

# Fondamenti di elettronica

Corso di laurea in Ingegneria Biomedica

Prima prova di accertamento – 30/01/2024 – Canale 1 – Prof. Meneghesso

## SOLUZIONE

### Problema 1

DATI:  $R_1 = 120\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 240\text{k}\Omega$ ,  $R_D = 4\text{k}\Omega$ ,  $R_S = 250\Omega$ ,  $R_I = 40\text{k}\Omega$ ,  $R_L = 12\text{k}\Omega$ ,  $V_{DD} = 12\text{V}$ .

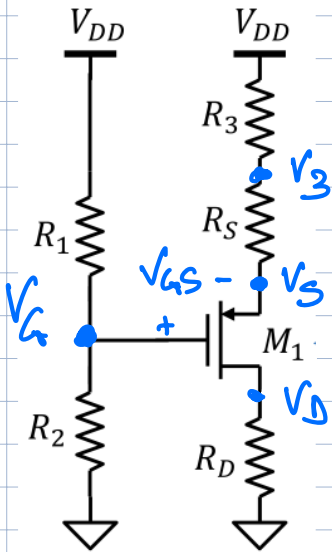
Parametri del MOSFET:  $k_p = 8\text{mA/V}^2$ ,  $V_{TP} = -1.5\text{V}$ .

Consideriamo l'amplificatore in figura. Calcolare:

1. Il valore di  $R_3$  per polarizzare il MOSFET in saturazione con  $I_{DS} = 1\text{mA}$
2. Il punto di polarizzazione dei MOSFET in condizioni stazionarie ( $V_{GS}$  e  $V_{DS}$ ).
3. Disegnare il circuito ai piccoli segnali e calcolare la transconduttanza di  $M_1$

Dall'analisi ai piccoli segnali calcolare:

4. Le resistenze di ingresso e di uscita dell'amplificatore (come indicato in figura).
5. Il guadagno dall'ingresso  $v_i$  all'uscita  $v_o$ .



$$V_G = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 8\text{V}$$

$$V_{GS} = V_{TP} - \sqrt{\frac{2I_{DS}}{K_P}} = -1.5\text{V} - 0.5\text{V} = -2\text{V}$$

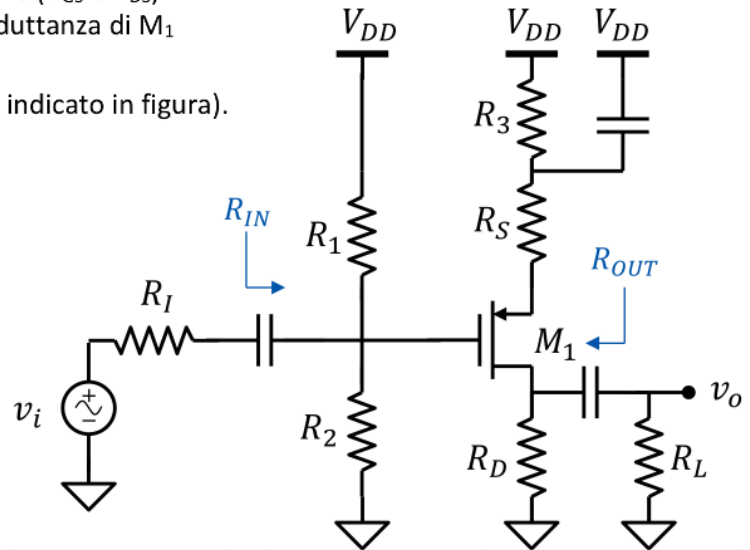
$$V_S = V_G - V_{GS} = 8\text{V} - (-2\text{V}) = 10\text{V}$$

$$V_3 = V_S + R_S I_{DS} = 10.25\text{V}$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{V_{DD} - V_3}{I_{DS}} = \frac{1.75\text{V}}{1\text{mA}} = 1.75\text{k}\Omega$$

$$V_D = R_D I_{DS} = 4\text{V}$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_D - V_S = -6\text{V}$$

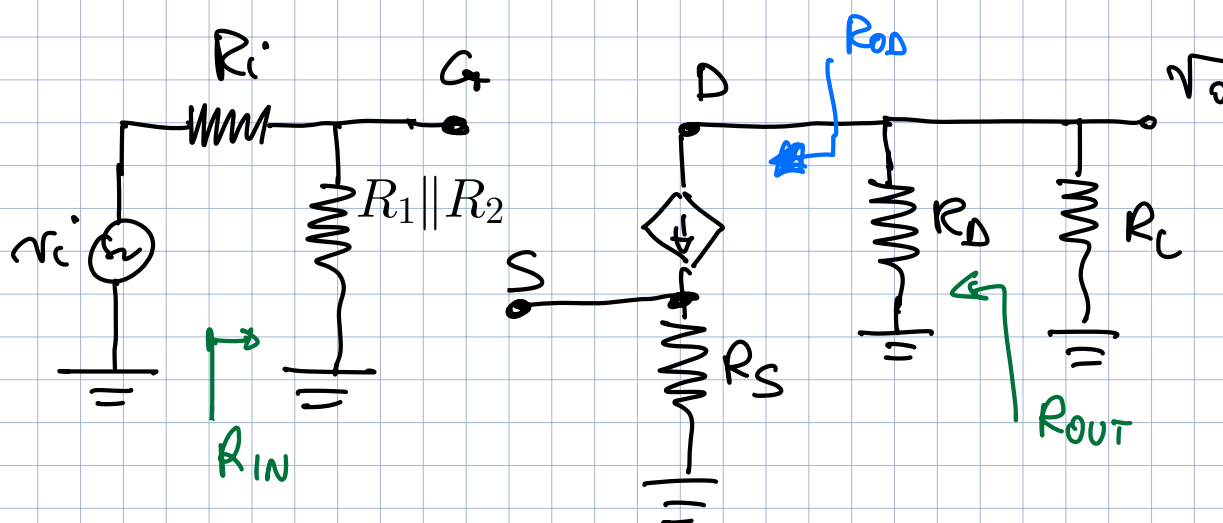


VERIFICA

$$V_{DS} < V_{GS} - V_{TP} ? \quad -6V < -0,5V$$

OK  $M_1$  SATURAZ.

**SCHEMA PICCOLO SEGNALE.**



$$g_{m1} = \frac{2I_D}{|V_{GS} - V_{TP}|} = -K_P(V_{GS} - V_{TP}) = 4mS$$

$$R_{IN} = R_1 || R_2 = 80 k\Omega$$

$$R_{OUT} = R_D = 4 k\Omega \quad (R_{OD} = \infty)$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_g} \cdot \frac{v_g}{v_i}$$

$$\frac{v_g}{v_i} = \frac{R_{IN}}{R_i + R_{IN}} = \frac{80 k\Omega}{40 k\Omega + 80 k\Omega} = \frac{2}{3}$$

$$R_D || R_L = 3 k\Omega$$

$$\frac{v_o}{v_g} = - \frac{g_{m1} R_D || R_L}{1 + g_{m1} R_S} = - \frac{12}{2} = -6$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{2}{3} \cdot (-6) = -4$$

## Problema 2

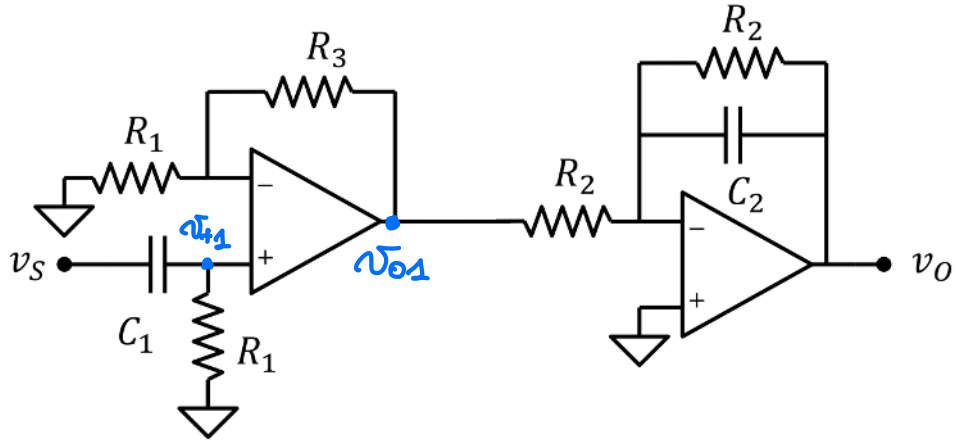
DATI:  $R_1 = R_2 = 20k\Omega$ .

Consideriamo il circuito in figura che realizza un filtro passa banda.

1. Trovare la funzione di trasferimento del filtro.
2. Calcolare i valori della capacità  $C_1$  e  $C_2$  in modo tale che le pulsazioni di taglio inferiore e superiore siano  $\omega_L = 100\text{rad/s}$  e  $\omega_H = 1000\text{rad/s}$ .
3. Calcolare il valore della resistenza  $R_3$  in modo che il guadagno in banda passante abbia modulo 10.
4. Disegnare il diagramma di bode del modulo e della fase. Per ciascun diagramma indicare: le coordinate (pulsazione, dB e gradi) di ciascun punto di spezzamento, le pendenze di ciascun segmento della spezzata (in dB/dec o  $^\circ/\text{dec}$ ).

$$v_{+1} = v_S \cdot \frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{sC_1}}$$

$$= v_S \cdot \frac{sC_1 R_1}{1 + sC_1 R_1}$$



$$v_{O1} = v_{+1} \left( 1 + \frac{R_3}{R_1} \right) = \frac{R_1 + R_3}{R_1} \cdot \frac{sC_1 R_1}{1 + sC_1 R_1}$$

$$Z_2 = R_2 \parallel \frac{1}{sC_2} = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{sC_2}}{R_2 + \frac{1}{sC_2}} = \frac{R_2}{1 + sC_2 R_2}$$

$$v_O = - \frac{Z_2}{R_2} v_{O1} = - \frac{1}{1 + sC_2 R_2} v_{O1}$$

$$\Rightarrow W(s) = - \frac{R_1 + R_3}{R_1} \cdot \frac{sC_1 R_1}{(1 + sC_1 R_1)(1 + sC_2 R_2)}$$

$$\omega_{z0} = \frac{1}{C_1 R_1}$$

$$\omega_{P1} = \frac{1}{C_1 R_1} = 100 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_{P2} = \frac{1}{C_2 R_2} = 1000 \text{ rad/sec}$$



$$C_1 = \frac{1}{\omega_{P1} R_1} = 500 \text{ nF}$$

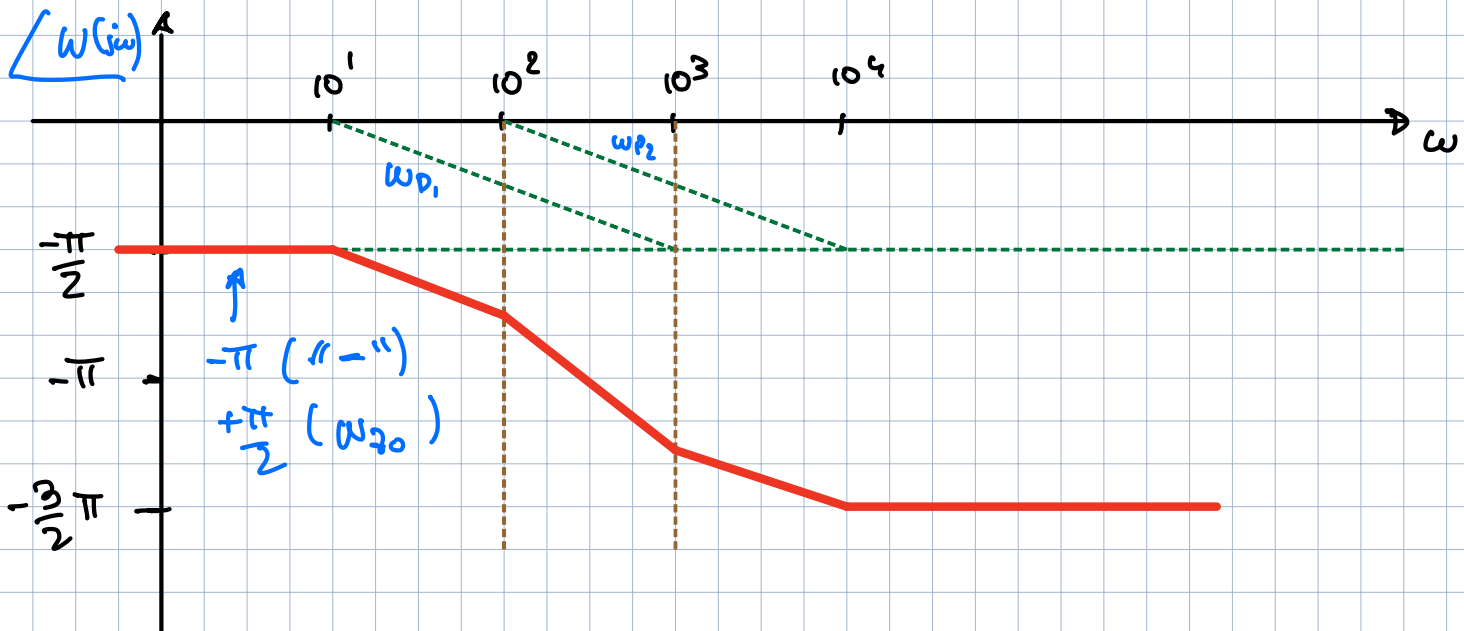
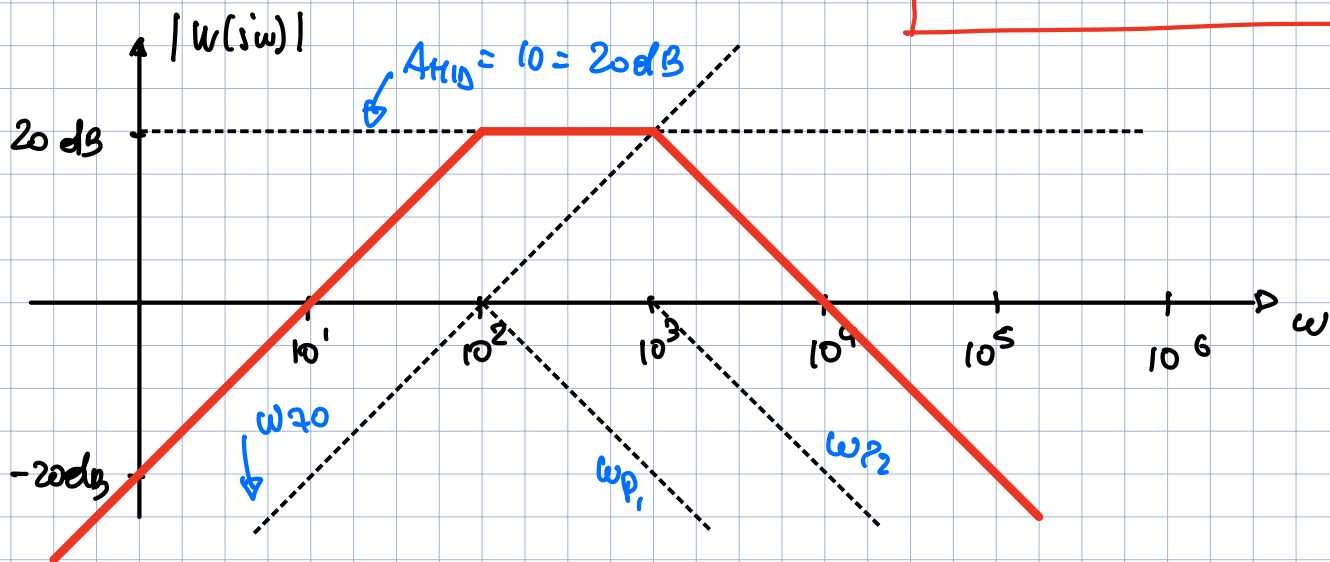
$$C_2 = \frac{1}{\omega_{P2} R_2} = 50 \text{ nF}$$

$$W(s) = -\frac{R_1 + R_3}{R_1} \cdot \frac{C_1 R_1}{C_1 R_1} \cdot \frac{s}{\left(\frac{1}{C_1 R_1} + s\right)(1 + s C_2 R_2)}$$

$$W(s) = \underbrace{-\frac{R_1 + R_3}{R_1}}_{A_{mid}} \cdot \underbrace{\frac{s}{\frac{1}{C_1 R_1} + s}}_{F_L(s)} \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + s C_2 R_2}}_{F_H(s)}$$

$$A_{mid} = 10 \Rightarrow \frac{R_1 + R_3}{R_1} = 10$$

$$\Rightarrow R_3 = 9R_1 = 180 \text{ k}\Omega$$

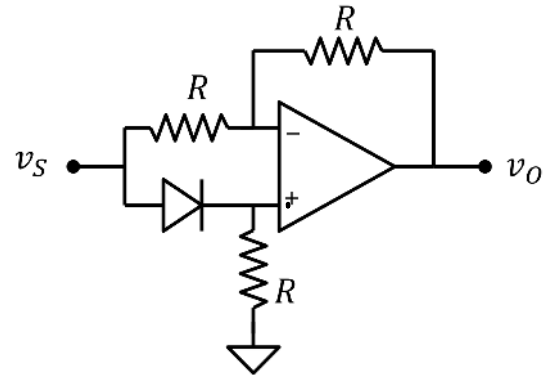
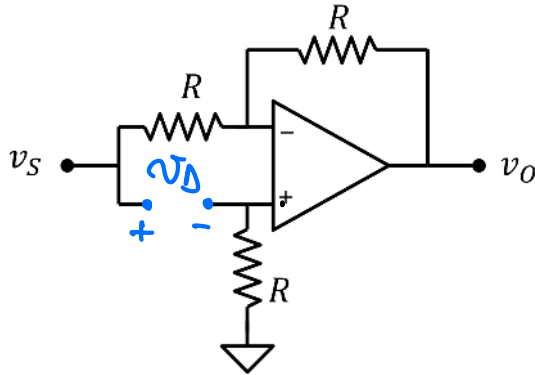


### Problema 3

Consideriamo il circuito in figura realizzato con un operazionale ideale, un diodo con  $V_{ON} = 1V$  e resistenze di valore  $R = 1k\Omega$ :

5. Calcolare la tensione di uscita con  $v_S = 5V$
6. Calcolare la tensione di uscita con  $v_S = -5V$
7. Tracciare la transcaratteristica di  $v_O$  in funzione di  $v_S$ .
8. Calcolare il valore di  $v_S$  corrispondente al punto in cui il diodo cambia regione operativa e il corrispondente valore di  $v_O$ .

Hp Diodo = "OFF"



$$v_D = v_S \Rightarrow v_D > V_{ON} \quad v_S > V_{ON} \Rightarrow \text{Diodo} = \text{"ON"} \\ v_D < V_{ON} \quad v_S < V_{ON} \Rightarrow \text{Diodo} = \text{"OFF"}$$

$\Rightarrow$  con  $v_S < V_{ON}$ , Diodo "OFF"

DAL CIRCUITO SOPRA:  $v_O = v_S \left( -\frac{R}{R} \right) = -v_S$

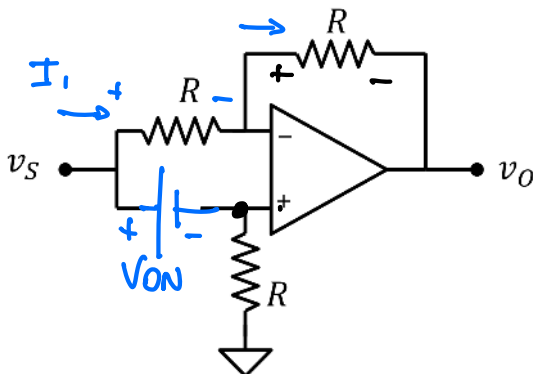
$\Rightarrow v_S < 1V \Rightarrow v_O = -v_S$   $v_O(-5V) = 5V$

co  $v_S > V_{ON}$

$$I_1 = \frac{V_{ON}}{R}$$

$$v_+ = v_- = v_S - V_{ON}$$

$$\begin{aligned} v_O &= v_+ - R I_1 \\ &= v_S - V_{ON} - R \frac{V_{ON}}{R} \\ &= v_S - 2 V_{ON} \end{aligned}$$



$$\Rightarrow \boxed{V_S > 1V \Rightarrow V_O = V_S - 2V} \quad \underline{\underline{V_O(5V) = 3V}}$$

RACCORDO  $V_O(1^-) = -1V$   
 $V_O(1^+) = 1 - 2V = -1V \quad //$

RACCORDO e  $V_O(V_{ON})$

