

## CONVERTITORE TENSIONE/CORRENTE CON CARICO FLOTTANTE

(Esercizio n°7.44 pag. 344, Jaeger, Blalock: Micro elettronica)

### Descrizione del problema

Il circuito mostrato in Fig. 1 rappresenta un convertitore tensione corrente che forza una corrente  $i_o$  attraverso una generica impedenza di carico  $Z_L$ . Si trovi l'espressione della corrente di uscita  $i_o$ , in funzione delle tensioni d'ingresso  $v_1$  e  $v_2$ , e l'espressione della resistenza di uscita nel caso di amplificatori operazionali ideali. Si ripeta il calcolo della resistenza di uscita nel caso di amplificatori operazionali con guadagno  $A$  limitato.

Dati:  $R = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $A_{1\text{dB}} = 60 \text{ dB}$ ,  $A_{2\text{dB}} = 72 \text{ dB}$

### Soluzione: amplificatori operazionali ideali

Nel caso di amplificatori operazionali ideali, le tensioni differenziali d'ingresso  $v_{id1}$  e  $v_{id2}$  sono nulle. Pertanto, dalla maglia d'ingresso possiamo scrivere:

$$(1) \quad v_R = v_1 - v_2 = Ri_o$$

Da cui si ricava direttamente l'espressione cercata:

$$(2) \quad i_o = \frac{v_1 - v_2}{R}$$

Dato che questa corrente non dipende dalla tensione ai capi dell'impedenza  $Z_L$ , se ne deduce che il circuito si comporta come un generatore di corrente ideale con resistenza di uscita infinita.

### Soluzione: amplificatori operazionali reali

Nel caso di amplificatori operazionali aventi guadagno  $A$  finito, le tensioni differenziali d'ingresso  $v_{id1}$  e  $v_{id2}$  non possono più essere considerate nulle. Determiniamo la resistenza di uscita mediante il rapporto tra la tensione a vuoto e la corrente di cortocircuito.

*Determinazione della tensione di uscita a vuoto  $v_{ov}$ .* Per il calcolo della tensione di uscita a vuoto si faccia riferimento alla Fig. 2. Dall'equazione di maglia che include le porte d'ingresso e di uscita di  $AO_2$  ricaviamo la seguente relazione:

$$(3) \quad v_{o2} = v_2 - v_{id2} = A_2 v_{id2}$$

$$(4) \quad v_{id2} = \frac{v_2}{1 + A_2}$$

Dall'equazione di maglia che include le porte d'ingresso e di uscita di  $AO_1$  ricaviamo l'espressione della tensione a vuoto  $v_{ov}$ :

$$(5) \quad v_{ov} = A_1 v_{id1} - v_1 + v_{id1} = v_{id1}(1 + A_1) - v_1$$

Dall'equazione della maglia d'ingresso otteniamo:

$$(6) \quad v_1 - v_2 = v_{id1} + Ri_R - v_{id2} = v_{id1} - v_{id2}$$

dove si è sfruttato il fatto che la corrente  $i_R$  è identicamente nulla per l'ipotesi di resistenza differenziale d'ingresso infinita degli amplificatori operazionali. Sostituendo la (4) nella (6) otteniamo:

$$(7) \quad v_1 = v_{id1} + \frac{A_2}{1 + A_2} v_2$$

Sostituendo la (7) nella (5) si ricava, infine, l'espressione della tensione di uscita a vuoto in funzione delle tensioni d'ingresso  $v_1$  e  $v_2$ :

$$(8) \quad v_{ov} = \left( v_1 - \frac{A_2}{1 + A_2} v_2 \right) (1 + A_1) - v_1 = A_1 v_1 - \frac{A_2(1 + A_1)}{1 + A_2} v_2$$

*Determinazione della corrente di cortocircuito  $i_{occ}$ .* Per il calcolo della corrente di uscita di cortocircuito si faccia riferimento alla Fig. 3 da cui possiamo scrivere:

$$(9) \quad i_{occ} = \frac{v_1 - v_{id1} - (v_2 - v_{id2})}{R}$$

Osserviamo che vale ancora la (4) e che, una relazione analoga vale ora anche per il primo amplificatore operazionale, per cui, sostituendo tali relazioni nella (9) otteniamo:

$$(10) \quad i_{occ} = i_R = \frac{v_1 - \frac{v_1}{1+A_1} - \left( v_2 - \frac{v_2}{1+A_2} \right)}{R} = \left( \frac{A_1}{1+A_1} v_1 - \frac{A_2}{1+A_2} v_2 \right) \frac{1}{R}$$

Dividendo la (8) per la (10) otteniamo l'espressione cercata della resistenza di uscita:

$$(11) \quad R_{out} = \frac{v_{ov}}{i_{occ}} = \frac{A_1 v_1 - \frac{A_2(1+A_1)}{1+A_2} v_2}{\left( \frac{A_1}{1+A_1} v_1 - \frac{A_2}{1+A_2} v_2 \right) \frac{1}{R}} = R(1+A_1)$$

Con i valori dati si ottiene  $A_1 = 10^{\frac{A_{dB}}{20}} = 1000$  e  $R_{out} = 10 \text{ M}\Omega$ .

E' interessante osservare che, in questo caso, il calcolo diretto della resistenza di uscita risulta molto più semplice del metodo adottato. Infatti, annullando i generatori indipendenti  $v_1$  e  $v_2$  e applicando un generatore di misura come indicato in Fig. 4. Da questo schema e dalla (4) si evince immediatamente che  $v_{id2} = 0$ . Pertanto dalla maglia di ingresso si ottiene la seguente relazione:

$$(12) \quad i_m = \frac{v_{id1}}{R} = \frac{v_{o1}}{A_1 R}$$

Dall'equazione di maglia relativa a  $AO_1$  ricaviamo  $v_m$ :

$$(13) \quad v_m = v_{o1} + v_{id1} = \frac{1+A_1}{A_1} v_{o1}$$

Pertanto la resistenza di uscita risulta:

$$(14) \quad R_{out} = \frac{v_m}{i_m} = R(1+A_1)$$

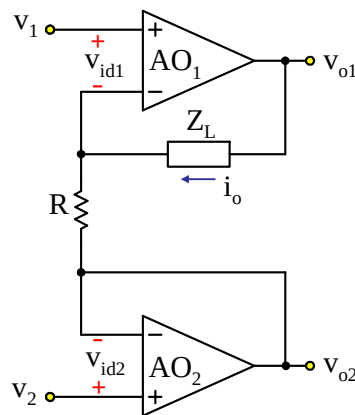


Fig. 1– Schema di un convertitore tensione/corrente con carico non riferito a massa

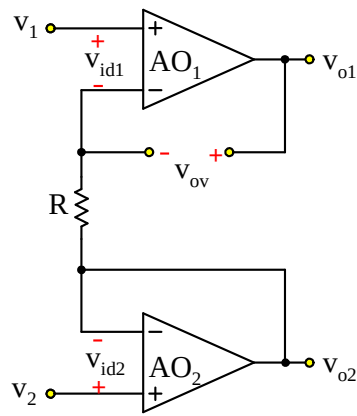


Fig. 2- Schema equivalente per il calcolo della tensione di uscita a vuoto

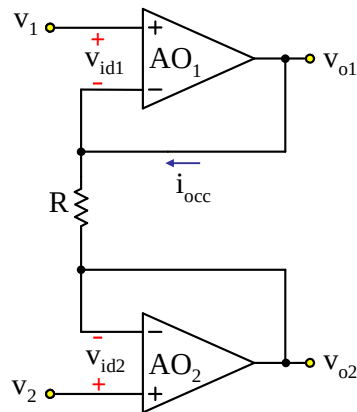


Fig. 3- Schema equivalente per il calcolo della corrente di uscita di cortocircuito

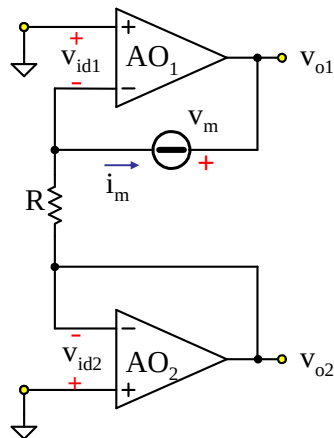


Fig. 4- Schema equivalente per il calcolo diretto della resistenza di uscita