

AMPLIFICATORE NON INVERTENTE CON OPERAZIONALE REALE

(Esercizio: n°8.7 pag. 420, Jaeger, Blalock: Micro elettronica)

Descrizione del problema

Dato l'amplificatore non invertente di Fig. 1, si determini il circuito equivalente secondo Thevenin della rete vista dai due morsetti relativi alla porta di uscita (indicata in figura). Si consideri l'amplificatore operazionale reale.

Dati: $A = 10^4$, $R_{ID} = 100 \text{ k}\Omega$, $R_o = 200 \text{ }\Omega$, $R_1 = 0.39 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 56 \text{ k}\Omega$

Soluzione

Per il calcolo del circuito equivalente secondo Thevenin dobbiamo trovare le espressioni della tensione di uscita a vuoto e della resistenza di uscita vista dai morsetti indicati in figura. Il circuito da analizzare è mostrato in Fig. 2, dove si è adottato il modello adeguato per l'amplificatore operazionale che considera resistenze d'ingresso e di uscita di valore finito. Da tale figura, applicando Kirchhoff alle maglie d'ingresso e di uscita otteniamo:

$$(1) \quad v_s - v_{id} = R_1(i_s + i_2)$$

$$(2) \quad i_s = \frac{v_{id}}{R_{ID}}$$

$$(3) \quad i_2 = \frac{Av_{id} - (v_s - v_{id})}{R_o + R_2} = \frac{(A+1)v_{id} - v_s}{R_o + R_2}$$

Sostituendo le (2) e (3) nella (1) ricaviamo v_{id} in funzione di v_s :

$$(4) \quad v_s - v_{id} = R_1 \left(\frac{v_{id}}{R_{ID}} + \frac{(A+1)v_{id} - v_s}{R_o + R_2} \right)$$

$$v_s \left(1 + \frac{R_1}{R_o + R_2} \right) = v_{id} \left(1 + \frac{R_1}{R_{ID}} + \frac{R_1(A+1)}{R_o + R_2} \right)$$

La tensione di uscita a vuoto è data dalla seguente espressione:

$$(5) \quad v_{ov} = Av_{id} - R_o i_2 = Av_{id} - R_o \frac{(A+1)v_{id} - v_s}{R_o + R_2} = Av_{id} \left(1 - \frac{R_o}{R_o + R_2} \left(1 + \frac{1}{A} \right) \right) + \frac{R_o}{R_o + R_2} v_s$$

Sostituendo la (4) nella (5) ricaviamo infine:

$$(6) \quad v_{ov} = \left(A \frac{1 + \frac{R_1}{R_o + R_2}}{1 + \frac{R_1}{R_{ID}} + \frac{R_1(A+1)}{R_o + R_2}} \left(1 - \frac{R_o}{R_o + R_2} \left(1 + \frac{1}{A} \right) \right) + \frac{R_o}{R_o + R_2} \right) v_s = 1047.2 v_s$$

Si osserva facilmente che se $R_o = 0$ e $R_{ID} = \infty$, l'espressione del guadagno di tensione diventa:

$$(7) \quad A_v = \frac{v_{ov}}{v_s} = A \frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{1 + \frac{R_1(A+1)}{R_2}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{1}{1 + \frac{1}{A\beta}} = 1047.6$$

con $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$. Come si può osservare, il calcolo approssimato comporta un errore relativo

pari a 0.045%, del tutto trascurabile.

Per quanto riguarda il calcolo della resistenza di uscita, si faccia riferimento alla Fig. 3a nella quale il generatore indipendente di tensione v_s è stato annullato (cortocircuitato). Rispetto all'analisi della resistenza di uscita di un amplificatore operazionale reale fatta nel testo, l'unica differenza è costituita dalla presenza della resistenza differenziale d'ingresso R_{ID} . Ma, come si può osservare

dalla Fig. 3b, tale resistenza è, a tutti gli effetti, connessa in parallelo a R_1 . Pertanto possiamo adottare il risultato già calcolato nel testo con l'avvertenza di sostituire R_1 con il parallelo tra R_1 e R_{ID} . Definendo $\beta' = \frac{R_1 // R_{ID}}{R_1 R_1 // R_{ID} + R_2}$, la resistenza di uscita vale:

$$(8) \quad R_{out} = (R_2 + R_1 // R_{ID}) // \left(\frac{R_o}{1 + A\beta'} \right) = 21.025 \, \Omega$$

E' utile sottolineare il fatto che, essendo $R_{ID} \gg R_1$, si poteva tranquillamente usare l'espressione approssimata derivante dal considerare $R_{ID} = \infty$ con un errore trascurabile. Infatti, in tale condizione si calcola $R_{out} = 20.952 \, \Omega$, con un errore relativo del 0.35%.

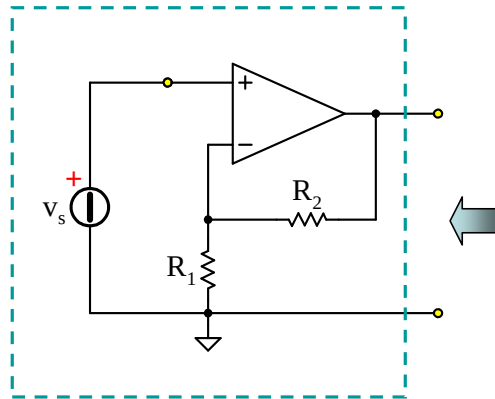


Fig. 1– Amplificatore in configurazione non invertente

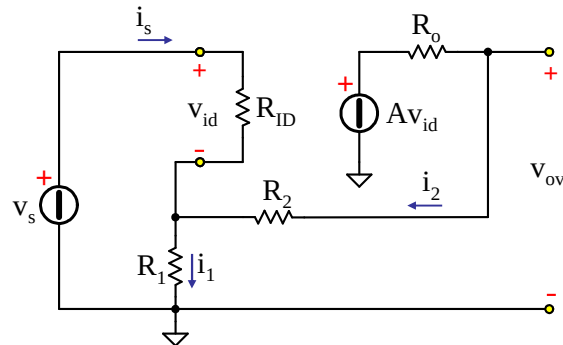


Fig. 2– Modello circuitale dell'amplificatore in configurazione non invertente per il calcolo della tensione di uscita a vuoto

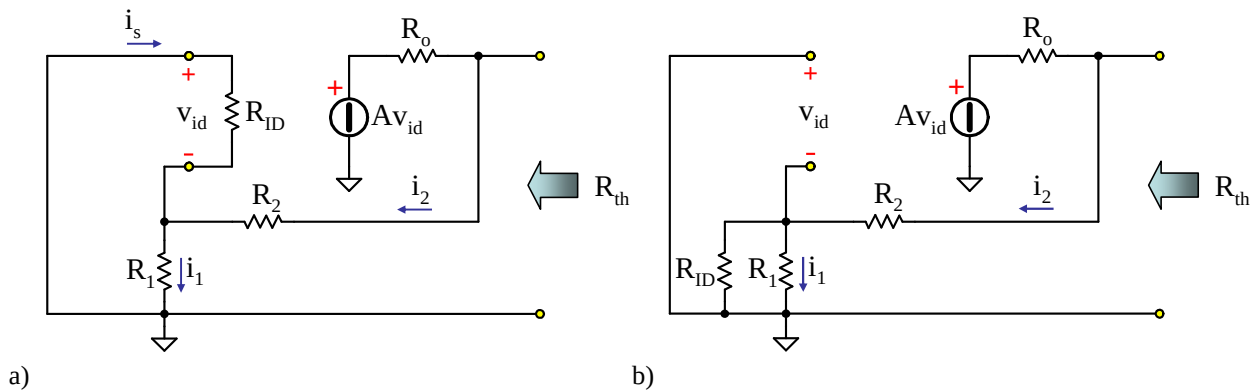


Fig. 3– a) Modello circuitale dell'amplificatore in configurazione non invertente per il calcolo della resistenza di uscita; b) circuito ridisegnato per porre in evidenza la posizione relativa di R_{ID} rispetto a R_1

