

AMPLIFICATORE NON INVERTENTE CON CARICO RESISTIVO

(Esercizio n°P5.4 pag. 261, Spencer, Ghausi: Intro duction to Electronic Circuit Design)

Descrizione del problema

Il circuito mostrato in Fig. 1 utilizza un amplificatore operazionali considerato ideale tranne che per il guadagno A finito. Si ricavi l'espressione delle tensione di uscita v_o e della resistenza di uscita vista dal carico R_{out} in funzione dei parametri del circuito.

Dati: $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 91 \text{ k}\Omega$, $R_L = 330 \Omega$, $R_o = 60 \Omega$, $A_{dB} = 78 \text{ dB}$

Soluzione

Avendo l'amplificatore operazionale resistenza differenziale d'ingresso infinita, le correnti assorbite ai morsetti di ingresso sono nulle. Di conseguenza, possiamo scrivere:

$$(1) \quad i_1 = i_2 = i_3$$

Le due resistenze R_1 e R_2 sono, pertanto, in serie tra loro ed assieme risultano in parallelo alla resistenza di carico R_L . Definiamo R_p tale resistenza complessiva:

$$(2) \quad R_p = \frac{R_L(R_1 + R_2)}{R_L + R_1 + R_2} = 329 \Omega$$

Dall'equazione della maglia d'ingresso troviamo la seguente relazione:

$$(3) \quad v_s = v_{id} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_o = v_{id} + \beta v_o$$

Avendo definito il seguente fattore di retroazione β :

$$(4) \quad \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Dall'equazione della maglia di uscita dell'amplificatore operazionale possiamo, invece, scrivere:

$$(5) \quad v_o = A v_{id} \frac{R_p}{R_o + R_p}$$

Combinando la (3) con la (5) otteniamo il guadagno di tensione complessivo:

$$(6) \quad v_o = A(v_s - \beta v_o) \frac{R_p}{R_o + R_p}$$

$$(7) \quad A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{A \frac{R_p}{R_o + R_p}}{1 + A\beta \frac{R_p}{R_o + R_p}} = 8.57 \text{ (18.7 dB)}$$

Dato che il guadagno A vale:

$$(8) \quad A = 10^{\frac{A_{dB}}{20}} = 7943$$

Per quanto riguarda la resistenza di uscita vista dal carico, il circuito da analizzare è mostrato in Fig. 2, dove il generatore indipendente di tensione in ingresso è stato annullato ed è stato applicato un generatore di misura v_m . Applicando kirchoff al nodo di uscita possiamo scrivere:

$$(9) \quad i_m = i_2 + i_o = i_1 + i_o$$

Dove si è utilizzata la condizione (1) che è sempre verificata. La corrente nelle resistenze R_1 e R_2 vale:

$$(10) \quad i_2 = i_1 = \frac{v_m}{R_1 + R_2}$$

Mentre la corrente assorbita dall'uscita dell'amplificatore operazionale risulta:

$$(11) \quad i_o = \frac{v_m - Av_{id}}{R_o}$$

Infine, dalla maglia d'ingresso dell'amplificatore operazionale si osserva che la tensione differenziale v_{id} è anche la tensione ai capi della resistenza R_1 cambiata di segno. Pertanto possiamo scrivere:

$$(12) \quad v_{id} = -v_m \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -\beta v_m$$

Sostituendo le (10), (11) e (12) nella (9) otteniamo:

$$(13) \quad i_m = \frac{v_m}{R_1 + R_2} + \frac{1 + A\beta}{R_o} v_m$$

Da cui è immediato ricavare l'espressione della resistenza di uscita R_{out} :

$$(14) \quad R_{out} = \frac{v_m}{i_m} = \frac{R_o}{1 + A\beta} // (R_1 + R_2) = 64.8 \text{ m}\Omega$$

Tale espressione coincide con quella della resistenza di uscita di un amplificatore operazionale avente resistenza di uscita propria R_o e guadagno A finito. A scopo didattico, ricaviamo l'espressione della resistenza di uscita in modo alternativo mediante la seguente definizione:

$$(15) \quad R_{out} = \frac{v_{ov}}{i_{occ}}$$

Ovverosia, dal rapporto tra la tensione a vuoto e la corrente di cortocircuito, definite come mostrato in Fig. 3. La tensione a vuoto si ricava direttamente dalla (7) facendo tendere la resistenza di carico R_L ad infinito. Si ottiene:

$$(16) \quad v_{ov} = v_s \frac{A \frac{R_1 + R_2}{R_o + R_1 + R_2}}{1 + A\beta \frac{R_1 + R_2}{R_o + R_1 + R_2}} = v_s \frac{A}{\frac{R_o + R_1 + R_2}{R_1 + R_2} + A\beta}$$

La corrente di uscita di cortocircuito, invece, si ottiene dallo schema di Fig. 3 osservando che $i_1 = i_2 = 0$ e che la corrente di cortocircuito coincide con la corrente erogata dall'amplificatore operazionale:

$$(17) \quad i_{occ} = \frac{Av_{id}}{R_o} = \frac{Av_s}{R_o}$$

Dividendo la (16) per la (17) otteniamo:

$$(18) \quad R_{out} = \frac{R_o}{\frac{R_o + R_1 + R_2}{R_1 + R_2} + A\beta} = \frac{1}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_o} + \frac{A\beta}{R_o}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1 + A\beta}{R_o}}$$

Tale espressione coincide con quella precedentemente ricavata in (14).

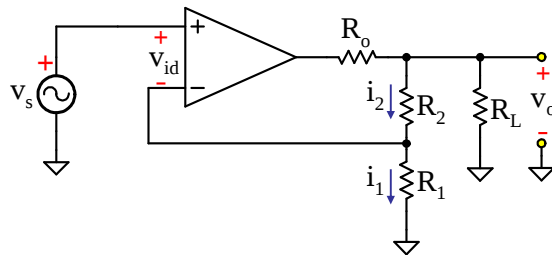


Fig. 1– Circuito amplificatore che impiega un amplificatore operazionale ideale tranne che per il guadagno A finito

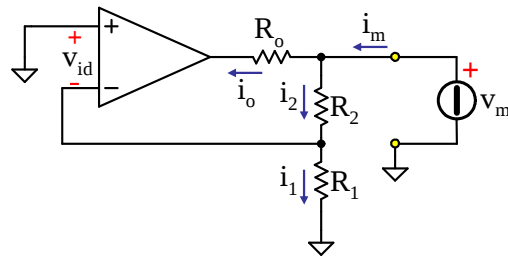


Fig. 2– Circuito equivalente per il calcolo della resistenza di uscita

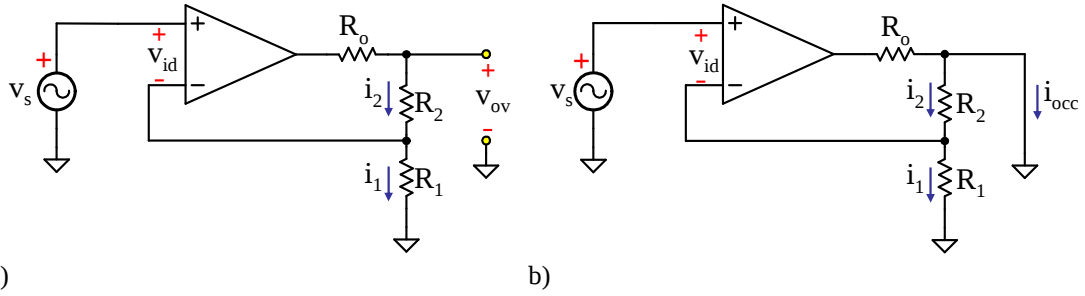


Fig. 3– Circuito per il calcolo della tensione di uscita a vuoto (a) e per la corrente di uscita di corto circuito (b)