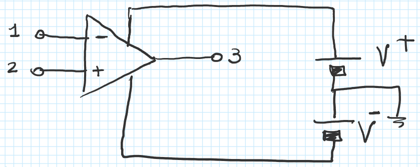
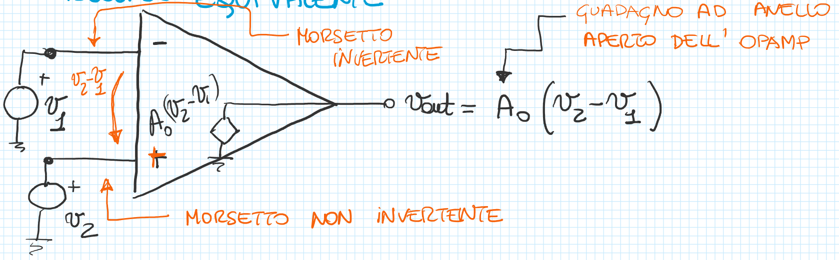
GENERALITÀ SULL'AMPLIFICATORE OPERAZIONALE

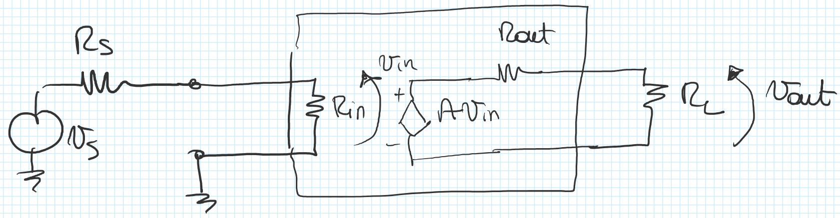


CIRCUITO EQUIVALENTE



AMPLIFICATORE OPERAZIONALE IDEALE

- ★ non assorbe o eroga corrente dai morsetti di ingresso
  - ↳ resistenza di ingresso infinita
- ★ l'uscita è prelevata ai capi di un generatore di tensione ideale
  - ↳ resistenza di uscita nulla

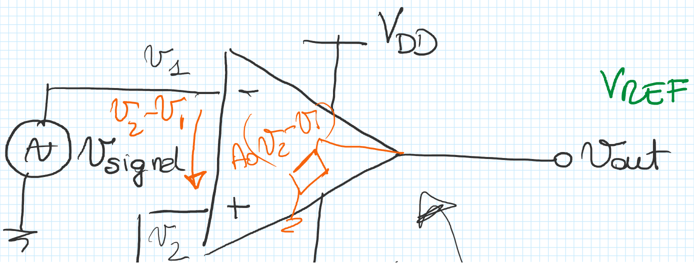


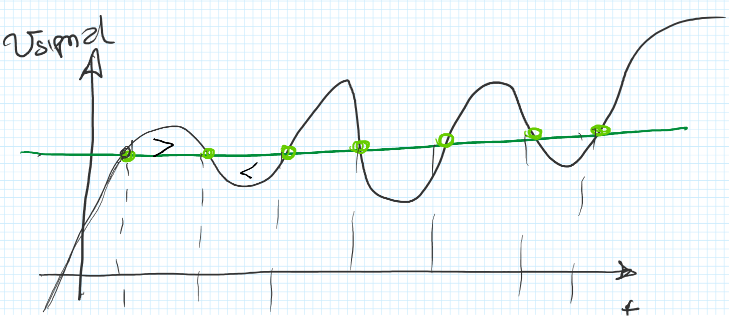
$$G_V \triangleq \frac{v_{out}}{v_S} = \underbrace{\frac{R_{in}}{R_{in}+R_S}}_{\text{partizione di ingresso}} \; A \; \underbrace{\frac{R_L}{R_L+R_{out}}}_{\text{partizione di uscita}}$$

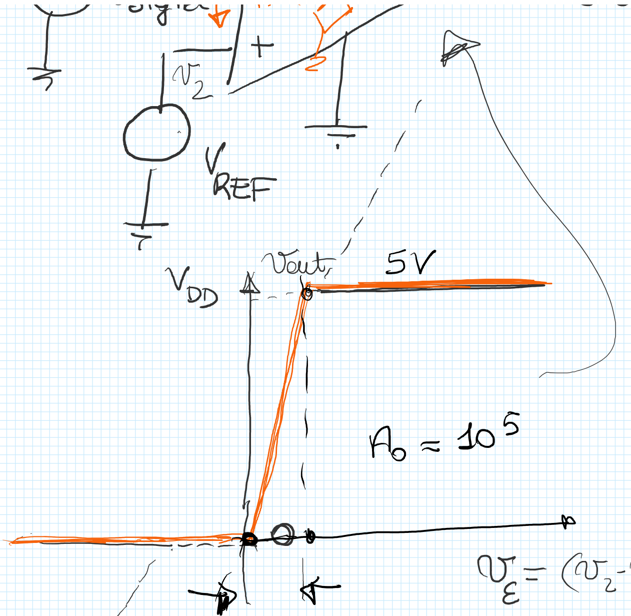
- ★ rigetta i segnali di modo comune applicati in ingresso
  - ↳ guadagno di modo comune nullo
    - ↳ CMRR infinito
- ★ guadagno ad anello aperto è indipendente dalla frequenza
  - ↳ Banda infinita
- ★ guadagno ad anello aperto infinito

$$v_{out} = A_0 (v_2 - v_1)$$

L'AMPLIFICATORE OPERAZIONALE COME COMPARATORE



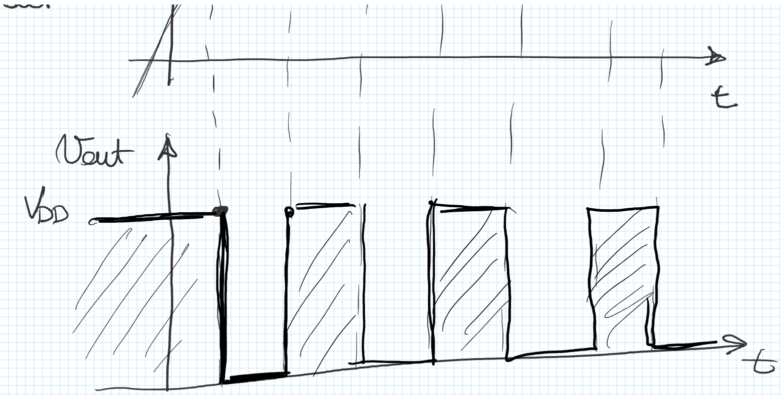


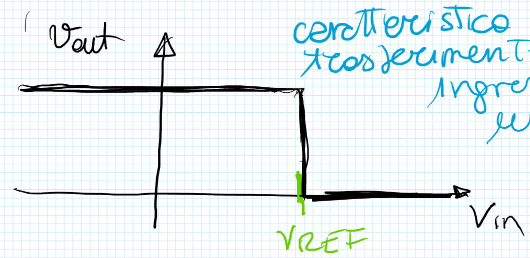


$A_0 \approx 10^5$

$v_\varepsilon = (v_2 - v_1)$

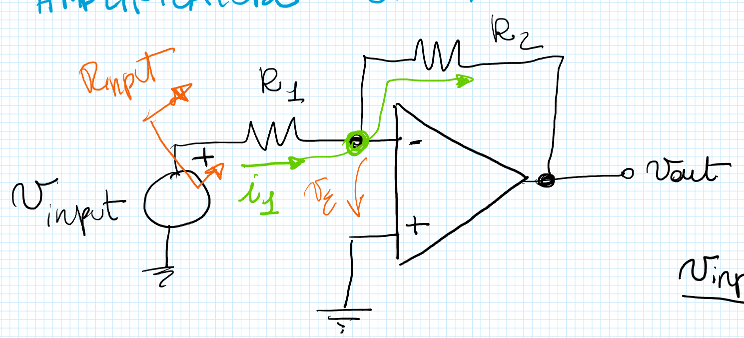
$$v_\varepsilon = \frac{V_{DD}}{A_0} = 50\,\mu V$$





caratteristica di trasferimento ingresso-uscita

AMPLIFICATORE OPERAZIONALE IN CONFIGURAZIONE INVERTENTE



Resistenza di ingresso

$$i_1 = \frac{v_{input} - \cancel{v^-}}{R_1}$$

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

$$\frac{v_{input} - v^-}{R_1} = i_1 \rightarrow v_{input} - v^- = i_1 R_1$$

$$G \triangleq \frac{V_{out}}{V_{input}}$$

GUADAGNO AD ANELLO CHIUSO DELL'OPAMP

$$i_1 = \frac{v^- - V_{out}}{R_2}$$

$$V_{out} = A_0 (v^+ - v^-) = -A_0 v^-$$

$$v^- = -\frac{V_{out}}{A_0}$$

$$v^+ - v^- = \frac{V_{out}}{A_0}$$

se $A_0 \to \infty$

$v^- \simeq v^+$ CORTOCIRCUITO VIRTUALE TRA I MORSETTI DELL'OPAMP

$\Downarrow$

v^- È UNA TERRA VIRTUALE

$$v_{input} - v^- = \frac{v^- - V_{out}}{R_2} R_1$$

$$v_{input} = v^- + v^- \frac{R_1}{R_2} - \frac{V_{out}}{R_2} R_1$$

$$v_{input} = -\frac{V_{out}}{A_0}\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - V_{out}\frac{R_1}{R_2}$$

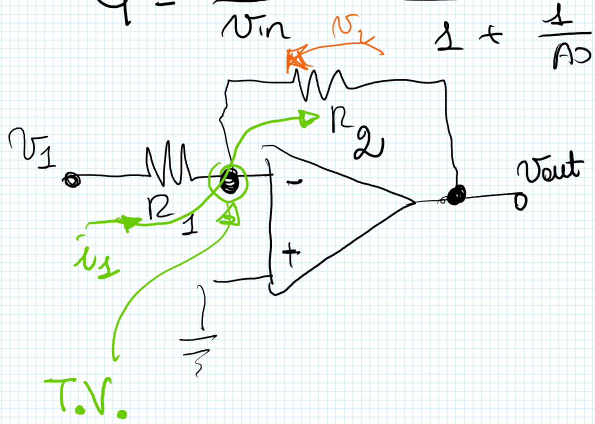
$$= -V_{out}\left[\frac{1}{A_0}\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + \frac{R_1}{R_2}\right]$$

$$V_{out} = -\frac{v_{input}}{\frac{1}{A_0}\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + \frac{R_1}{R_2}} = -\frac{v_{input}}{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)\left[1 + \frac{1}{A_0}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\right]} =$$

$$v_{out} = - \frac{v_{input}}{\frac{1}{A_0}\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)+\frac{R_1}{R_2}} = - \frac{v_{input}}{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)\left[1+\frac{1}{A_0}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\right]} =$$

$$= - \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1+ {}^{1}/_{A_0}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)} v_{in}$$

$$G \triangleq \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-R_2/R_1}{1+\frac{1}{A_0}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)} \xrightarrow[A_0 \to \infty]{} -\frac{R_2}{R_1}$$



$$i_1 = \frac{v_1}{R_1}$$

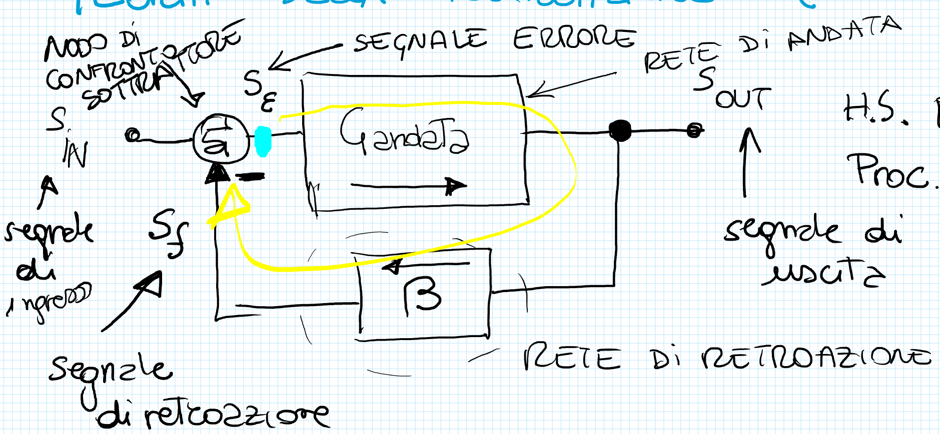
$$v_{out} = -v_2 = -i_1 R_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_{1input}$$

$$\Downarrow$$

$$G \triangleq \frac{v_{out}}{v_{input}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- $R_{out} = 0$
- $R_{in} = R_1$

TEORIA DELLA RETROAZIONE (FEED BACK THEORY)



H.S. BLACK

Proc. IEEE, 1999, vol. 87

Blocchi sono assunti unidirezionali

LOOP GAIN

GUADAGNO D'ANELLO

$$G_{loop} \triangleq -G_{andata}\,\beta$$

(guadagno subito da un segnale che percorre l'anello di retroazione una sola volta nel verso corretto)

$$\begin{cases} S_{out} = G_{andata}\, S_\varepsilon \\ S_f = \beta\, S_{out} \\ S_\varepsilon = S_{in} - S_f \end{cases}$$

$$S_{out} = G_{andata}\, S_\varepsilon = G_{andata}\left(S_{in} - S_f\right) = G_{andata}\left(S_{in} - \beta S_{out}\right)$$

$$S_{out}\left(1 + G_{andata}\,\beta\right) = G_{andata}\, S_{in}$$

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO

$$\boxed{T = \frac{S_{out}}{S_{in}} = \frac{G_{andata}}{1+G_{andata}\,\beta}} = $$ (CLOSED LOOP GAIN OR CLOSED LOOP

TRASFERIMENTO AD ANELLO CHIUSO

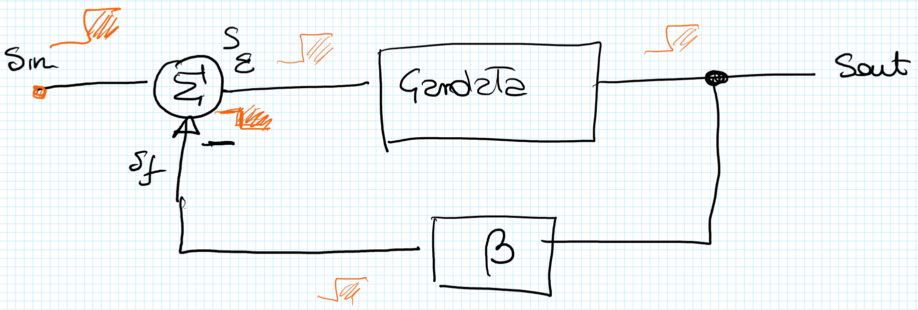
$$T = \frac{S_{out}}{S_{in}} = \frac{G_{andata}}{1 + G_{andata}\,\beta}$$

(OR CLOSED LOOP TRANSFER FUNCTION)

$$= \frac{G_{andata}}{1 - G_{loop}}$$

- $G_{loop}(0) < 0 \Rightarrow$ CIRCUITO RETROAZIONATO NEGATIVAMENTE
- $G_{loop}(0) > 0 \Rightarrow$ CIRCUITO RETROAZIONATO POSITIVAMENTE

PROPRIETÀ DEI CIRCUITI RETROAZIONATI NEGATIVAMENTE



1. $$\frac{S_\varepsilon}{S_{in}} = \frac{1}{1 + G_{andata}\,\beta} \xrightarrow[G_{andata} \to \infty]{} 0$$ segnale errore tende a zero!!

2. $$\frac{S_{out}}{S_{in}} = \frac{G_{andata}}{1 + G_{andata}\,\beta} = \frac{\cancel{G_{andata}}}{\cancel{G_{andata}}} \frac{1}{\frac{1}{G_{andata}} + \beta} \xrightarrow[G_{andata} \to \infty]{} \frac{1}{\beta}$$

$$G_{loop} = -G_{andata}\,\beta$$

nelle hp di retroazione ideale il guadagno ideale è determinato dal solo blocco di retroazione

3. $$\frac{S_f}{S_{in}} = \frac{G_{andata}\,\beta}{1 + G_{andata}\,\beta} = \frac{-G_{loop}}{1 - G_{loop}} \xrightarrow[\substack{G_{andata} \to \infty \\ (G_{loop} \to \infty)}]{} 1$$

$$S_f = \beta\, S_{out} = \beta \frac{G_{andata}}{1 + G_{andata}\,\beta} S_{in} = \frac{G_{andata}\,\beta}{1 + G_{andata}\,\beta} S_{in}$$

nel caso di retroazione ideale il segnale di retroazione uguaglia il segnale in ingresso.

4. $$\frac{dT}{dG_{andata}} = \frac{1 + \cancel{G_{andata}\,\beta} - \cancel{G_{andata}\,\beta}}{(1 + G_{andata}\,\beta)^2} = \frac{1}{(1 + G_{andata}\,\beta)^2} \frac{G_{andata}}{G_{andata}}$$

$$T = \frac{G_{andata}}{\quad} \qquad \frac{G_{andata}}{\quad}$$

$$\Gamma = \frac{G_{andata}}{1-G_{loop}} = \frac{G_{andata}}{1+G_{andata}\beta}$$

$$d\Gamma = \underbrace{\frac{G_{andata}}{(1+G_{andata}\beta)}}_{\Gamma} \frac{dG_{andata}}{G_{andata}} \frac{1}{(1+G_{andata}\beta)}$$

$$\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{dG_{andata}}{G_{andata}} \frac{1}{1-G_{loop}} =$$

Hp 50% $\quad |G_{loop}| = 1000$

$$= \frac{50}{100}\cdot\frac{1}{1000} = \frac{50}{10^5} = 5\,10^{-4}$$

$$\frac{d\Gamma}{\Gamma} = \frac{dG_{andata}}{G_{andata}} \frac{1}{1-G_{loop}}$$

$$\Gamma \triangleq \frac{S_{out}}{S_{in}} = \frac{G_{andata}}{1+G_{andata}\beta} = \frac{G_{andata}}{1-G_{loop}} = \frac{G_{andata}\beta}{1+G_{andata}\beta}\frac{1}{\beta} =$$

$$= G_{id}\frac{-G_{loop}}{1-G_{loop}} = G_{id}\frac{1}{1-1/G_{loop}}$$

GUADAGNO IDEALE

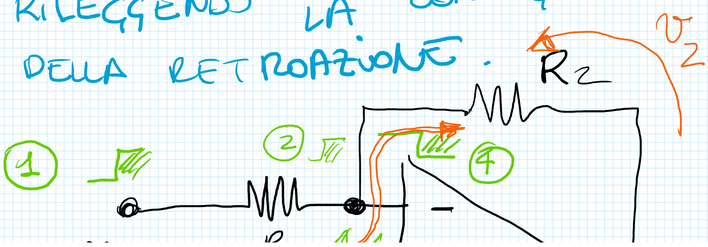
guadagno ideale cioè guadagno calcolato nelle hp di retroazione ideale cioè $G_{loop} \to \infty$

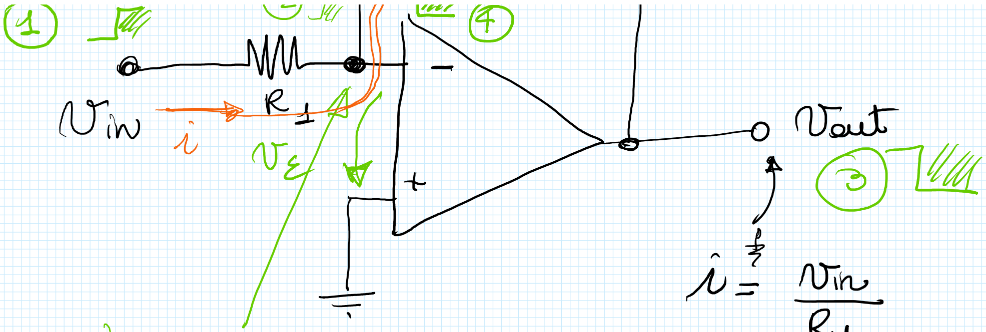
$$\Gamma = \frac{G_{id}}{1-1/G_{loop}}$$

GUADAGNO REALE

guadagno d'anello

RILEGGENDO LA CONFIG. INVERTENTE ALLA LUCE DELLA TEORIA DELLA RETROAZIONE.





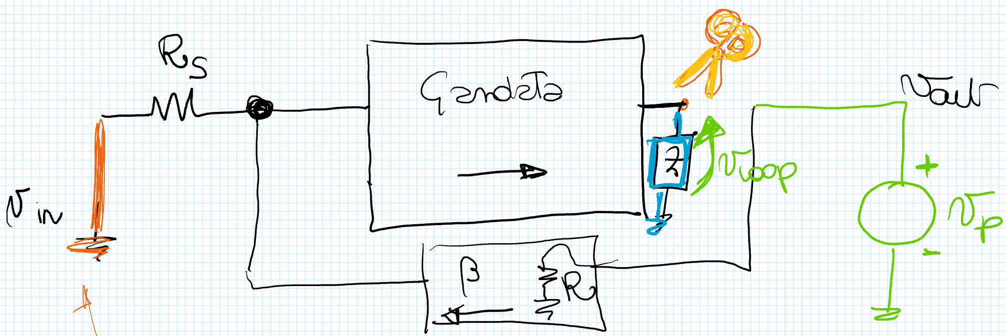
il morsetto meno è un nodo di terra virtuale

$$i = \frac{v_{in}}{R_1}$$

$$V_{out} = -v_2 = -\frac{R_2}{R_1} v_{in}$$

$$\boxed{T_{ideale} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

METODO DI CALCOLO DEL GUADAGNO D'ANELLO



1. spegnere i gen. forzanti
2. Togliere l'anello (in un punto comodo)
3. ripristinare a monte del taglio l'impedenza vista a valle
4. applicare a valle del taglio un gen. di prova (v_p) e valutare il relativo segnale una volta percorso l'anello (v_{loop})

$$\boxed{G_{loop} \triangleq \frac{v_{loop}}{v_p}}$$