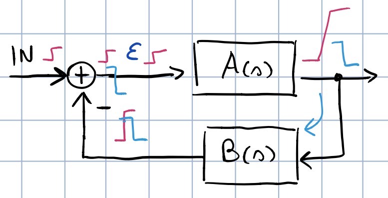


La retroazione ha un segno: può essere positiva o negativa e si oppone sempre ad ogni variazione

NEGATIVA ⟶ STABILIZZAZIONE
POSITIVA ⟶ OSCILLAZIONE

$\varepsilon \triangleq$ errore

Blocchi A e B sono unidirezionali

$$OUT = A(s)\cdot(IN - B(s)\cdot OUT) = A\cdot IN - A\cdot B\cdot OUT = OUT(1+AB) = A\cdot IN \Rightarrow \boxed{\frac{OUT}{IN} = \frac{A}{1+AB}}$$

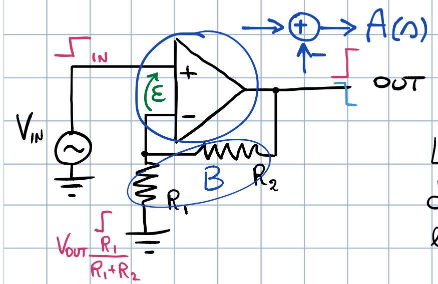
Guadagno d'anello $G_{Loop} = -AB \Rightarrow \frac{OUT}{IN} = \frac{A}{1-G_{Loop}}$

Se $A \to \infty$: $\frac{OUT}{IN} \to \frac{1}{B}$ quindi il Trasferimento IN-OUT è solo dovuto al ramo di retroazione

B è un'attenuazione dell'amplificazione col guadagno di A: OUT è solo $\frac{1}{B}$

OPAMP con retroazione

A(s) col blocco "differenza" è già nell' OPAMP (ideale)



NOTA: Alzo il +, l'uscita vorrebbe alzarsi di tanto e potrebbe anche per − che fa abbassare l'uscita ($V_{OUT} = G_{diff}(V^+ - V^-)$)

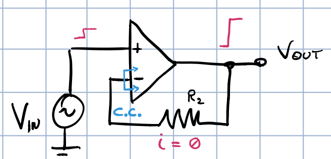
L'effetto della retroazione, nel caso ideale, è quello di annullare la differenza tra i morsetti $\underbrace{V^+ e\, V^-}_{\varepsilon \to 0}$; conoscendo V_{IN} posso calcolare, a ritroso, la V_{OUT}

$V^- = V^+ \to I_{R_1} = \frac{V_{IN}}{R_1} = I_{R_2}$ proveniente dall'uscita e non circola per + o − perchè hanno impedenza $\simeq \infty$

$$V_{OUT} = I_{R_1}(R_1+R_2) = \frac{V_{IN}}{R_1}(R_1+R_2) \Rightarrow \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_1+R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

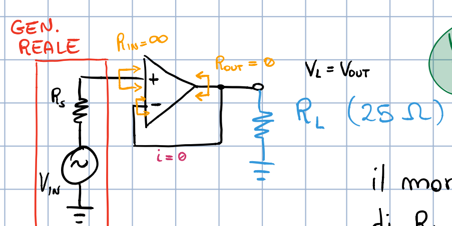
Metodo di analisi: parto dal caso ideale (equipotenzialità)

Se avessi solo R_2, è ancora retroazionato?



V^- insegue sempre V^+, non scorre corrente in R_2, quindi $V^- = V_{OUT}$ ed è ancora una configurazione invertente.

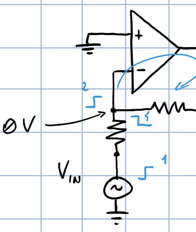
Allora R_2 non serve, basta un corto circuito:



$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = 1$

È un amplificatore a guadagno unitario, anche conosciuto come BUFFER. L'utilità sta nelle impedenze perchè, se colleghiamo delle R_L, con una R_S in serie a V_{IN}, il morsetto V^+ sarà fisso a V_{IN} indipendentemente da R_S. Anche V_L non risentirà di R_L e sarà fissata a V_{OUT}. L'OPAMP, quindi, separa impedenzialmente i due circuiti a monte. Non è richiesta una capacità di erogare corrente al generatore a monte: l'OPAMP legge la tensione e la replica in uscita.

Guadagno negativo

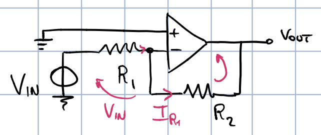


AMPLIFICATORE INVERTENTE

l'uscita torna all'ingresso con una partizione (R_1, R_2); la differenza è che il segnale d'ingresso è a V^- e V^+ è a massa.
Alzo V_{IN}, l'uscita scende e abbassa V^- => condizione d'equilibrio $\varepsilon = 0$, allora $V^+ - V^- = 0$ e $V^+ = V^- = 0$. Il modo invertente, in questo caso, prende il nome di massa virtuale poichè la retroazione fa in modo che il modo − insegua il modo +, a massa.

Guadagno della configurazione

$I_{R_1} = \frac{V_{IN}}{R_1}$



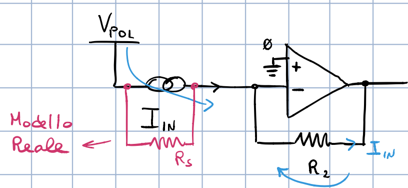
Cade V_{IN} su R_1 con una corrente dall'uscita dell'OPAMP che scorre in R_2, il modo − è a zero, quindi l'uscita si muoverà in modo da accomodare la corrente e mantenere "−" a zero.

$$V_{OUT} = 0 - I_{R_1} \cdot R_2 = -\frac{V_{IN}}{R_1} \cdot R_2$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

al variare di questo rapporto posso fare sia un AMPLIFICATORE che un ATTENUATORE

Allora posso modellarlo con un OPAMP a transresistenza, alimentato a corrente:

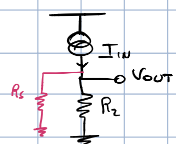


$V_{OUT} = 0 - R_2 I_{IN}$

OPAMP ideale: tutta la corrente I_{IN} entra nel feedback. La V_{OUT} vale $-I_{IN} \cdot R_2$

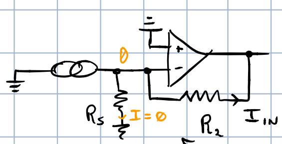
$$\beta = \underbrace{\frac{V_{OUT}}{I_{IN}} = -R_2 \ [\Omega]}$$

Negativo perchè c'è l'OPAMP, è diverso dal prendere il generatore e collegarlo alla resistenza



Se il generatore fosse ideale potrei sostituire l'OPAMP
$\begin{cases} V_{OUT} = R_2 I_{IN} & \text{IDEALE} \\ \frac{V_{OUT}}{I_{IN}} = R_2 \end{cases}$
con una resistenza, ma poichè non c'è idealità il generatore ha una resistenza in parallelo

Nel caso di piccoli segnali la polarizzazione non interessa e si dà per scontato che la Vpol sia presente. Questa deve essere spenta allo studio del piccolo segnale e posta a massa.
Avendo spento Vpol, R_s va a massa in parallelo a R_2 e quindi la nuova V_{OUT}, reale, vale $V_{OUT_{reale}} = I_{IN} (R_2 // R_s) < R_2$ perchè R_s abbassa il guadagno.



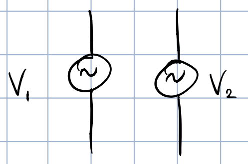
$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{0}{R} = 0$

Siccome la ddp è 0 per le masse virtuali, non scorre corrente in R_s, tutta la corrente I_{IN} va in feedback e quindi $V_{OUT} = -R_2 \cdot I_{IN}$ con guadagno di conversione inalterato. Con un generatore di corrente ideale, una conversione corrente-tensione tramite l'iniezione diretta della corrente nella resistenza soffre dell'impatto della R_s che ne abbassa il guadagno. Qui la retroazione non fa scorrere corrente in R_s e tutta la I_{IN} va nel ramo di retroazione.
Allora è un buon circuito lettore di corrente: tensione 0 ai capi e resistenza 0 in OUT; tutta la corrente va nell'OPAMP e non passa per R_s.

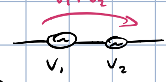
AMPLIFICATORE A TRANSRESISTENZA

Certe operazioni sono più facili in corrente che in tensione:

ES. Somma

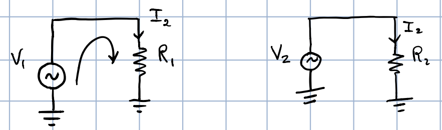


Voglio $V = V_1 + V_2$, la cosa più facile è avere una serie

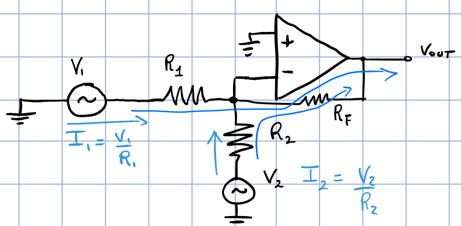


ma ciò può essere fatto solo se ho accesso ad entrambi i morsetti dei generatori e, in particolare non se entrambi hanno un collegamento a massa (per motivi fisici dei generatori reali).

Il modo più semplice è sommare le correnti I_1 e I_2 fornite dai generatori, tramite il parallelo.



Userò l'OPAMP a transresistenza con le correnti collegate all'invertente:



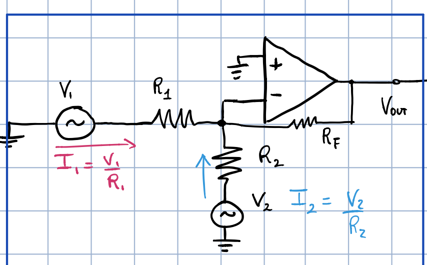
Le due correnti confluiscono nella terra virtuale e scorrono entrambe in R_F.

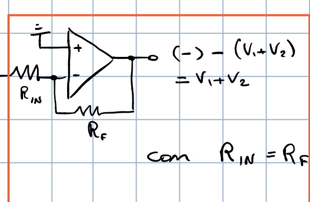
Applico il PSE: 1) Spengo V_2: $V_{OUT_1} = -R_F I_1 = -R_F \frac{V_1}{R_1}$ (in R_2 non scorre corrente)

2) Spengo V_1: $V_{OUT_2} = -R_F I_2 = -R_F \frac{V_2}{R_2}$

3) $V_{OUT} = -R_F \frac{V_1}{R_1} - R_F \frac{V_2}{R_2} = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$, sommatore invertente con guadagno opzionale → di tensioni

→ con $R_1 = R_2$ è $-\frac{R_F}{R}(V_1 + V_2)$





→ Con un buffer invertente guadagno -1, ottengo $V_1 + V_2$

ES. Mixer audio

Volume generale

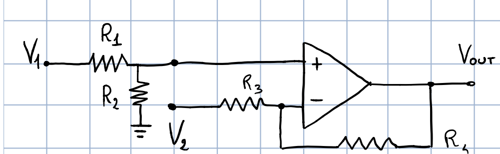
IN1 IN2 ... Vario la R e cambio il peso delle varie sorgenti audio

Vantaggio: scalabile a più tensioni $V_{OUT} = -R_F \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + N \right)$

Posso usarlo per fare un miscelatore con resistenze variabili

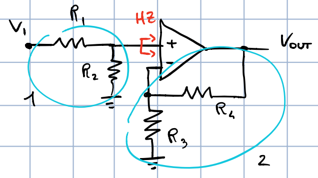
ES. Differenza

Potrei usare un invertente su V_2 ma poi avrei bisogno di 2 OPAMP. Allora, per fare la differenza, sfrutto il fatto che l'OPAMP già la fa. Lo uso retroazionato con sia ⊕ che ⊖:



Da V_1 a V_{OUT} vado con trasferimento positivo, da V_2 a V_{OUT} con trasferimento negativo → PSE: $V_{OUT} = V_1 - V_2$

Spengo V_2:



R_3 va a massa: le due maglie 1 e 2 sono elettricamente disaccoppiate

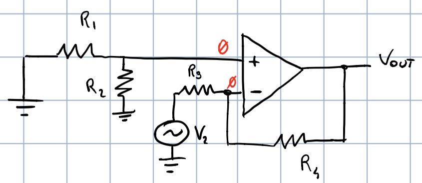
Blocco 1 staccato $\xrightarrow{V_1} \boxed{T_1} \xrightarrow{V^+} \boxed{T_2} \longrightarrow V_{OUT}$

Il trasferimento complessivo, $\frac{V_{OUT}}{V_1} = T_1 \cdot T_2$; inizio a calcolare $T_1 = \frac{V^+}{V_1}$, è un partitore $T_1 = \frac{R_2}{R_1+R_2}$.

Da V_{OUT} a V^+ è non invertente con $\frac{V_{OUT}}{V^+} = 1 + \frac{R_4}{R_3}$

Allora, $T^* = T_1 \cdot T_2 = \frac{R_2}{R_1+R_2}\left(1+\frac{R_4}{R_3}\right)$

Spengo V_1:



$V_{OUT}|_2 = -\frac{R_4}{R_3} V_2$ Trasferimento invertente

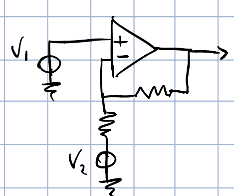
se $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$

PSE: $V_{OUT} = V_{OUT}|_1 + V_{OUT}|_2 = V_1 \cdot \cancel{\frac{R_2}{R_1+R_2}}\left(\cancel{\frac{R_3+R_4}{R_3}}\right) - \cancel{\frac{R_4}{R_3}} V_2 = V_1 - V_2$

Giocando con le resistenze posso fornire dei pesi ai due termini

Questo non è scalabile a n ingressi

Senza il partitore:



$1+x \neq x$

$V_{OUT} = V_1\left(1+\frac{R_4}{R_3}\right) - V_2\left(\frac{R_4}{R_3}\right)$

ottengo una differenza ma con due pesi diversi, non avrò mai lo stesso peso senza partitore

col partitore e R uguali ottengo $\frac{V_1}{2} \cdot 2 + (-) V_2$