

## AMPLIFICATORE DA STRUMENTAZIONE

(Esercizio: n°8.14 pag. 421, Jaeger, Blalock: Micr oelettronica)

### Descrizione del problema

Il circuito di Fig. 1 rappresenta un amplificatore per strumentazione. Considerando amplificatori operazionali ideali, si determinino le correnti erogate dagli amplificatori operazionali, il guadagno di modo differenziale  $A_{dm}$ , il guadagno di modo comune  $A_{cm}$  ed il CMRR dell'amplificatore.

Dati:  $v_a = 4.99$  V,  $v_b = 5.01$  V,  $R_1 = 200$   $\Omega$ ,  $R_2 = 4.9$  k $\Omega$ ,  $R_3 = R_6 = 10.01$  k $\Omega$ ,  $R_4 = R_5 = 9.99$  k $\Omega$

### Soluzione

A causa della dissimmetria del circuito causata dai diversi rapporti  $R_6/R_5$  e  $R_4/R_3$ , l'amplificatore differenziale amplificherà non solo la componente di modo differenziale delle tensioni d'ingresso ma anche la loro componente di modo comune. Infatti, le tensioni  $v_a$  e  $v_b$  possono essere così scomposte:

$$(1) \quad \begin{cases} v_a = v_{icm} + \frac{v_{idm}}{2} \\ v_b = v_{icm} - \frac{v_{idm}}{2} \end{cases}$$

avendo definito le tensioni d'ingresso di modo differenziale e comune nel seguente modo:

$$(2) \quad \begin{cases} v_{idm} = v_a - v_b \\ v_{icm} = \frac{v_a + v_b}{2} \end{cases}$$

Dai dati del problema si ha  $v_{idm} = -20$  mV,  $v_{icm} = 5$  V. Sapendo che le resistenze  $R_1$  e  $R_2$  sono attraversate dalla stessa corrente (le correnti ai morsetti d'ingresso degli amplificatori operazionale sono nulle), le tensioni di uscita dei due amplificatori  $AO_1$  e  $AO_2$  sono date dalle seguenti espressioni:

$$(3) \quad \begin{cases} v_{o1} = R_2 i_1 + v_a \\ v_{o2} = -R_2 i_1 + v_b \end{cases}$$

Dove si è sfruttato anche il fatto che le tensioni differenziali tra i morsetti d'ingresso degli operazionali sono nulle (ipotesi di guadagno infinito). Possiamo scomporre anche queste due tensioni in componenti di modo differenziale e di modo comune:

$$(4) \quad \begin{cases} v_{odm} = v_{o1} - v_{o2} = 2R_2 i_1 + v_a - v_b = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) v_{idm} \\ v_{ocm} = \frac{v_{o1} + v_{o2}}{2} = \frac{v_a + v_b}{2} = v_{icm} \end{cases}$$

La tensione di uscita dello stadio differenziale costituito da  $AO_3$ , risulta data dalla seguente espressione:

$$(5) \quad v_o = -A_1 v_{o1} + A_2 v_{o2} = -\frac{A_1 + A_2}{2} v_{odm} + (A_2 - A_1) v_{ocm} = A_{dm} v_{idm} + A_{cm} v_{icm}$$

con i guadagni dati da:

$$(6) \quad \begin{cases} A_1 = \frac{R_6}{R_5} \\ A_2 = \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} \end{cases}$$

$$(7) \quad \begin{cases} A_{dm} = -\frac{A_1 + A_2}{2} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \\ A_{cm} = A_2 - A_1 \end{cases}$$

Dai dati del problema si osserva che le resistenze  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  e  $R_6$  possono essere espresse in termini di deviazione rispetto ad un unico valore  $R$  pari a  $10 \text{ k}\Omega$ . Pertanto, possiamo scrivere:

$$(8) \quad \begin{cases} R_6 = R_3 = R(1 + \epsilon) \\ R_5 = R_4 = R(1 - \epsilon) \end{cases}$$

Sostituendo la (8) nelle (5), (6) e (7) otteniamo:

$$(9) \quad \begin{cases} A_1 = \frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon} \\ A_2 = \left(1 + \frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon}\right) \frac{1}{\frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon} + 1} = 1 \end{cases}$$

$$(10) \quad \begin{cases} A_{dm} = -\frac{1}{2} \left(\frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon} + 1\right) \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) = -\frac{1}{1 - \epsilon} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \\ A_{cm} = 1 - \frac{1 + \epsilon}{1 - \epsilon} = -\frac{2\epsilon}{1 - \epsilon} \end{cases}$$

Il rapporto di reiezione di modo comune risulta:

$$(11) \quad CMRR = \left| \frac{A_{dm}}{A_{cm}} \right| = \frac{1}{2\epsilon} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

Risulta:  $A_1 = 1.002$ ,  $A_2 = 1$ ,  $A_{dm} = -50.0501$ ,  $A_{cm} = -0.002002$ ,  $CMRR = 25000$  (87.96 dB). Per il calcolo delle correnti erogate (quindi con verso uscente) dagli amplificatori operazionali possiamo scrivere (vedi Fig. 1):

$$(12) \quad i_{o1} = i_1 + i_5$$

$$(13) \quad i_{o2} = -i_1 + i_3$$

$$(14) \quad i_{o3} = -i_5$$

$$(15) \quad i_5 = \frac{v_{o1} - v_o}{R_5 + R_6}$$

$$(16) \quad i_3 = \frac{v_{o2}}{R_3 + R_4}$$

Nelle relazioni soprascritte si è sfruttato il fatto che le correnti nulle agli ingressi di  $AO_3$  implicano che  $R_5$  e  $R_6$  sono attraversate dalla stessa corrente, e lo stesso vale per  $R_3$  e  $R_4$ . A loro volta, le tensioni di uscita degli operazionali si possono facilmente calcolare dalle relazioni precedenti (3) e (5) che danno come risultati  $v_{o1} = 4.5 \text{ V}$ ,  $v_{o2} = 5.5 \text{ V}$ ,  $v_o = 0.991 \text{ V}$ . Le correnti risultano:  $i_1 = -100 \mu\text{A}$ ,  $i_5 = 175.45 \mu\text{A}$ ,  $i_3 = 275 \mu\text{A}$ ,  $i_{o1} = 75.45 \mu\text{A}$ ,  $i_{o2} = 375 \mu\text{A}$ ,  $i_{o3} = -175.45 \mu\text{A}$ .

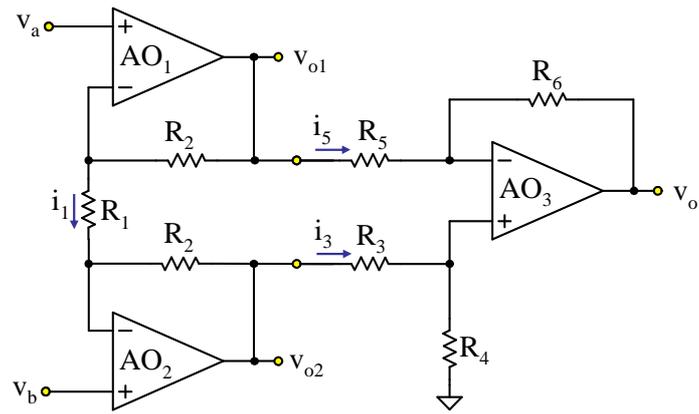


Fig. 1– Amplificatore da strumentazione