



Maurizio Monteduro

AMPLIFICATORI OPERAZIONALI 2

11 September 2004

1. [Amplificatore di transresistenza](#)
2. [Amplificatore di transconduttanza](#)
3. [Amplificatore di corrente](#)
4. [Voltage Follower](#)

Tratto dal sito "[Laboratorio di elettronica](#)": Una grande quantità di materiale di alta qualità sull'elettronica, scritto dai professori Trivi e Monteduro dell'I.T.I.S. Fauser di Novara.

Amplificatore di transresistenza

Si preleva una tensione in uscita e la si riporta, come corrente, in parallelo alla maglia d'ingresso, quindi sarà una reazione di tensione - parallelo, ovvero, parallelo - parallelo.

La funzione di trasferimento sarà

data da:

$$\frac{V_u}{I_e} = -R$$

Bisogna notare che la tensione di uscita risulta "pilotata" dalla corrente in ingresso, questo giustifica il nome di amplificatore di transresistenza, dato al circuito.

Dall'equazione al nodo B, risulta:

$$I_e = I_r - I_i$$

ma, non entrando corrente nell'operazionale, $I_i = 0$. Ne deriva, quindi, che $I_e = I_r$. Inoltre $V_i = 0$, ciò implica che il punto B sia praticamente a potenziale di massa. Infatti, si suole indicare B come "*Massa Virtuale*", ovvero B risulta una massa per le tensioni, ma non per la correnti.

Per le posizioni espresse in precedenza sarà $V_u = -V_r$ ed essendo $V_r = I_r \cdot R = I_e \cdot R$

posso dire che $V_u = -I_e \cdot R$ ovvero $\frac{V_u}{I_e} = -R$

Calcoliamo, ora, la resistenza di ingresso del circuito riferendoci alla Fig.15.

[Espandi/contrai](#) | [Rimpicciolisci](#) | [Ingrandisci](#) | [Nuova finestra](#)

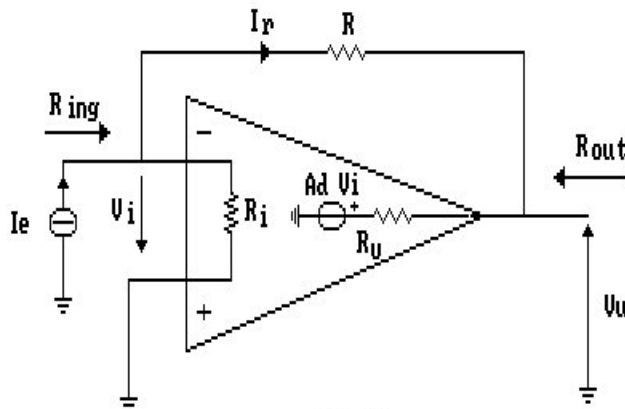


Fig. 15

$$R_{ing} = -\frac{V_i}{I_e} = -\frac{V_u}{A_d I_e} \quad \text{quindi} \quad R_{ing} \cong \frac{R}{A_d}$$

Come si vede, la resistenza di ingresso per questa configurazione è molto bassa.

Per il calcolo della resistenza d'uscita, consideriamo l'espressione ottenuta dall'analisi del circuito di Fig.13:

$$R_{out} = \frac{R_u}{A_d \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

prendendo il limite per $R_1 \rightarrow \infty$, otteniamo $R_{out} \cong \frac{R_u}{A_d}$, che è ancora un valore estremamente basso.

In conclusione, l'amplificatore di transresistenza presenta una tensione d'uscita direttamente proporzionale alla corrente d'ingresso e resistenze d'ingresso e d'uscita bassissime.

Dall'amplificatore di transresistenza, deriva direttamente l'*amplificatore di tensione invertente*:

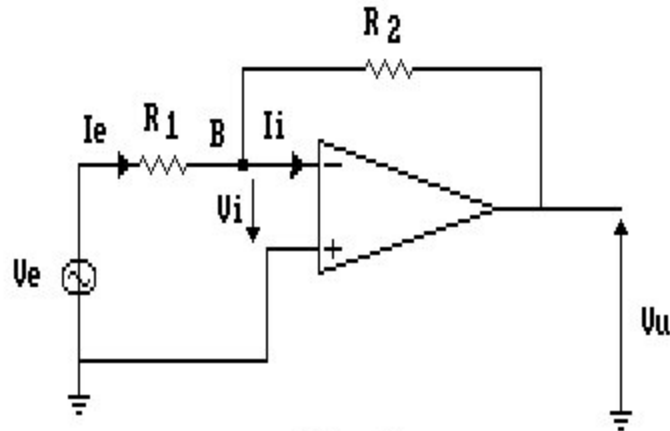


Fig. 16

Anche di questo circuito calcoleremo il guadagno, procedendo come segue.

Considerando che, essendo $V_i = 0$, e che, pertanto, il punto B è una massa virtuale, la resistenza che si vedrà fra B e massa è nulla, ovvero, la conduttanza parallela di Norton è infinita. Sotto queste ipotesi, sostituendo al ramo serie l'equivalente di Norton visto fra la massa ed il morsetto B, otteniamo il circuito di Fig. 17, in cui

$$I_e = \frac{V_e}{R_1}.$$

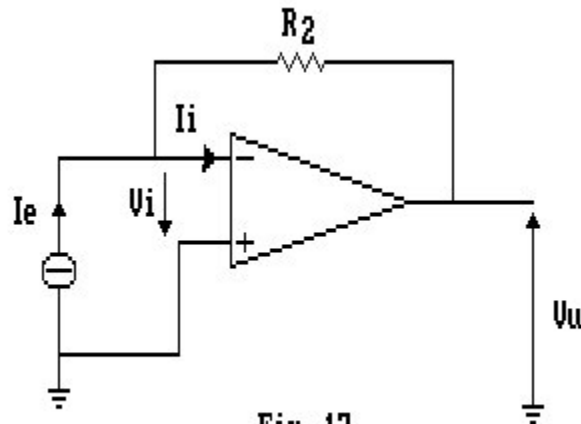


Fig. 17

Tale circuito è formalmente uguale a quello riportato nella Fig. 14.

Sostituendo nella espressione, ad esso relativa, vista poc'anzi, $\frac{V_u}{V_e} = -R$, il valore di I_e ottenuto, ed al posto di R , R_2 , avremo:

$$\frac{\frac{V_u}{V_e}}{\frac{R_2}{R_1}} = -R_2$$

dalla quale si ottiene:

$$\frac{V_u}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Per il calcolo della resistenza d'ingresso riferiamoci, ancora, al circuito di Fig.16 notiamo che:

$$R_{ing} = -\frac{V_i}{I_e} + R_1 = -\frac{V_u}{A_d I_e} + R_1$$

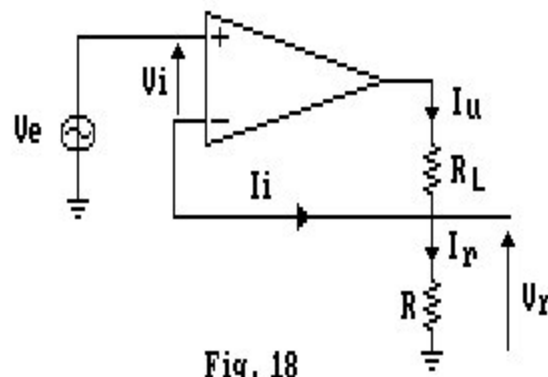
ma, essendo $\frac{V_u}{I_e} \cong -R_2$, è lecito scrivere che:

$R_{ing} \cong \frac{R_2}{A_d} + R_1$ e, siccome A_d è molto grande, vediamo che $\frac{R_2}{A_d} \cong 0$, da quanto detto deriva che: $R_{ing} \cong R_1$.

Per quanto riguarda la resistenza d'uscita è facile dimostrare, come si è già fatto per l'amplificatore di tensione non invertente, che R_{out} è molto bassa, infatti essa è ancora data dalla relazione seguente:

$$R_{out} \cong \frac{R_u}{A_d \cdot \frac{R_1}{R_2}}$$

Amplificatore di transconduttanza



Si preleva una corrente in uscita riportandola come tensione in ingresso, sarà quindi una reazione di corrente serie, ovvero serie - serie.

Nell'ipotesi che $V_i = 0$, avremo $V_e = V_r = R \hat{A} \cdot I_r$.

Inoltre, essendo sempre $I_i = 0$ e considerando che $I_r = I_i + I_u$, si otterrà $I_r = I_u$ che, tramite opportune sostituzioni ci fornisce la relazione:

$$\frac{I_u}{V_e} = \frac{1}{Z}$$

Questo amplificatore fornisce ad un carico R_L , una corrente direttamente proporzionale alla tensione pilota V_e , questo giustifica il nome di amplificatore di transconduttanza. Il suo grosso inconveniente, è costituito dal fatto, che, non possedendo il carico alcun capo a massa e, quindi, non essendo connesso ad alcun potenziale di riferimento, rimane fluttuante.

Il calcolo della resistenza d'ingresso di questo circuito, può essere condotto osservando che esso è topologicamente identico all'amplificatore di tensione non invertente.

Per comodità riportiamo il circuito utilizzato per il computo, dal quale si ricava:

$$R_{in} \cong R_i \cdot \left(A_d \cdot \frac{R}{R + R_L} \right)$$

Come si nota, per l'elevato valore di A_d , anch'essa avrà un valore molto alto.

Per quanto concerne la resistenza d'uscita, consideriamo il circuito di Fig.19:

[Espandi/contrai](#) | [Rimpicciolisci](#) | [Ingrandisci](#) | [Nuova finestra](#)

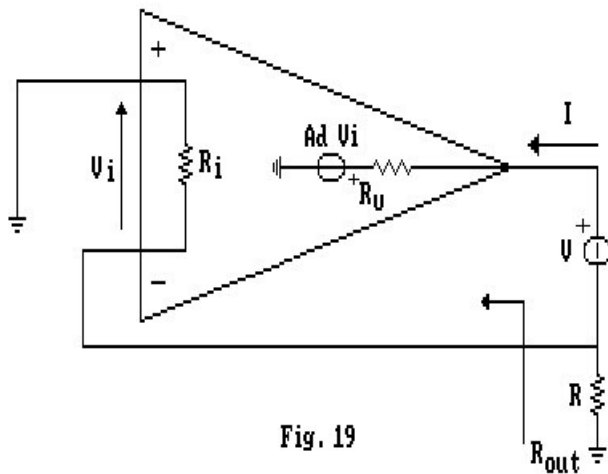


Fig. 19

Per chiarezza, è bene ridisegnarlo come segue:

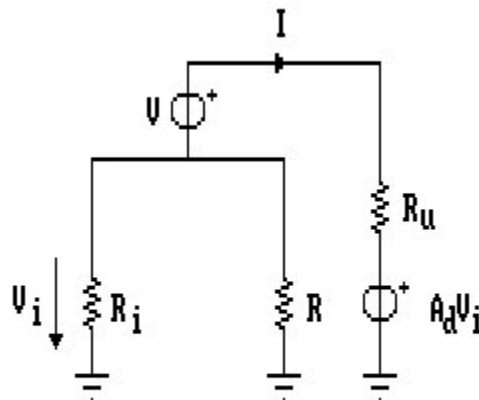
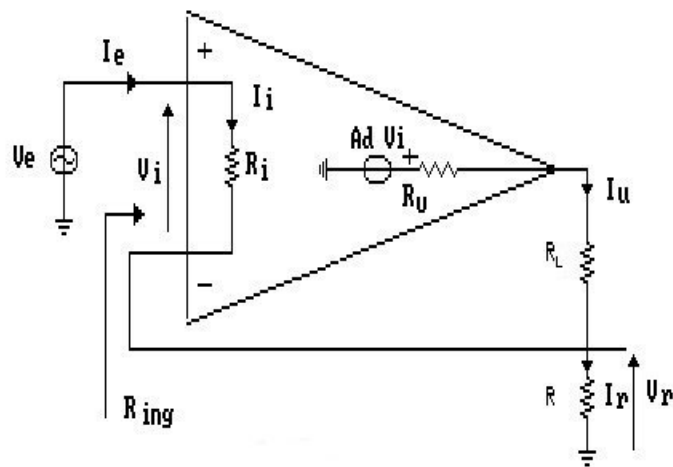


Fig. 20

Risolvendo il circuito, otteniamo:

$$I \cdot \frac{R_i \cdot R}{R_i + R} - V + I \cdot R_u + A_d \cdot V_i = 0$$

[Espandi/contrai](#) | [Rimpicciolisci](#) | [Ingrandisci](#) | [Nuova finestra](#)



ma, $V_i = I \cdot \frac{R_i \cdot R}{R_i + R}$ da cui:

$$I \cdot \frac{R_i \cdot R}{R_i + R} - V + I \cdot R_u + A_d \cdot \frac{R_i \cdot R}{R_i + R} = 0$$

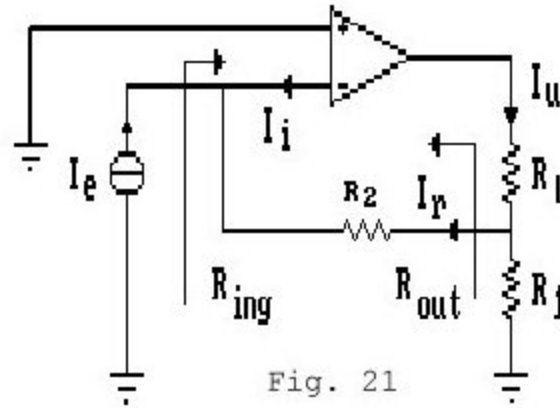
allora:

$$V = I \cdot \left[\frac{R_i \cdot R}{R_i + R} \cdot (1 + A_d) + R_u \right]$$

Da cui

$$R_{out} = \frac{V}{I} = \frac{R_i \cdot R}{R_i + R} \cdot (1 + A_d) + R_u$$

Valore che risulta estremamente elevato.



Amplificatore di corrente

Si preleva una corrente in uscita e la si riporta come corrente in ingresso. Pertanto avremo una reazione di corrente-parallelo, ovvero serie-parallelo.

Ipotizzando $V_i = 0$, si ottiene che la corrente I_u si ripartisce nelle due resistenze R_1 ed R_2 . Risolvendo il partitore di corrente, troviamo che

$$I_x = I_u \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Dall'ipotesi che $I_i = 0$, risulta $I_r = -I_e$, pertanto

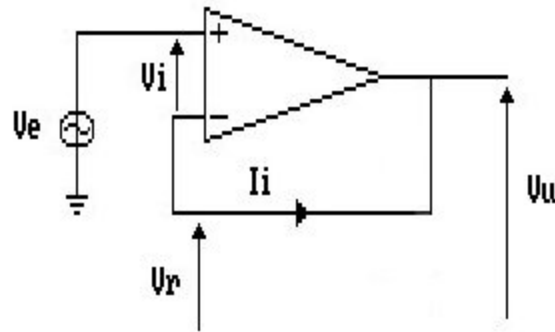
$$\frac{I_u}{I_e} = - \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Anche questo amplificatore ha l'inconveniente di richiedere un carico fluttuante, cioè senza alcun capo a massa.

Volendo calcolare, anche per questo circuito, le resistenze d'ingresso e d'uscita, si può ricorrere a ragionamenti già visti in precedenza ottenendo così, che la resistenza d'ingresso è molto bassa mentre quella d'uscita risulta estremamente elevata.

Inseguitore di tensione ("voltage follower")

L'inseguitore di tensione, deriva direttamente dall'amplificatore di tensione non invertente, quando si faccia tendere R_2 a zero ed R_1 all'infinito (vedi Fig.11). Il circuito risultante è quello che segue:



Considerando che la V_i è praticamente uguale a 0, otteniamo che $V_u = V_r \equiv V_e$.

Presenterà, quindi, amplificazione di tensione estremamente prossima ad 1, unitamente ad un'altissima impedenza di ingresso (circa pari a $2 \cdot R_{ic}$) ed ad una bassissima impedenza di uscita. Pertanto, essendo privo da rapporti di partizione, sarà utilizzato come adattatore di impedenza fra una sorgente ad alta impedenza di uscita ed un utilizzato