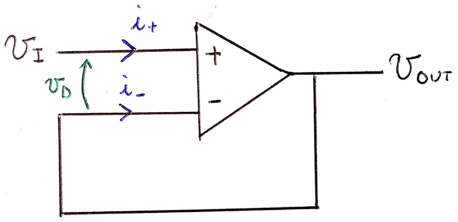
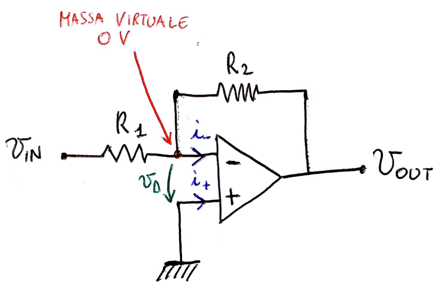
1. Voltage Follower



La tensione in uscita è pari a quella in entrata. L'impedenza di ingresso è alta. Normalmente utilizzato per evitare che la sorgente non "veda" il carico del circuito.

$$V_{out} = V_{in} \tag{1}$$

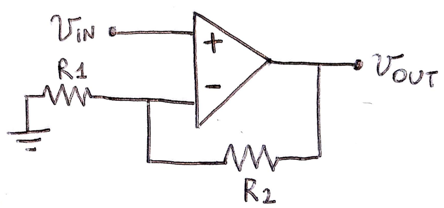
2. Amp. Lineare Invertente



Amplifica la tensione in ingresso di un fattore $-\frac{R_2}{R_1}$, **invertendola**.

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \tag{2}$$

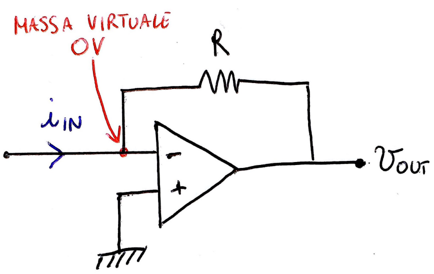
3. Amp. Non Invertente



Amplifica la tensione in ingresso di un fattore $(1 + \frac{R_2}{R_1})$, **non invertendola**.

$$V_{out} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_{in} \tag{3}$$

4. Convertitore I / V

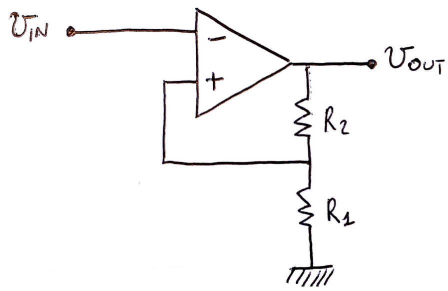


Converte la corrente i_{in} nella tensione V_{out}, **invertendola**.

$$V_{out} = -R \cdot i_{in} \tag{4}$$

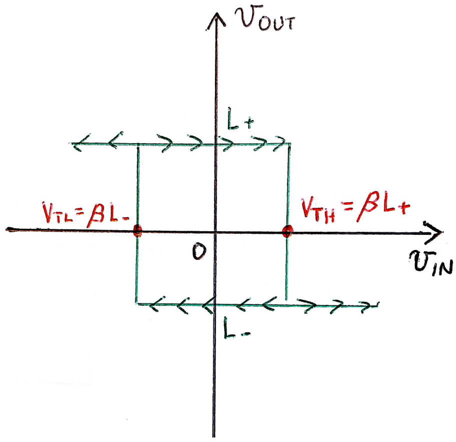
5. Trigger Schmitt Inv.

Multivibratore Bistabile Invertente



Questo circuito, avendo una **retroazione positiva**, "scatta" rapidamente verso la saturazione. Per questo motivo, chiamando i due estremi di saturazione L_+ ed L_- avremo che l'uscita sarà:

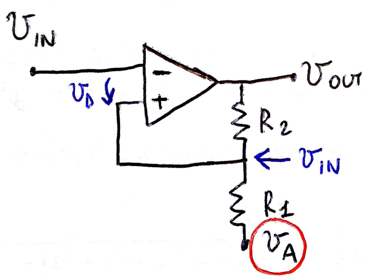
$$V_{out} = L_{+/-} \tag{5}$$



Le due tensioni di scatto, V_{TH} e V_{TL} saranno date da:

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \qquad \begin{cases} V_{TH} = \beta L_+ \\ V_{TL} = \beta L_- \end{cases}$$

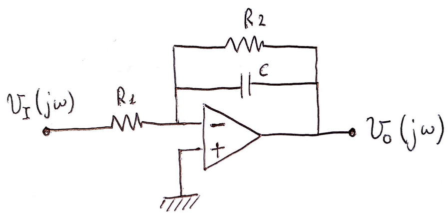
5. Caso massa non nulla



Se al posto della massa troviamo una tensione v_A, per trovare le tensioni di scatto dovremo procedere imponendo la tensione $v_D = 0$, $v_{out} = L_{+/-}$ e trovando per quali valori di v_{in} questa condizione è verificata. Troveremo quindi che le tensioni di scatto saranno:

$$\begin{cases} V_{TH} = \beta L_+ + (1-\beta) v_A \\ V_{TL} = \beta L_- + (1-\beta) v_A \end{cases} \tag{6}$$

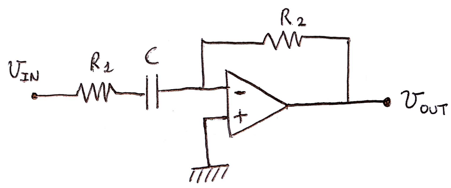
6. Filtro Attivo Passa Basso



$$V_{out}(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C R_2} V_{in}(j\omega) \tag{7}$$

La funzione di trasferimento avrà un polo in $\omega_p = \frac{1}{CR_2}$

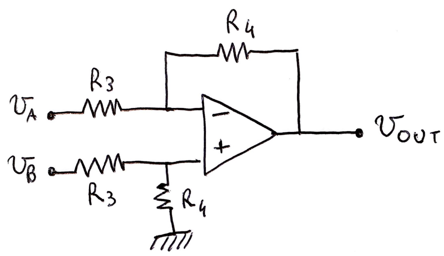
7. Filtro Attivo Passa Alto



$$V_{out}(j\omega) = -\frac{j\omega R_2 C}{1 + j\omega R_2 C} V_{in}(j\omega) \tag{8}$$

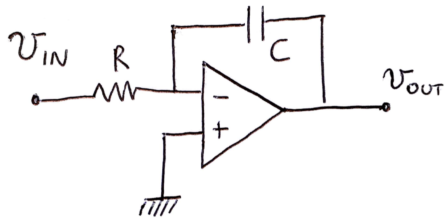
La funzione di trasferimento avrà uno zero in $\omega_z = 0$ ed un polo in $\omega_p = \frac{1}{CR_2}$.

8. Amp. Differenziale



$$V_{out} = \frac{R_4}{R_3}(V_B - V_A) \tag{9}$$

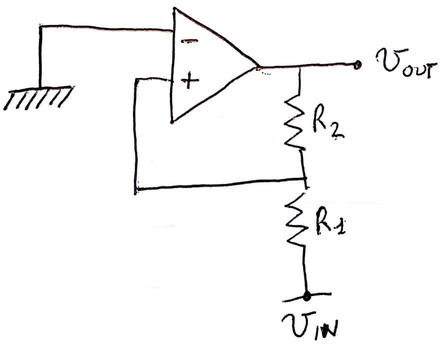
9. Integratore Invertente



$$V_{out}(t) = V_{out}|_{t=0} - \frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(t) dt \tag{10}$$

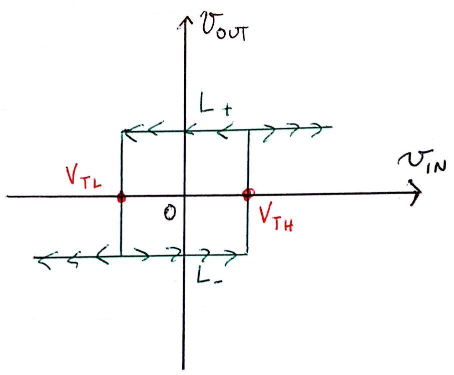
10. Trigger Schmitt Non Inv.

Multivibratore Bistabile Non Invertente



Questo circuito, avendo una **retroazione positiva**, "scatta" rapidamente verso la saturazione. Per questo motivo, chiamando i due estremi di saturazione L_+ ed L_- avremo che l'uscita sarà:

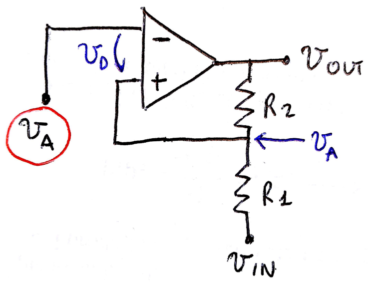
$$V_{out} = L_{+/-} \tag{11}$$



Le due tensioni di scatto, V_{TH} e V_{TL} saranno date da:

$$V_{TL} = -L_+ \frac{R_1}{R_2} \qquad V_{TH} = -L_- \frac{R_1}{R_2}$$

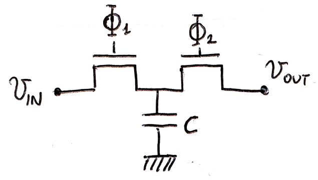
10. Caso massa non nulla



Se al posto della massa troviamo una tensione v_A, per trovare le tensioni di scatto dovremo procedere imponendo la tensione $v_D = 0$, $v_{out} = L_{+/-}$ e trovando per quali valori di v_{in} questa condizione è verificata. Troveremo quindi che le tensioni di scatto saranno:

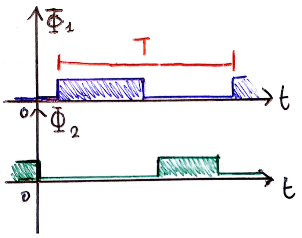
$$\begin{cases} V_{TL} = (v_A - \frac{R_1}{R_1+R_2} L_+)(\frac{R_1+R_2}{R_2}) \\ V_{TH} = (v_A - \frac{R_1}{R_1+R_2} L_-)(\frac{R_1+R_2}{R_2}) \end{cases} \tag{12}$$

11. Circuito a Capacità Commutate

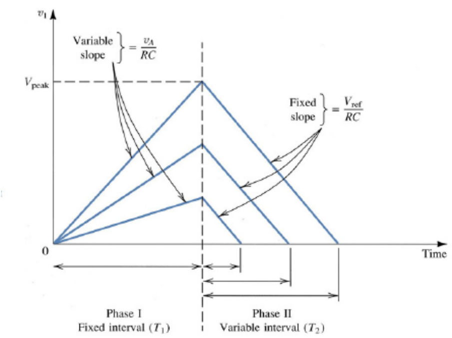


Il circuito a capacità commutate permette di simulare una resistenza utilizzando una capacità e due interruttori che si alternano ad una frequenza $f = 1/T$.

$$R_{eq} = \frac{1}{C \cdot freq} \tag{13}$$



12. A/D Doppia Rampa



Sia F_{ck} la frequenza di clock del convertitore, avremo che il periodo di clock $T_{ck} = 1/F_{ck}$. Sappiamo che il tempo T_1 **è costante**, mentre T_2 ha **pendenza costante**. Chiamando v_A la tensione in ingresso e **supponendola minore di 0**, v_{ref} la tensione di riferimento, la tensione di picco V_{peak} sarà data da:

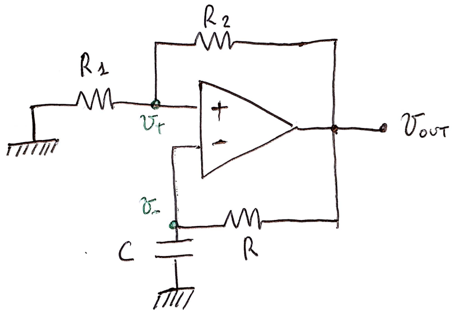
$$V_{peak} = \frac{-v_A}{RC} T_1 \Rightarrow T_1 = RC \frac{V_{peak}}{-v_A}$$

Inoltre per T_2 sappiamo che:

$$T_2 = RC \frac{V_{peak}}{V_{ref}} = N_D \cdot T_{ck}$$

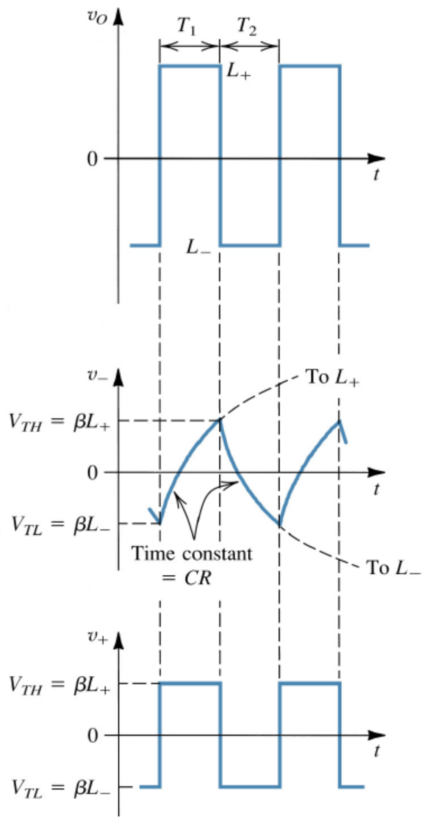
Dove N_D è il numero di conteggi effettuati. Ad esempio, in un convertitore a 8 bit, nel caso peggiore il contatore dovrà effettuare 2^8 cicli, perciò in quel caso $N_D = 2^8$.

13. Multivibratore Astabile



Il multivibratore astabile non ha nessun punto di riposo stabile, ma oscilla.

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \tag{14}$$



Considerando $\tau = RC$, i periodi T_1 e T_2 saranno dati da:

$$v_- = L_+ - (L_+ - \beta L_-)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\Rightarrow T_1 = \tau ln(\frac{1 - \beta(L_-/L_+)}{1 - \beta})$$

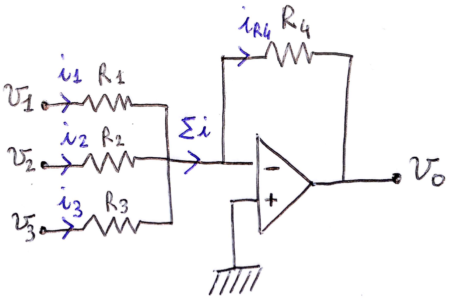
$$v_- = L_- - (L_- - \beta L_+)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\Rightarrow T_2 = \tau ln(\frac{1 - \beta(L_+/L_-)}{1 - \beta})$$

Se $L_+ = L_-$:

$$T = T_1 + T_2 = 2\tau ln\frac{1 + \beta}{1 - \beta}$$

14. Sommatore



Il sommatore permette di sommare le tensioni in ingresso ai suoi capi. In questo esempio con 3 ingressi avremo che:

$$\Sigma i = \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} = -\frac{v_o}{R_4} = i_{R4} \tag{15}$$

Da cui deriva:

$$v_o = -R_4\left[\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3}\right] \tag{16}$$

15. Amplificatori Reali

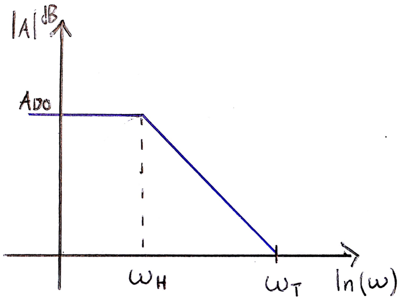
Mentre negli amplificatori ideali il guadagno $A_{D0} = \infty$, nei reali invece è dato da:

$$A(s) = \frac{A_{D0}}{1 + s/\omega_H} \tag{17}$$

È dato il rapporto $|A_0 \cdot B|$ per cui vale l'equazione:

$$|A_0 \cdot B| = A_{f0} \cdot \omega_{hf} = A_{D0} \cdot \omega_H = \omega_T$$

Dove ω_H è la pulsazione di taglio, ω_{hf} la frequenza di taglio, A_{D0} il guadagno statico della FDT.



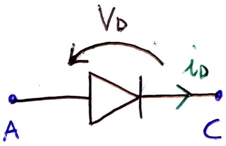
16. Funzione di Trasferimento

Preso un circuito con ingresso $V_{in}(j\omega)$ ed uscita $V_{out}(j\omega)$, avremo che la funzione di trasferimento sarà:

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}(j\omega)}{V_{in}(j\omega)} \tag{18}$$

17. Diodi

Il diodo permette il passaggio di corrente in un verso, ma non in quello opposto.



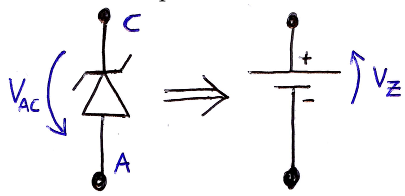
Siano A l'anodo, C il catodo, V_γ la tensione di soglia e V_D la tensione anodo-catodo, allora il diodo può trovarsi in due stati:

- **ON** (*se* $V_D > V_\gamma$): il diodo è acceso e la corrente fluisce da A a C. Avremo quindi che $i_D > 0$.
- **OFF** (*se* $V_D < V_\gamma$): il diodo è spento e la corrente $i_D = 0$.

Per risolvere un problema con più diodi, bisogna fare un ipotesi su quali siano spenti e quali accesi. *Nel caso di due diodi in serie concordi, saranno entrambi accesi o entrambi spenti.*

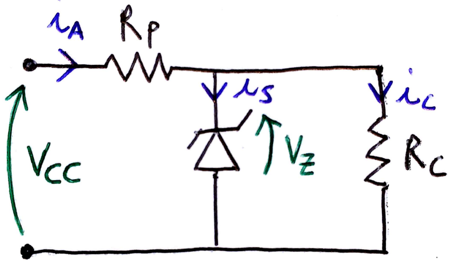
18. Diodi Zener

Il diodo zener, oltre che negli stati di OFF e ON, può anche andare in **SCARICA**. Definendo la sua tensione di breakdown V_Z, avremo che quando la sua tensione anodo-catodo $V_{AC} < -V_Z$, il diodo potrà essere modellato come un generatore indipendente di tensione.



19. Riferimenti a Tensione Zener

Un diodo zener può essere utilizzato per stabilizzare una tensione.



Con V_{CC} tensione di alimentazione, R_P resistenza di polarizzazione, V_Z tensione di riferimento zener, R_C resistenza del carico, I_C corrente assorbita dal carico e i_S corrente di scarica del diodo.

20. Slew Rate

La **slew rate** è la massima derivata del segnale in uscita in modulo:

$$SR = \left|\frac{\delta v_o}{\delta t}\right|_{max} \tag{19}$$

La *slew rate* può portare ad una **saturazione in uscita** causata da una di queste condizioni (o entrambe):

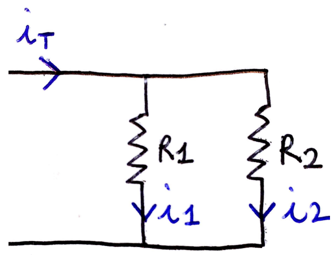
- un eccessiva **frequenza** (o pulsazione ω).
- un eccessiva **ampiezza** in ingresso V_{max}.

21. Rendimento

Il rendimento è dato dal rapporto tra la potenza in uscita P_{out} e la potenza in entrata P_{in}.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \tag{20}$$

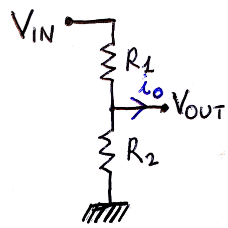
22. Partitore di Corrente



Sia i_T la corrente totale che scorre nel primo ramo, allora:

$$\begin{cases} i_1 = i_T \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} \\ i_2 = i_T \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2} \end{cases} \tag{21}$$

23. Partitore di Tensione



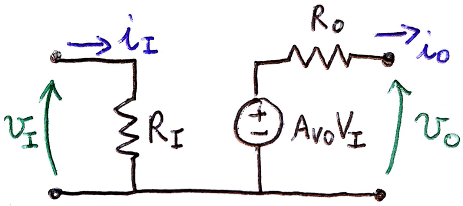
Sia V_{in} la tensione in ingresso, allora:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1} \tag{22}$$

*Perchè la formula del partitore sia valida $i_O = 0$. Questo implica che **in presenza di un carico, la formula non vale.***

24. Tipi di Amplificatore

Amplificatore di Tensione



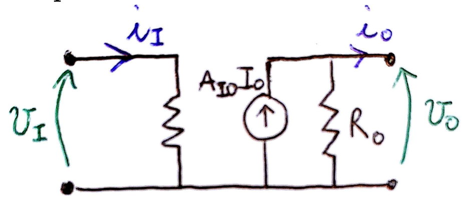
Se ideale avremo che $R_I = \infty, R_O = 0$.

$$A_{V0} = \frac{dv_O}{dv_I} \tag{23}$$

L'uscita sarà data da:

$$V_O = A_{V0} \cdot V_I \tag{24}$$

Amplificatore di Corrente



Se ideale avremo che $R_I = 0, R_O = \infty$.

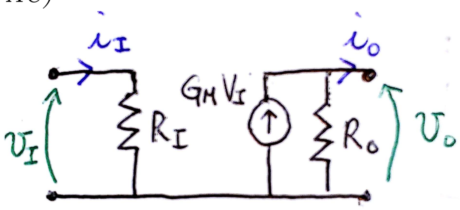
$$A_{I0} = \frac{di_O}{di_I} \tag{25}$$

L'uscita sarà data da:

$$i_O = A_{I0} \cdot i_I \tag{26}$$

Amplificatore a Transconduttanza

(Anche detto a Transammettenza in AC)



Se ideale avremo che $R_I = \infty, R_O = \infty$.

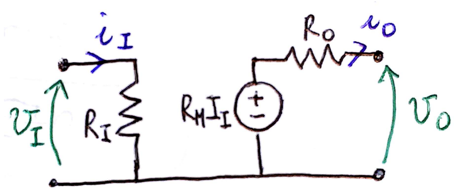
$$G_M = \frac{di_O}{dv_I} \tag{27}$$

L'uscita sarà data da:

$$i_O = G_M \cdot V_I \tag{28}$$

Amplificatore a Transresistenza

(Anche detto a Transimpedenza in AC)



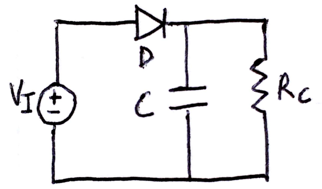
Se ideale avremo che $R_I = 0, R_O = 0$.

$$R_M = \frac{dv_O}{di_I} \tag{29}$$

L'uscita sarà data da:

$$V_O = A_{V0} \cdot V_I \tag{30}$$

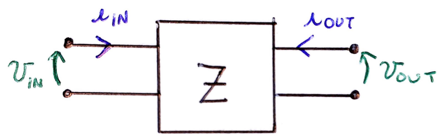
25. Ripple



Considerando V_M la massima tensione sulla capacità (considerando la caduta sul diodo), f la frequenza del segnale, la tensione di ripple V_R sarà data da:

$$|V_R| = \frac{V_M}{f \cdot C \cdot R_L} \tag{31}$$

26. Matrice di Impedenze



Dato un quadripolo, è possibile esprimere la sua **matrice di impedenze** esprimendo la tensione di ingresso ed uscita in questa forma:

$$\begin{cases} V_{in} = Z_{11} i_{in} + Z_{12} i_{out} \\ V_{out} = Z_{21} i_{in} + Z_{22} i_{out} \end{cases} \tag{32}$$

La matrice Z sarà quindi data da:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \tag{33}$$

27. Impedenza d'Ingresso

Per calcolare l'impedenza di ingresso si procede in questo modo:

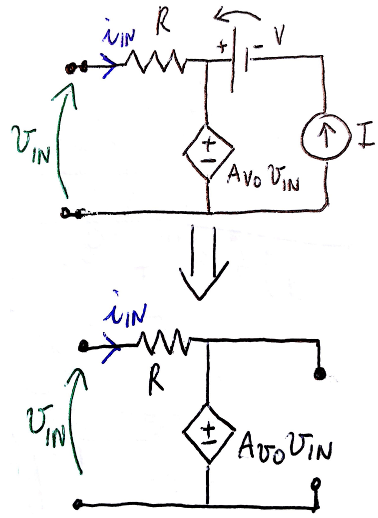
1. Applicare una tensione V_{in} in ingresso.
2. Eliminare tutte le forzanti **non comandate** (i generatori).
3. Calcolare la i_{in} assorbita.

L'impedenza d'ingresso sarà data da:

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{i_{in}} \tag{34}$$

Nel caso di operazionali, valgono le stesse regole. In particolare, bisogna eliminare tutte le forzanti non comandate.

Esempio:



Esempio: