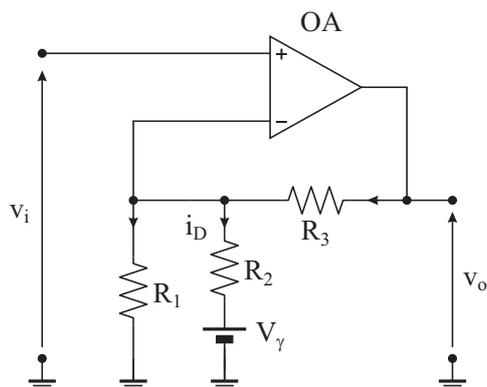


## Esercizio 1

### 1) D on – OA in regione lineare



A causa del cortocircuito virtuale tra gli ingressi dell'amplificatore operazionale, la tensione di  $R_1$  coincide con  $v_i$ . Le correnti di  $R_1$  e  $R_2$  sono

$$i_1 = \frac{v_i}{R_1} \quad (1.1)$$

$$i_2 = i_D = \frac{v_i - V_\gamma}{R_2}$$

Quindi la tensione di uscita è

$$v_o = v_i + R_3(i_1 + i_2) = \left(1 + \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_3}{R_2}\right)v_i - \frac{R_3}{R_2}V_\gamma = 6v_i - 1.2V \quad (1.2)$$

### Condizioni di validità

Affinché il diodo sia in conduzione deve risultare

$$i_D > 0 \Rightarrow v_i > V_\gamma = 0.6V \quad (1.3)$$

Quando vale questa condizione la tensione  $v_o$  è sempre positiva e, di conseguenza, l'amplificatore non può mai essere saturazione negativa. Affinché l'amplificatore operazionale non entri in saturazione positiva deve essere verificata la condizione

$$v_o < V_{\text{sat}} \Rightarrow 6v_i - 1.2V < 12V \Rightarrow v_i < 2.2V \quad (1.4)$$

Quindi, combinando la (1.3) e la (1.4) si ottiene

$$0.6V < v_i < 2.2V \quad (1.5)$$

### 2) D on OA in saturazione negativa

L'analisi svolta al punto precedente mostra che il circuito non può mai essere in queste condizioni.

### 3) D on OA in saturazione positiva

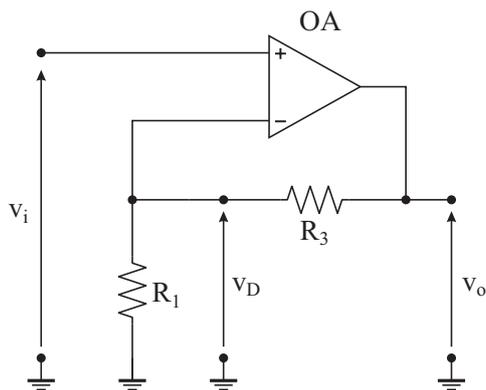
Il circuito si trova in queste condizioni se

$$v_i > 2.2V \quad (1.6)$$

e in questo caso si ha

$$v_o = V_{\text{sat}} = 12V \quad (1.7)$$

**4) D off – OA in regione lineare**



Il circuito si riduce ad un amplificatore non invertente, quindi la tensione di uscita è

$$v_o = \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) v_i = 4 v_i \quad (1.8)$$

**Condizioni di validità**

La tensione del diodo coincide con la tensione di ingresso, quindi il diodo è interdetto per

$$v_i = v_D < V_\gamma = 0.6 \text{ V} \quad (1.9)$$

Per la (1.8), quando vale questa condizione si ha sempre  $v_o < V_{\text{sat}}$ , quindi l'amplificatore non può essere in saturazione positiva. Affinché l'amplificatore operazionale non entri in saturazione negativa si deve avere

$$v_o > -V_{\text{sat}} \Rightarrow 4 v_i > -12 \text{ V} \Rightarrow v_i > -3 \text{ V} \quad (1.10)$$

Quindi complessivamente deve essere

$$-3 \text{ V} < v_i < 0.6 \text{ V} \quad (1.11)$$

**5) D on OA in saturazione positiva**

L'analisi svolta al punto precedente mostra che il circuito non può mai essere in queste condizioni.

**6) D on OA in saturazione negativa**

Per le (1.9) e (1.11) il circuito si trova in queste condizioni se

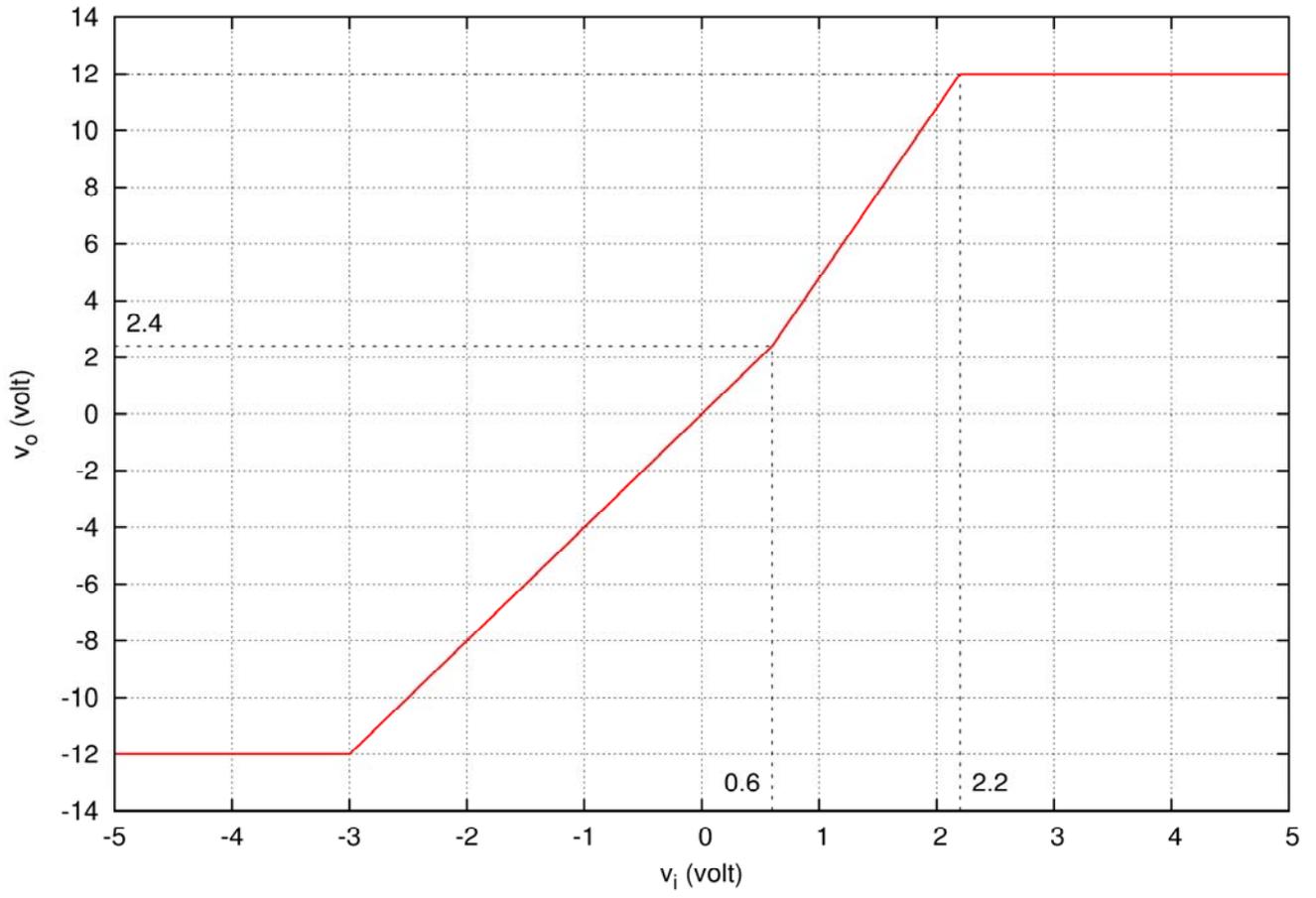
$$v_i < -3 \text{ V} \quad (1.12)$$

In questo caso si ha

$$v_o = -V_{\text{sat}} = -12 \text{ V} \quad (1.13)$$

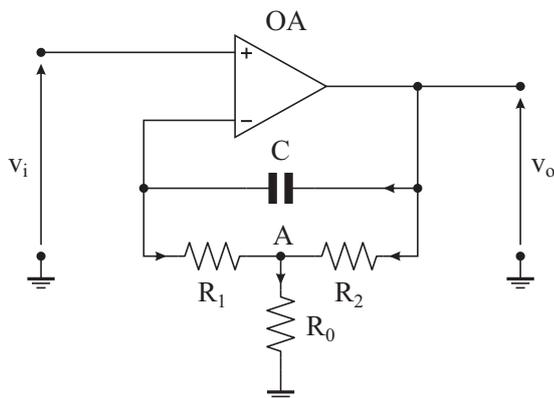
**7) Riepilogo**

Per $v_i \leq -3 \text{ V}$	$v_o = -12 \text{ V}$	(D off - OA in sat. negativa)
per $-3 \text{ V} \leq v_i \leq 0.6 \text{ V}$	$v_o = 4v_i$	(D off - OA in reg. lineare)
per $0.6 \text{ V} \leq v_i \leq 2.2 \text{ V}$	$v_o = 6v_i - 1.2 \text{ V}$	(D on - OA in reg. lineare)
per $v_i \geq 2.2 \text{ V}$	$v_o = 12 \text{ V}$	(D on - OA in sat. positiva)



## Esercizio 2

### 1) Espressione del guadagno



La corrente di  $R_1$  coincide con la corrente del condensatore

$$I_1 = (V_o - V_i) \cdot sC \quad (2.1)$$

Si applica la legge di Kirchhoff per le correnti al nodo A

$$(V_o - V_i)sC + \frac{V_o - V_A}{R_2} - \frac{V_A}{R_0} = 0 \quad (2.2)$$

Da questa relazione si ricava la tensione del nodo A in funzione di  $V_o$  e  $V_i$

$$V_A = \frac{(R_0 + sCRR_0)V_o - sCRR_0V_i}{R + R_0} \quad (2.3)$$

Dato che

$$V_o = V_A + \left(R + \frac{1}{sC}\right)I_1 \quad (2.4)$$

si ottiene

$$V_o = \frac{(R_0 + sCRR_0)V_o - sCRR_0V_i}{R + R_0} + (1 + sCR)(V_o - V_i) \quad (2.5)$$

da cui si può ricavare l'espressione del guadagno

$$A_v(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R + R_0 + sC(R^2 + 2RR_0)}{R_0 + sC(R^2 + 2RR_0)} \quad (2.6)$$

### 2) Determinazione del valore di R

Il guadagno in continua è

$$A_v(0) = \frac{R + R_0}{R_0} \quad (2.7)$$

Imponendo che questo guadagno sia pari a 20 dB si ottiene

$$\frac{R + R_0}{R_0} = 10^{\frac{20}{20}} = 10 \quad (2.8)$$

E quindi

$$R = 9R_0 = 90 \text{ k}\Omega \quad (2.9)$$

### 3) Diagrammi di Bode

Con il valore di R determinato al punto precedente la funzione di trasferimento è

$$A_V(s) = 10 \cdot \frac{1 + 3.96 \cdot 10^{-6} s}{1 + 3.96 \cdot 10^{-5} s} \quad (2.10)$$

La funzione di trasferimento ha uno zero per

$$f_z = \frac{1}{2\pi \cdot 3.96 \cdot 10^{-6}} = 40.19 \text{ kHz} \quad (2.11)$$

e un polo per

$$f_p = \frac{1}{2\pi \cdot 3.96 \cdot 10^{-5}} = 4.019 \text{ kHz} \quad (2.12)$$

I diagrammi di Bode sono riportati nella pagina seguente.

### 4) Determinazione di $V_M$

La frequenza del segnale è praticamente coincidente con la frequenza del polo di  $A_V$ .

In corrispondenza del polo il valore del modulo di  $A_V$  è inferiore di circa 3 dB rispetto al valore fornito dal diagramma asintotico, quindi si può assumere che il guadagno sia 17 dB (il calcolo esatto mediante la (2.10) fornisce 17.053 dB).

Quindi, affinché l'amplificatore operazionale non saturi deve valere la condizione

$$V_M < \frac{14}{\frac{17}{10^{20}}} = 1.98 \text{ V} \quad (2.13)$$

