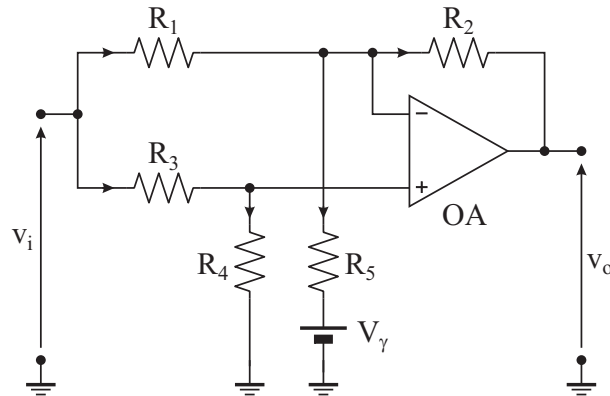


Esercizio 1

1) D on – OA in reg. lineare



Le tensioni degli ingressi dell'amplificatore operazionale sono

$$v_+ = v_- = v_i \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (1.1)$$

Si calcolano le correnti in R_1 e R_5

$$i_1 = \frac{v_i - v_-}{R_1} \quad (1.2)$$

$$i_5 = \frac{v_- - V_\gamma}{R_5} \quad (1.3)$$

Esprimendo la corrente di R_2 in funzione di i_1 e i_5 , si può calcolare la tensione di uscita mediante la relazione

$$v_o = v_- - R_2(i_1 - i_5) = \frac{1}{R_3 + R_4} \left(R_4 - \frac{R_2 R_3}{R_1} + \frac{R_2 R_4}{R_5} \right) \cdot v_i - \frac{R_2}{R_5} V_\gamma = 2v_i - 3.6V \quad (1.4)$$

Condizioni di validità

$$i_D = i_5 > 0 \Rightarrow v_i \frac{R_4}{R_3 + R_4} > V_\gamma \Rightarrow v_i < \frac{R_3 + R_4}{R_4} V_\gamma = 0.9V \quad (1.5)$$

La condizione $v_o > -V_{sat}$ è sempre verificata se vale la (1.5)

$$v_o < V_{sat} \Rightarrow 2v_i - 3.6V < 10V \Rightarrow v_i < 6.8V \quad (1.6)$$

Quindi complessivamente deve essere:

$$0.9V < v_i < 6.8V \quad (1.7)$$

2) D on OA in sat. negativa

Dall'analisi precedente si riconosce che il circuito non può mai essere in queste condizioni.

3) D on OA in sat. positiva

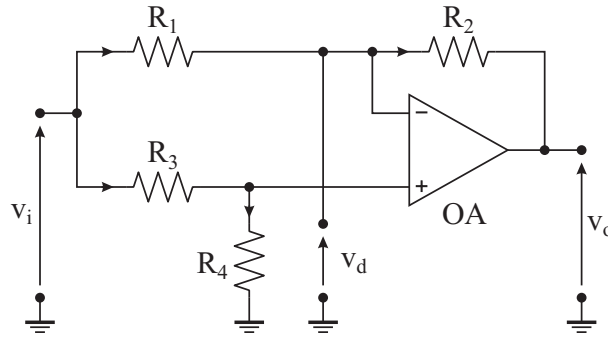
Dalle (1.4) e (1.6) si riconosce che il circuito si trova in queste condizioni se

$$v_i > 6.8V \quad (1.8)$$

Quando è verificata la (1.8) si ha

$$v_o = V_{sat} = 10V \quad (1.9)$$

4) D off – OA in reg. lineare



Le tensioni v_+ e v_- sono date ancora dalla (1.1).

Il circuito può essere visto come combinazione di un amplificatore invertente con ingresso v_i e di un amplificatore non invertente con ingresso v_+ , quindi la relazione ingresso-uscita è

$$v_o = v_+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - v_i \frac{R_2}{R_1} = \left[\frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - \frac{R_2}{R_1} \right] v_i = -2 v_i \quad (1.10)$$

Condizioni di validità

$$v_d < V_\gamma \Rightarrow v_- < V_\gamma \Rightarrow v_i < \frac{R_3 + R_4}{R_4} V_\gamma = 0.9 \text{ V} \quad (1.11)$$

La condizione $v_o > -V_{\text{sat}}$ è sempre verificata se vale la (1.11)

$$v_o < V_{\text{sat}} \Rightarrow -2 v_i < 10 \text{ V} \Rightarrow v_i > -5 \text{ V} \quad (1.12)$$

Quindi complessivamente deve essere:

$$-5 \text{ V} < v_i < 0.9 \text{ V} \quad (1.13)$$

5) D on OA in sat. negativa

Dall'analisi precedente si riconosce che il circuito non può mai essere in queste condizioni.

6) D on OA in sat. positiva

Dalle (1.10) e (1.12) si riconosce che il circuito si trova in queste condizioni se

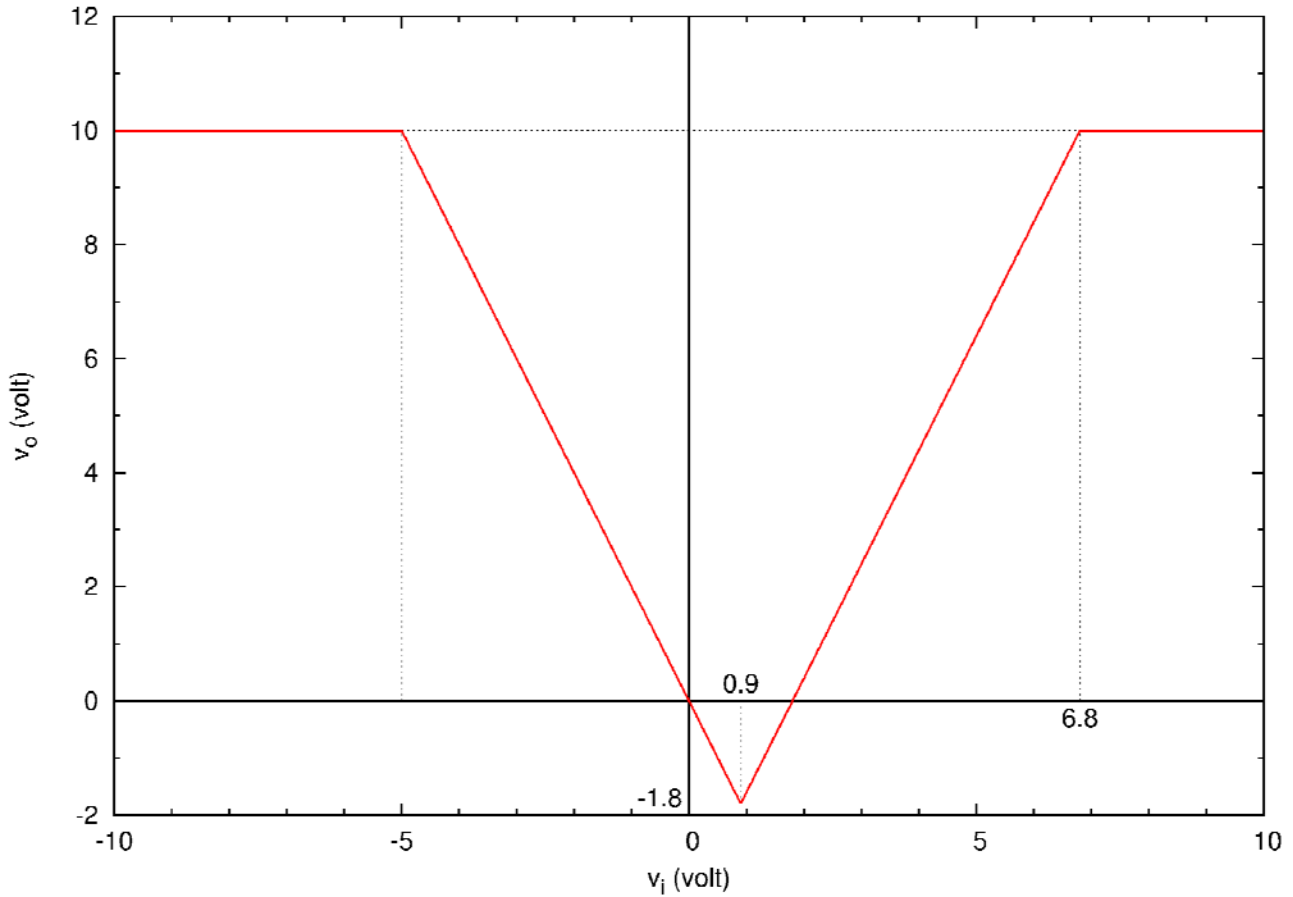
$$v_i < -5 \text{ V} \quad (1.14)$$

Quando è verificata la (1.14) si ha

$$v_o = V_{\text{sat}} = 10 \text{ V} \quad (1.15)$$

7) Riepilogo

Per $v_i \leq -5 \text{ V}$	$v_o = 10 \text{ V}$	(D off - OA in sat. positiva)
per $-5 \text{ V} \leq v_i \leq 0.9 \text{ V}$	$v_o = -2v_i$	(D off - OA in regione lineare)
per $0.9 \leq v_i \leq 6.8 \text{ V}$	$v_o = 2v_i - 3.6 \text{ V}$	(D on - OA in regione lineare)
per $v_i \geq 6.8$	$v_o = 10 \text{ V}$	(D on - OA in sat. positiva)



Esercizio 2

1) Funzione di trasferimento

L'amplificatore operazionale è in configurazione non invertente. Le tensioni dei suoi ingressi sono

$$V_+ = V_- = V_{o1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{3}{4} V_{o1} \quad (2.1)$$

Quindi il guadagno del secondo stadio è

$$A_{v2} = \frac{V_{o2}}{V_{o1}} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} \right) = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{1 + sC_1(R_1 + R_2)}{1 + sC_1R_1} = \frac{3}{4} \cdot \frac{1 + 4 \cdot 10^{-4} s}{1 + 10^{-4} s} \quad (2.2)$$

L'impedenza di ingresso del secondo stadio è

$$Z_{in2} = R_3 + R_4 \quad (2.3)$$

Per studiare il primo stadio, in primo luogo si calcola la matrice di ammettenza, \mathbf{Y}' , del doppio bipolo formato da T e R_F

$$\mathbf{Y}' = \begin{bmatrix} sC + G_F & -G_F \\ g_M - G_F & g_o + G_F \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

L'ammettenza di carico del primo stadio è

$$Y_{L1} = \frac{1}{Z_{in2}} = \frac{1}{R_3 + R_4} \quad (2.5)$$

Quindi il guadagno del primo stadio è

$$A_{v1} = \frac{V_{o1}}{V_i} = -\frac{y'_f}{y'_o + Y_{L1}} = -\frac{g_M - G_F}{g_0 + G_F + Y_{L1}} = -15 \quad (2.6)$$

e la sua impedenza di ingresso è

$$Z_{in1} = \frac{1}{y'_i - \frac{y'_f y'_f}{y'_o + Y_{L1}}} = \frac{1}{y'_i + y'_f A_{v1}} = \frac{1}{G_F(1 - A_{v1}) + sC} = \frac{2500}{1 + 10^{-6} s} \quad (2.7)$$

La tensione V_i è legata alla tensione del generatore dalla relazione

$$V_i = V_s \frac{Z_{in1}}{Z_{in1} + R_s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + 5 \cdot 10^{-7} s} \quad (2.8)$$

Quindi la funzione di trasferimento H è

$$H = \frac{V_{o2}}{V_s} = \frac{Z_{in1}}{Z_{in1} + R_s} \cdot A_{v1} \cdot A_{v2} = -\frac{45}{8} \frac{1 + 4 \cdot 10^{-4} s}{(1 + 10^{-4} s)(1 + 5 \cdot 10^{-7} s)} \quad (2.9)$$

2) Frequenza associate a poli e zeri

Lo zero e i poli di H corrispondono alle pulsazioni

$$\omega_z = \frac{1}{4 \cdot 10^{-4}} = 2500 \text{ rad/s} \quad (2.10)$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{10^{-4}} = 10^4 \text{ rad/s} \quad (2.11)$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-7}} = 2 \cdot 10^6 \text{ rad/s} \quad (2.12)$$

e quindi alle frequenze

$$f_z = 397.9 \text{ Hz} \quad (2.13)$$

$$f_{p1} = 1592 \text{ Hz} \quad (2.14)$$

$$f_{p2} = 318.3 \text{ kHz} \quad (2.15)$$

3) Diagrammi di Bode

V. pagina seguente.

4) Saturazione

Dai diagrammi di Bode si ricava che alla frequenza di 20 kHz il modulo del guadagno è

$$|H|_{\text{dB}} = 27 \text{ dB} \quad (2.16)$$

cioè

$$|H| = 10^{27/20} = 22.39 \quad (2.17)$$

Quindi, affinché l'amplificatore operazionale non saturi, occorre che l'ampiezza della tensione del generatore, V_M , soddisfi la condizione

$$V_M \leq \frac{V_{\text{sat}}}{|H|} = 0.447 \text{ V} \quad (2.18)$$

Diagrammi di Bode

