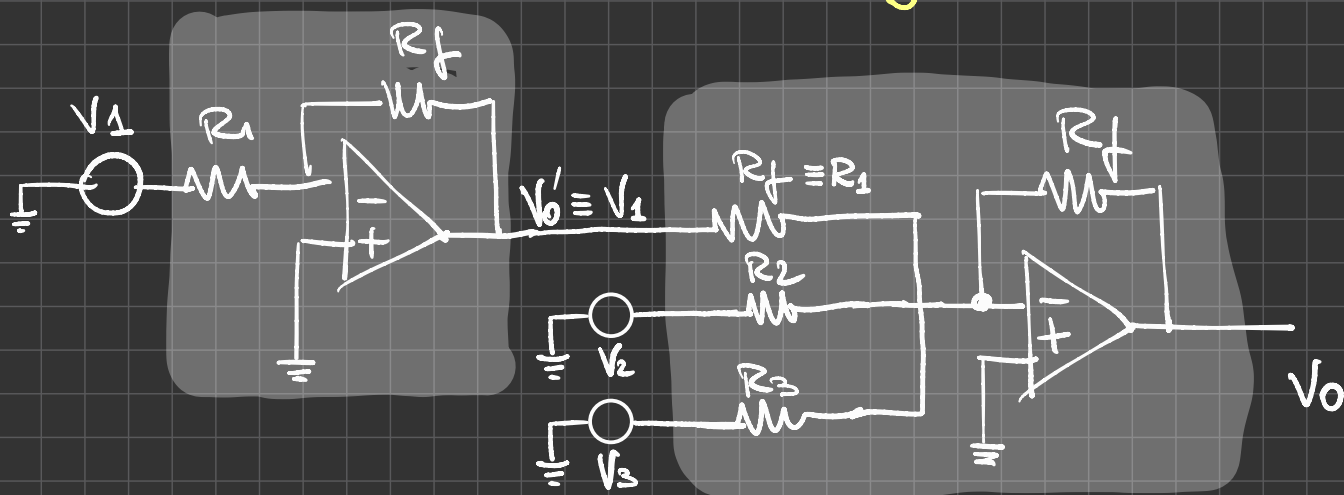
$$A = A_1 \cdot A_2 = 1$$

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3$$

ESERCIZIO

Dimensionare il circuito per ottenere

$$V_0 = 10V_1 - 20V_2 - 30V_3$$



$$V_0 = -\frac{R_f}{R_1} V_0' - \frac{R_f}{R_2} V_2 - \frac{R_f}{R_3} V_3$$

\downarrow
 $-\frac{R_f}{R_1} V_1$

$$V_0 = \frac{R_f}{R_1} V_1 - \frac{R_f}{R_2} V_2 - \frac{R_f}{R_3} V_3$$

$$V_0 = 10V_1 - 20V_2 - 30V_3$$

$$\begin{cases} \frac{R_f}{R_1} = 10 & \rightarrow R_1 = \frac{R_f}{10} \\ \frac{R_f}{R_2} = 20 & \rightarrow R_2 = \frac{R_f}{20} \\ \frac{R_f}{R_3} = 30 & \rightarrow R_3 = \frac{R_f}{30} \end{cases}$$

Scelgo $R_3 = 5M\Omega \Rightarrow$

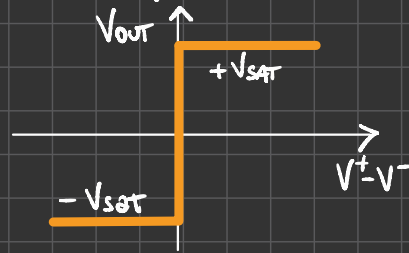
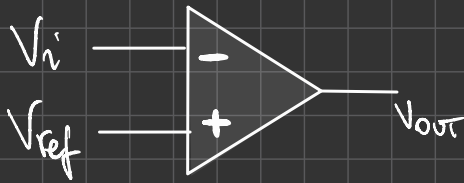
$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{5M}{10} = 500k\Omega \\ R_2 &= \frac{5M}{20} = 250k\Omega \\ R_3 &= \frac{5M}{30} = 167k\Omega \end{aligned}$$

CIRCUITI NON LINEARI

Funzionamento dell'Ampl. Op. e vuoto oppure in zone di sat. con retroazione positiva

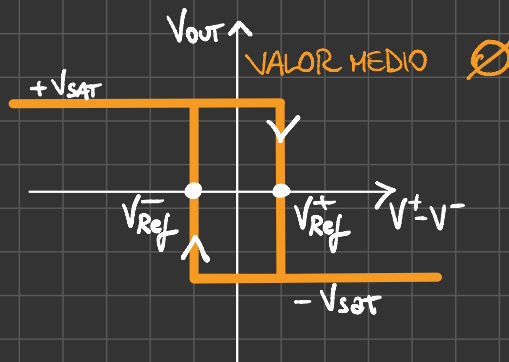
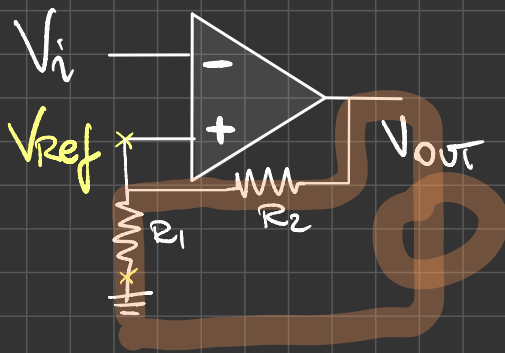
1) COMPARATORE

confronta un segnale d'ingresso ed un segnale di riferimento



Problema: segnali di disturbo si sovrappongono al segnale d'ingresso e l'uscita commuta ripetutamente.

Soluzione: comparatore con isteresi. TRIGGER DI SCHMITT

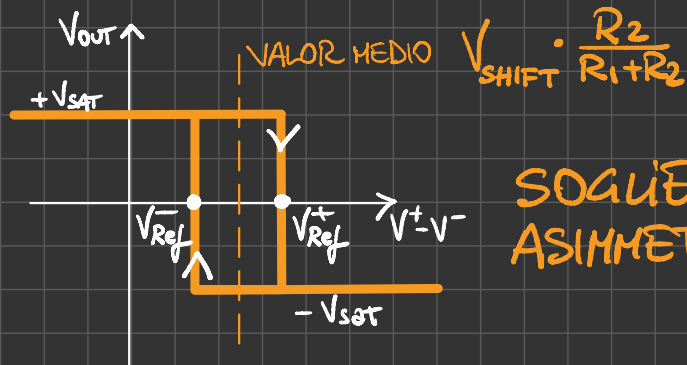
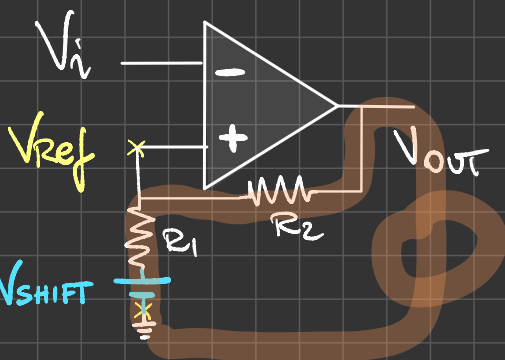


SOGLIE SIMMETRICHE

$$V_{ref} = V_{out} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \begin{cases} V_{ref}^+ & (V_{out} = +V_{sat}) \\ V_{ref}^- & (V_{out} = -V_{sat}) \end{cases}$$

commute \rightarrow $V_{out} = -V_{sat}$ se $V_i > V_{ref}^+$ (ingresso invertente)

commute \rightarrow $V_{out} = +V_{sat}$ se $V_i < V_{ref}^-$



SOGLIE ASIMMETRICHE

$$V_{ref} = V_{out} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V_{SHIFT} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \begin{cases} V_{ref}^+ & (V_{out} = +V_{sat}) \\ V_{ref}^- & (V_{out} = -V_{sat}) \end{cases}$$

commute \rightarrow $V_{out} = -V_{sat}$ se $V_i > V_{ref}^+$

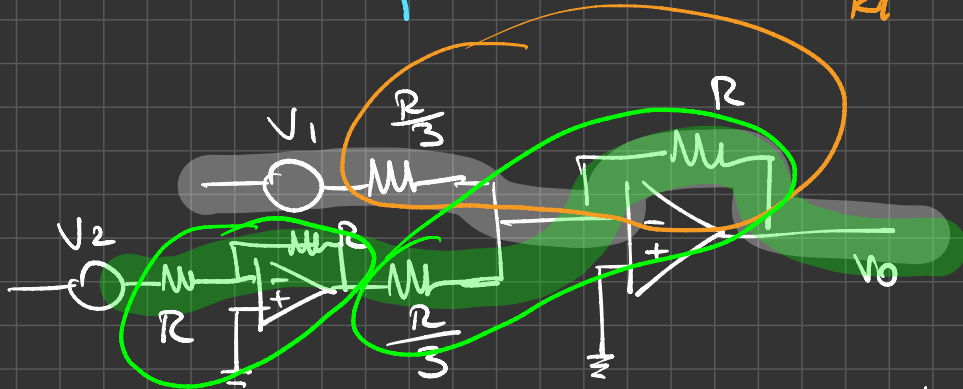
commute \rightarrow $V_{out} = +V_{sat}$ se $V_i < V_{ref}^-$

componente fissa

$$V_u = -3(V_1 - V_2)$$

$$V_u = -3V_1 + 3V_2$$

$$A = -\frac{R_f}{R_i} = -\frac{R}{\frac{R}{3}} = -3$$



$$A'_2 = -\frac{R}{R} = -1$$

$$A''_2 = -\frac{R/R}{R} = -3$$

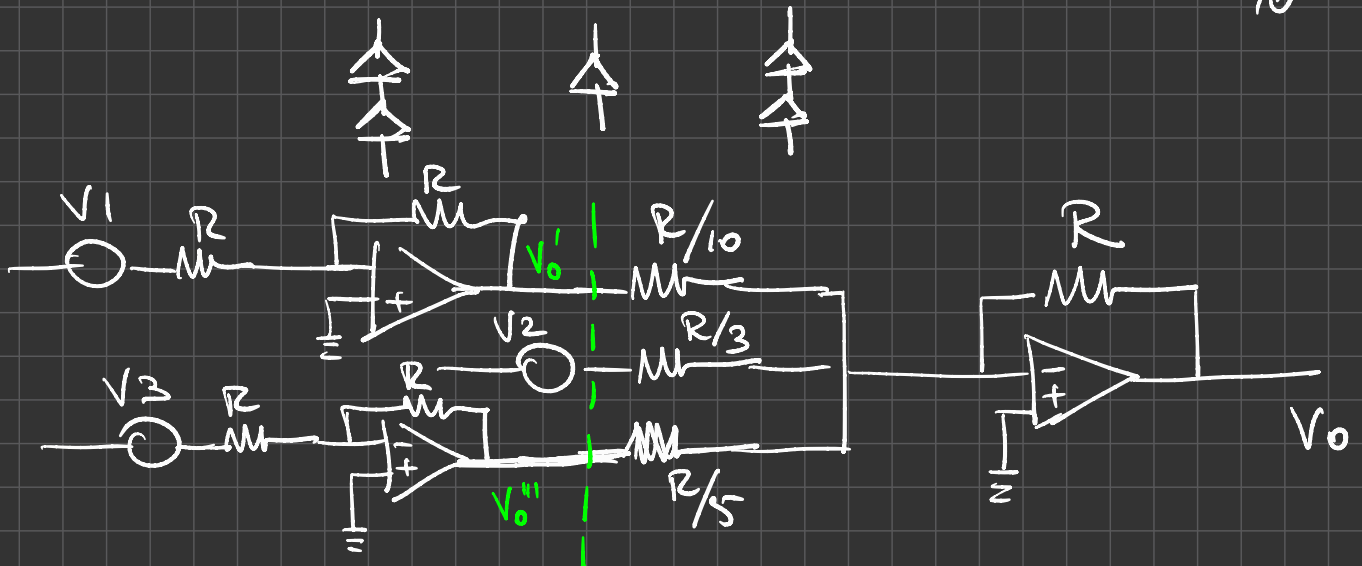
$$\Rightarrow A_2 = A'_2 \cdot A''_2 = -1 \cdot (-3) = 3$$

$$R = 1 \text{ M}\Omega$$

$$\frac{R_f}{R_i} = 10$$

$$R_i = \frac{R_f}{10} = \frac{R}{10}$$

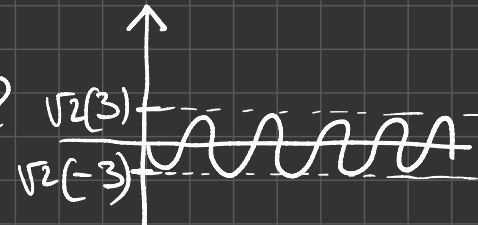
$$V_0 = 10V_1 - 3V_2 + 5V_3$$



$$R = 1 \text{ M}\Omega$$

$$V_o = 500 V_1 - 300 V_2 + 100 V_3$$

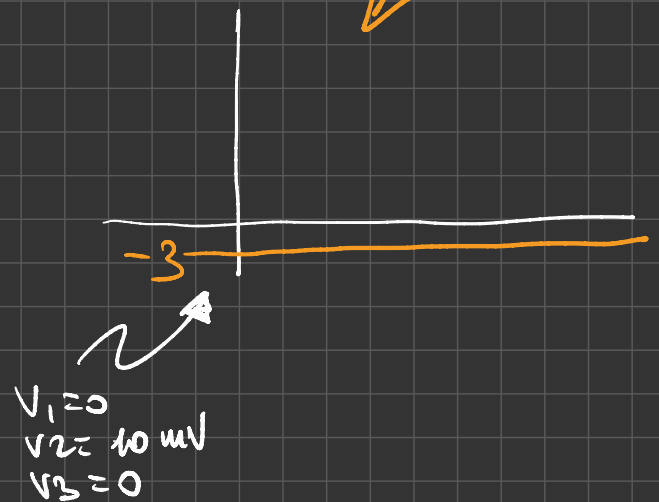
per $V_1 = V_3 = 0$; $V_2 = 10 \mu V \rightarrow V_o?$



$$V_o = \cancel{500 V_1} - 300 V_2 + \cancel{100 V_3} = -300 \cdot 10^{-3} = -3$$

\downarrow
 $10 \cdot 10^{-3}$

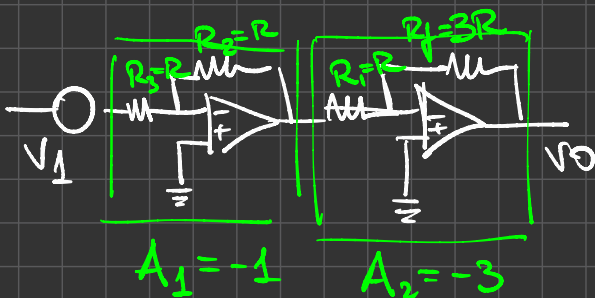
V_{eff}



$$V_o = 3 V_i$$

①

Solo inv.



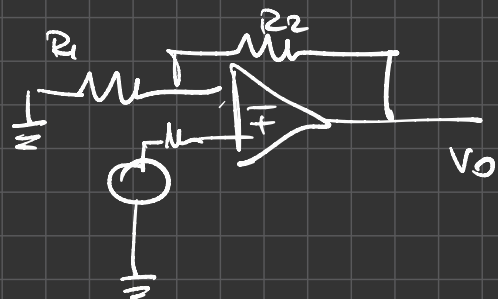
②

Solo NON inv.

$$1 + \frac{R_2}{R_1} = 3$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 2 \rightarrow 2M\Omega$$

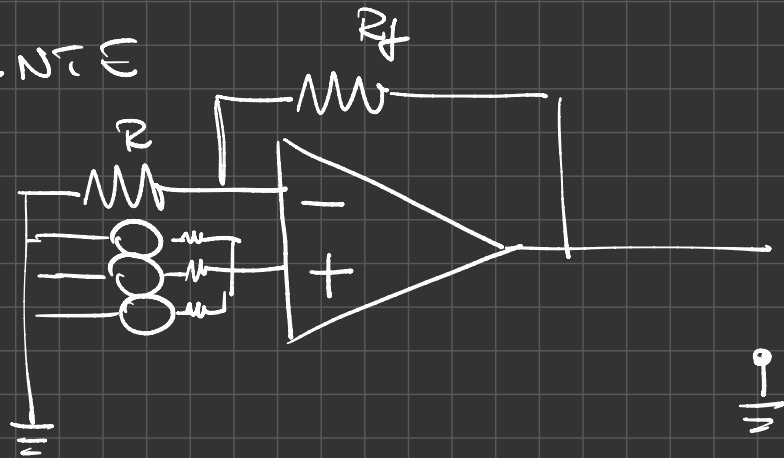
$$\rightarrow 1M\Omega$$



$$V_0 = 3V_1 + V_2$$

$$V_0 = 4V_1 + 4V_2 + 4V_3$$

NON INDEPENDENTE



$$A_i = 1 + \frac{R_f}{R} = 4$$

$$\frac{R_f}{R} = 3$$

$$V_0 = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3$$

