

ESERCIZIO: RADDRIZZATORE A ONDA INTERA #2

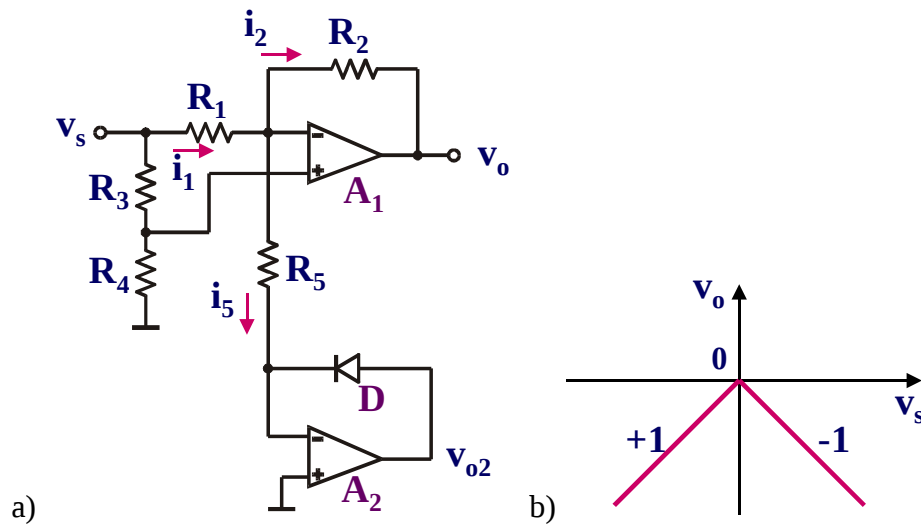


Figura 1

SOLUZIONE

L'amplificatore operazionale A_2 assieme al diodo D realizzano un diodo equivalente "ideale" ovvero sia un diodo avente una caduta in conduzione praticamente nulla. Per dimostrare questo concetto si faccia riferimento alla figura 2 nella quale si è considerato un guadagno finito dell'amplificatore operazionale A_2 e si è considerato il diodo in conduzione. Possiamo scrivere:

$$i_D = -i_5 = -\frac{v_1 - v_i}{R_5} \quad (1)$$

e quindi il diodo si trova effettivamente in conduzione quando la tensione di ingresso v_1 è minore di v_i . La tensione di ingresso dell'operazionale risulta:

$$v_i = -V_{ON} - A_o v_i \Rightarrow v_i = -\frac{V_{ON}}{1 + A_o} \quad (2)$$

ed è quindi molto minore della tensione di soglia del diodo. Se si considera la tensione di offset v_{os} dell'operazionale, la tensione di ingresso diventa

$$v_i + v_{os} = -V_{ON} - A_o v_i \Rightarrow v_i = -\frac{V_{ON} + v_{os}}{1 + A_o}$$

e quindi non si modifica sostanzialmente, ma la soglia di accensione del diodo diventa:

$$i_D = -i_5 = -\frac{v_1 - v_i - v_{os}}{R_5} > 0 \Rightarrow v_1 < v_i + v_{os} \approx v_{os}$$

Come si vede, la tensione di offset diventa la causa di errore maggiore, assieme al guadagno finito dell'amplificatore operazionale.

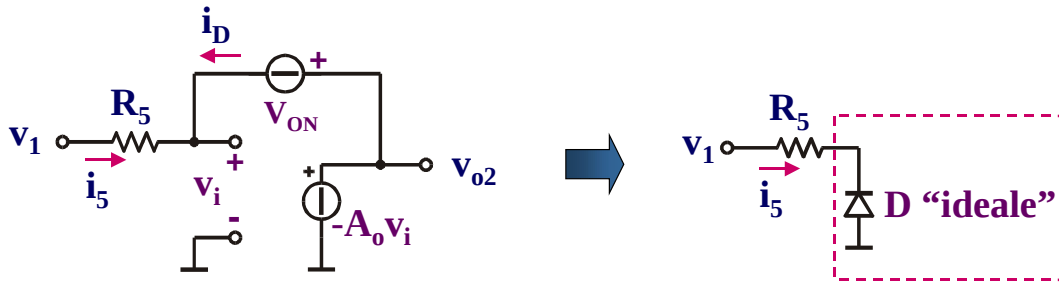


Figura 2 – Modello circuitale di A_2 considerando un guadagno finito A_0 dell'amplificatore operazionale

Considerando un guadagno A_0 infinito ed una tensione di offset nulla, la tensione v_i risulta nulla, quando il diodo è in conduzione. Per tensioni di ingresso positive il diodo risulta, quindi, aperto e la tensione di uscita dell'operazionale satura al valore negativo (i morsetti di ingresso non risultano più equipotenziali dato che la tensione al morsetto invertente diventa uguale a v_1).

Osservando il circuito di figura 1 notiamo che la tensione v_1 applicata al diodo equivalente risulta essere la tensione al morsetto invertente di A_1 che è data da:

$$v_1 = v_{A1}^- = v_{A1}^+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_s \quad (3)$$

per cui possiamo concludere che quando v_s è negativa il diodo D è in conduzione e la resistenza R_5 è connessa ad un punto di massa virtuale ($i_5 = v_1/R_5$), mentre quando v_s è positiva il diodo D è contropolarizzato e la resistenza R_5 è connessa ad un punto flottante ($i_5 = 0$).

1) $v_s < 0$

Il circuito da analizzare è mostrato in figura 3 nel quale si è sostituito al posto del partitore costituito dalle resistenze R_3 e R_4 il generatore $k \cdot v_s$, dove la costante k è data da:

$$k = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Si noti che la resistenza di uscita di tale partitore non è stata disegnata in figura 3 in quanto non è attraversata da corrente, ed è perciò influente (ipotesi di amplificatore operazionale ideale).

L'equazione al nodo corrispondente al morsetto invertente di A_1 è:

$$i_1 = i_2 + i_5 \Rightarrow \frac{v_s - kv_s}{R_1} = \frac{kv_s - v_o}{R_2} + \frac{kv_s}{R_5} \quad (4)$$

da cui si ricava:

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 - k \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_5} \right) \right) v_s \quad (5)$$

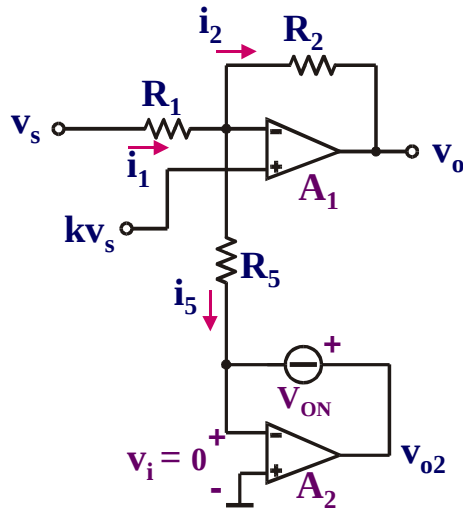


Figura 3 – Circuito equivalente per $v_s < 0$

2) $v_s > 0$

Il circuito da analizzare è mostrato in figura 4. Scrivendo, ancora una volta, l'equazione al nodo relativo al morsetto invertente di A_1 otteniamo:

$$i_1 = i_2 \Rightarrow \frac{v_s - kv_s}{R_1} = \frac{kv_s - v_o}{R_2} \quad (6)$$

da cui si ricava:

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 - k \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \right) v_s \quad (7)$$

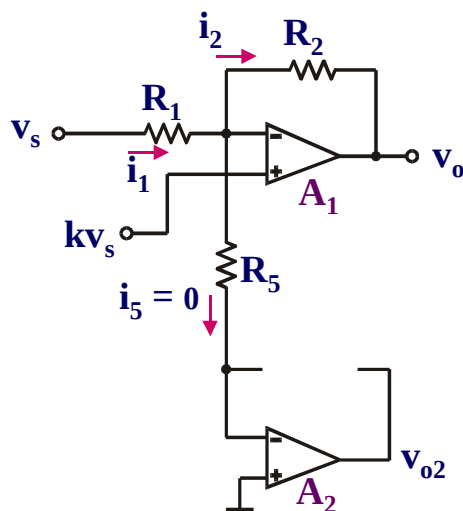


Figura 3 – Circuito equivalente per $v_s > 0$

Affinché il circuito abbia la transcaratteristica riportata in figura 1b, l'eq. (5) deve dare come risultato $v_o = +v_s$, mentre la (7) deve fornire $v_o = -v_s$. Chiamando $x = R_2/R_1$ e $y = R_2/R_5$, le condizioni sopracitate diventano:

$$\begin{cases} -x + k(1+x) = -1 \\ -x + k(1+x+y) = +1 \end{cases} \quad (8)$$

Tale sistema ha infinite soluzioni (due equazioni in tre incognite). Assumendo $k = 0.5$, si ottengono $x = 3$ e $y = 4$. Assumendo quindi $R_2 = R$, risulta:

$R_1 = R/3$ (tre resistenze pari a R in parallelo), $R_3 = R_4 = R$, $R_5 = R/4$ (quattro resistenze pari a R in parallelo).