

Fondamenti di elettronica

Corso di laurea in Ingegneria Biomedica

Quarta prova di accertamento – 28/01/2025 – Canale 1 – Prof. Meneghesso

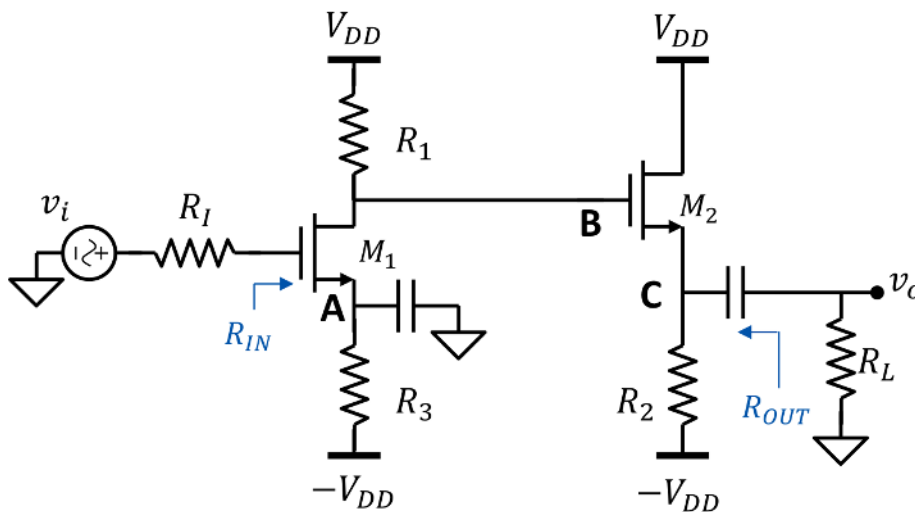
Problema 1

Dato il circuito l'amplificatore in figura di cui sono noti i seguenti dati:

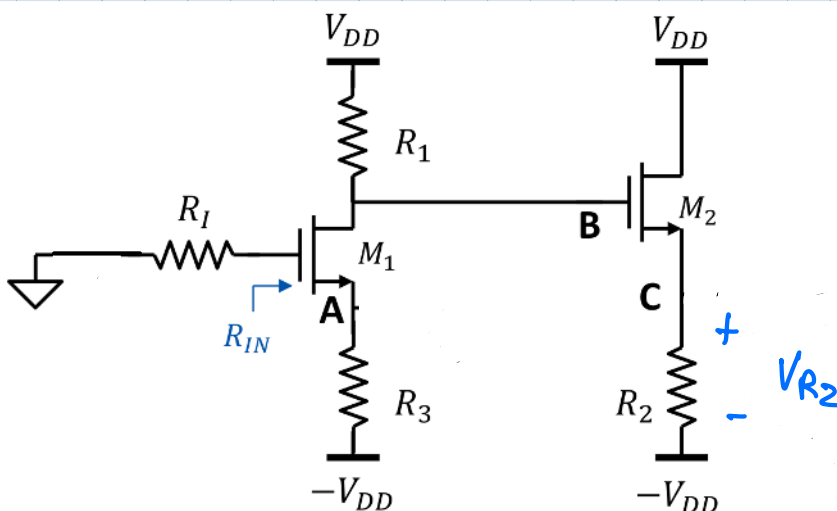
- Il valore $V_{DD} = 10V$
- Parametri dei MOSFET: $k_1 = k_2 = 1mA/V^2$, $V_{TN1} = V_{TN2} = 2V$
- I valori delle resistenze: $R_1 = 12k\Omega$, $R_2 = 1k\Omega$, $R_L = 1k\Omega$ e $R_I = 1k\Omega$.

Calcolare:

- 1) La polarizzazione e le correnti dei MOSFET sapendo che la differenza di potenziale ai capi della resistenza R_2 è $V_{R2} = 8V$.
- 2) I potenziali dei nodi A, B e C. Riportare i valori dei potenziali negli appositi spazi a fianco della figura.
- 3) Disegnare il modello ai piccoli segnali del circuito e calcolare le transconduttanze di M_1 e M_2 .
Dall'analisi ai piccoli segnali, calcolare:
- 4) La resistenza di ingresso e di uscita dell'amplificatore, come mostrato in figura
- 5) Il guadagno dall'ingresso v_i all'uscita v_o .



POLARIZZAZIONE



HP
MOSFET
IN
SATURAZIONE

$$V_{R_2} = 8V \Rightarrow I_{D2} = \frac{8V}{1k\Omega} = 8mA$$

$$V_{GS2} = V_{TN2} + \sqrt{\frac{2I_{D2}}{kn_2}} = 2V + \sqrt{16V^2} = 6V$$

$$V_{DS2} = V_{DD} - (-V_{DD} + 8V) = 20V - 8V = 12V$$

$$V_{DS2} > V_{GS2} - V_{TN2} ? \quad 12V > 4V ?$$

OK M2 IN SATURATIONE

$$V_C = -V_{DD} + V_{R_2} = 10V + 8V = -2V$$

$$V_B = V_C + V_{GS2} = 4V$$

$$I_1 = \frac{V_{DD} - V_B}{R_1} = \frac{6V}{12k\Omega} = 0,5mA$$

$$V_{GS1} = V_{TN1} + \sqrt{\frac{2I_{D1}}{kn_1}} = 3V$$

$$V_A = -V_{GS1} = -3V$$

$$V_{DS1} = V_B - V_A = 7V$$

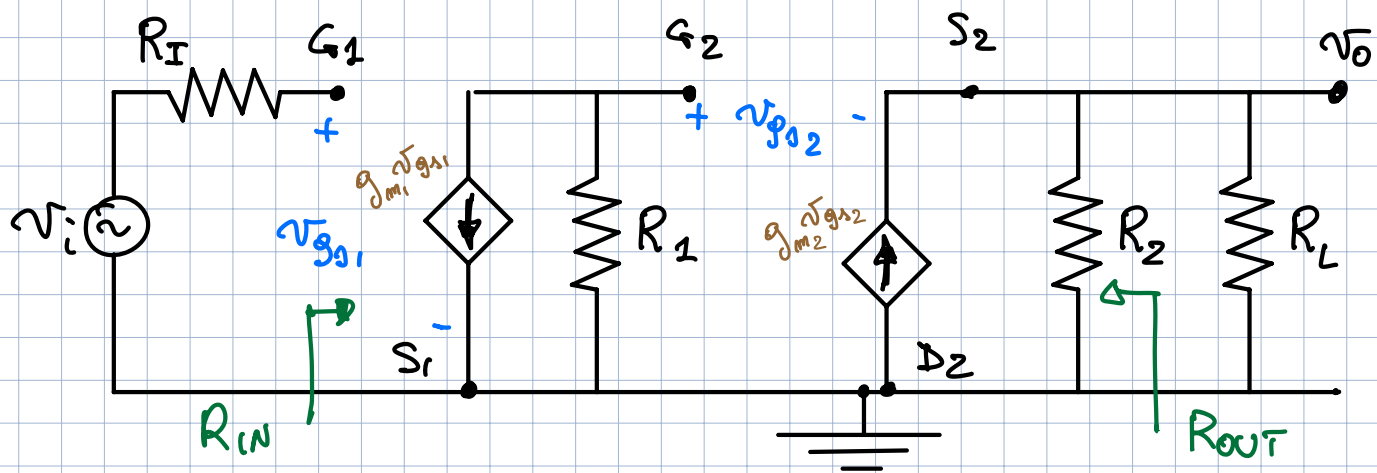
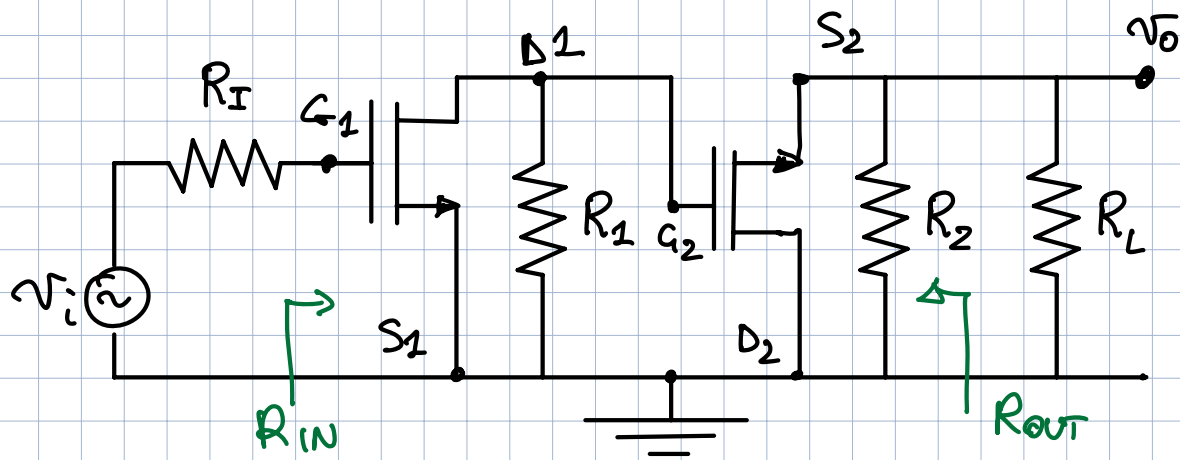
$$V_{DS1} > V_{GS1} - V_{TN1} ? \quad 7V > 1V ?$$

OK M1 IN SATURAZIONE

NON RICHIESTA MA CALCOLO DI R_3 !

$$R_3 = \frac{V_A - (-V_{DD})}{I_{D1}} = \frac{7V}{0,5mA} = 14k\Omega$$

PICCOLO SEGNALE



$$g_{m1} = K n_1 (V_{GS1} - V_{TN1}) = 1 \text{ mS}$$

$$g_{m2} = K n_2 (V_{GS2} - V_{TN2}) = 4 \text{ mS}$$

$$R_{IN} = \infty$$

$$R_{OUT} = R_2 \parallel \frac{1}{g_{m2}} = 1 \text{ k}\Omega \parallel 0,25 \text{ k}\Omega = 0,2 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{G2}} \cdot \frac{v_{G2}}{v_{G1}} \cdot \frac{v_{G1}}{v_i}$$

$$\frac{v_{G1}}{v_i} = 1$$

$$\frac{v_{G2}}{v_{G1}} = -g_{m1} R_1 = -1 \text{ mS} \times 12 \text{ k}\Omega = -12$$

$$\frac{v_o}{v_{G2}} = \frac{g_{m2} R_2 // R_L}{1 + g_{m2} R_2 // R_L} = \frac{4 \text{ mS} \cdot 0,5 \text{ k}\Omega}{1 + 4 \text{ mS} \cdot 0,5 \text{ k}\Omega} = \frac{2}{3}$$

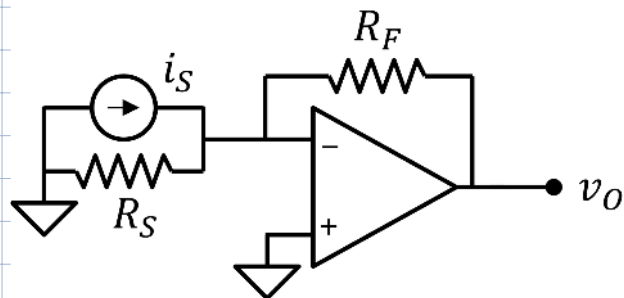
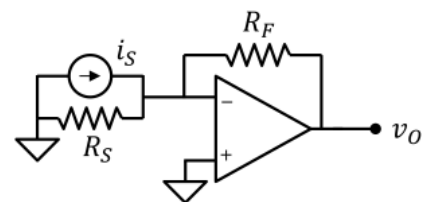
$$\Rightarrow A_v = -12 \cdot \frac{2}{3} = -8$$

Problema 2

Dato il circuito in figura realizzato con resistenze $R_F = 10 \text{ k}\Omega$ e $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ e un amplificatore operazionale reale con $V_{OS} = -5 \text{ mV}$, $I_{BN} = I_{BP} = 500 \text{ nA}$, calcolare:

- 1) la tensione di uscita con $i_S = 1 \text{ mA}$ supponendo l'operazionale ideale
- 2) la tensione di uscita con $i_S = 1 \text{ mA}$ considerando tutte le non idealità
- 3) il valore di i_S per il quale la tensione di uscita è $v_o = 0 \text{ V}$ (considerando tutte le non idealità)

N.B. usare almeno 4 cifre decimali nei risultati



1) AO IDEALE, RETROAZ. NEGATIVA

$$v_+ = v_- = 0$$

$$\Rightarrow V_{R_S} = 0 \Rightarrow I_{R_S} = 0$$

$$\Rightarrow v_o = -i_S R_F = -10 \text{ V}$$

2) AO REALE CON $V_{OS} \neq 0$, I_{BP} , I_{BN}

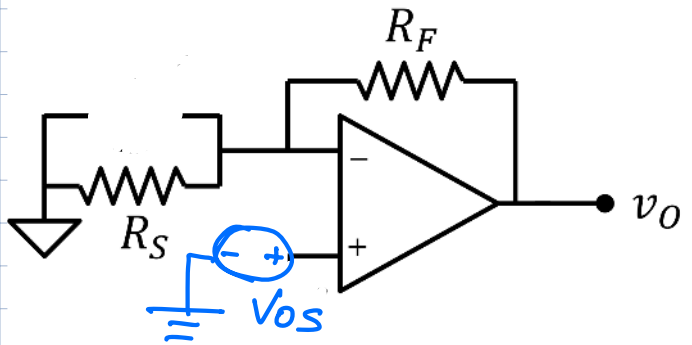
USO SOVRAPPOSIZIONE EFFETTI

2.1 SOLO i_S \rightarrow COME PUNTO 1)

$$\Rightarrow v_{o1} = -10 \text{ V}$$

2.2 SOLO V_{OS}

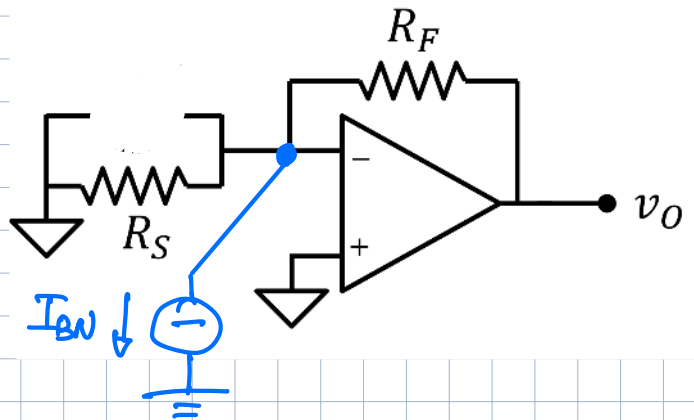
$$\begin{aligned}
 v_{o2} &= v_{os} \left(1 + \frac{R_F}{R_S} \right) \\
 &= 11 v_{os} \\
 &= -55 \text{ mV}
 \end{aligned}$$



2.3 Solo I_{BN}

$$v_{RS} = 0$$

$$\begin{aligned}
 v_{o3} &= I_{BN} \cdot R_F \\
 &= 500 \cdot 10^{-9} \text{ A} \cdot 10^4 \Omega \\
 &= 5 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 5 \text{ mV}
 \end{aligned}$$



2.4 Solo I_{BP}

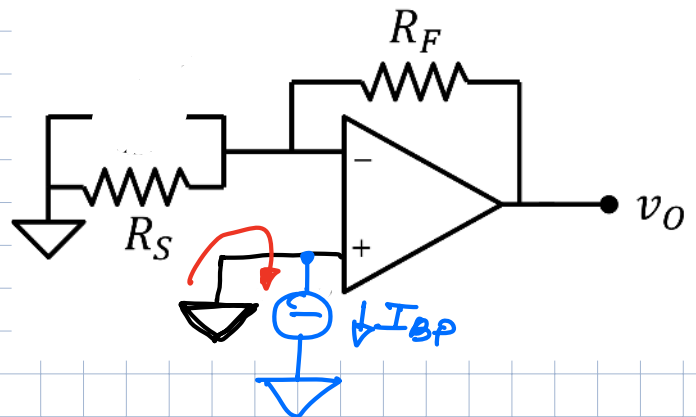
$$v_+ = 0 \text{ V}$$

$$\Rightarrow v_- = 0 \text{ V}$$

$$I_{RS} = 0 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_{RF} = 0 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow v_{o4} = 0 \text{ V}$$



$$\Rightarrow v_o = v_{o1} + v_{o2} + v_{o3} + v_{o4} = -10,05 \text{ V}$$

3) DAI PUNTI PRECEDENTE:

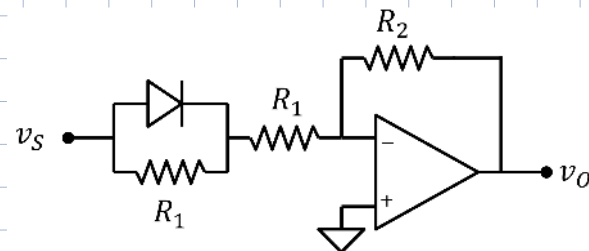
$$v_o = -i_s R_F + v_{os} \left(1 + \frac{R_F}{R_S} \right) + I_{BN} R_F = 0$$

$$\Rightarrow i_s = \frac{v_{os} \left(1 + \frac{R_F}{R_S} \right) + I_{BN} R_F}{R_F} = -5 \mu\text{A}$$

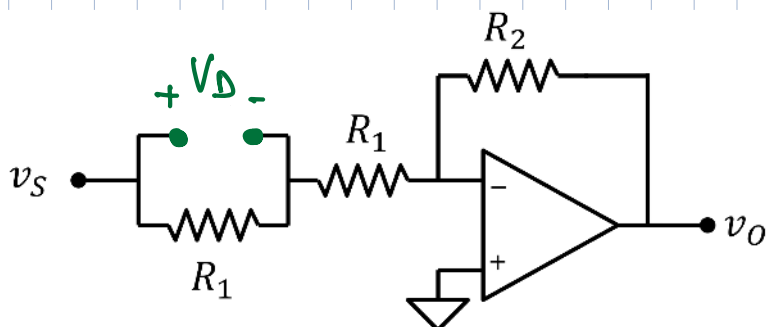
Problema 3

Dato il circuito in figura tracciare la transcaratteristica di v_o in funzione di v_s sapendo che $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 4k\Omega$ e il diodo ha $V_{ON} = 0.5V$

Disegnare il grafico usando il diagramma a pagina seguente.



HP DIODO OFF:

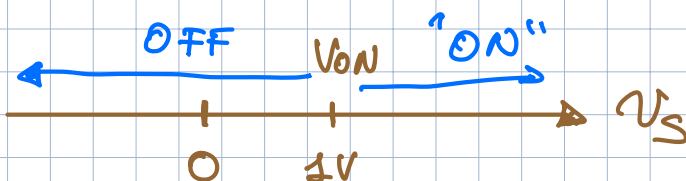


$$v_o = - \frac{R_2}{2 R_1} v_s$$

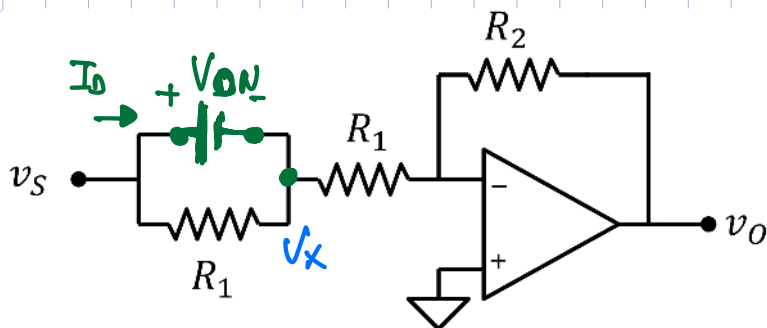
$$= - 2 v_s$$

$$V_D = v_s \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_1} = \frac{v_s}{2}$$

$$\Rightarrow \text{DIODO "OFF"} \text{ se } V_D < V_{ON} \Rightarrow \frac{v_s}{2} < V_{ON} \Rightarrow v_s < 2V_{ON}$$



$$\text{DIODO "ON"} \text{ se } v_s > 2V_{ON}$$



$$V_x = v_s - V_{ON}$$

$$\Rightarrow v_o = V_x \left(- \frac{R_2}{R_1} \right)$$

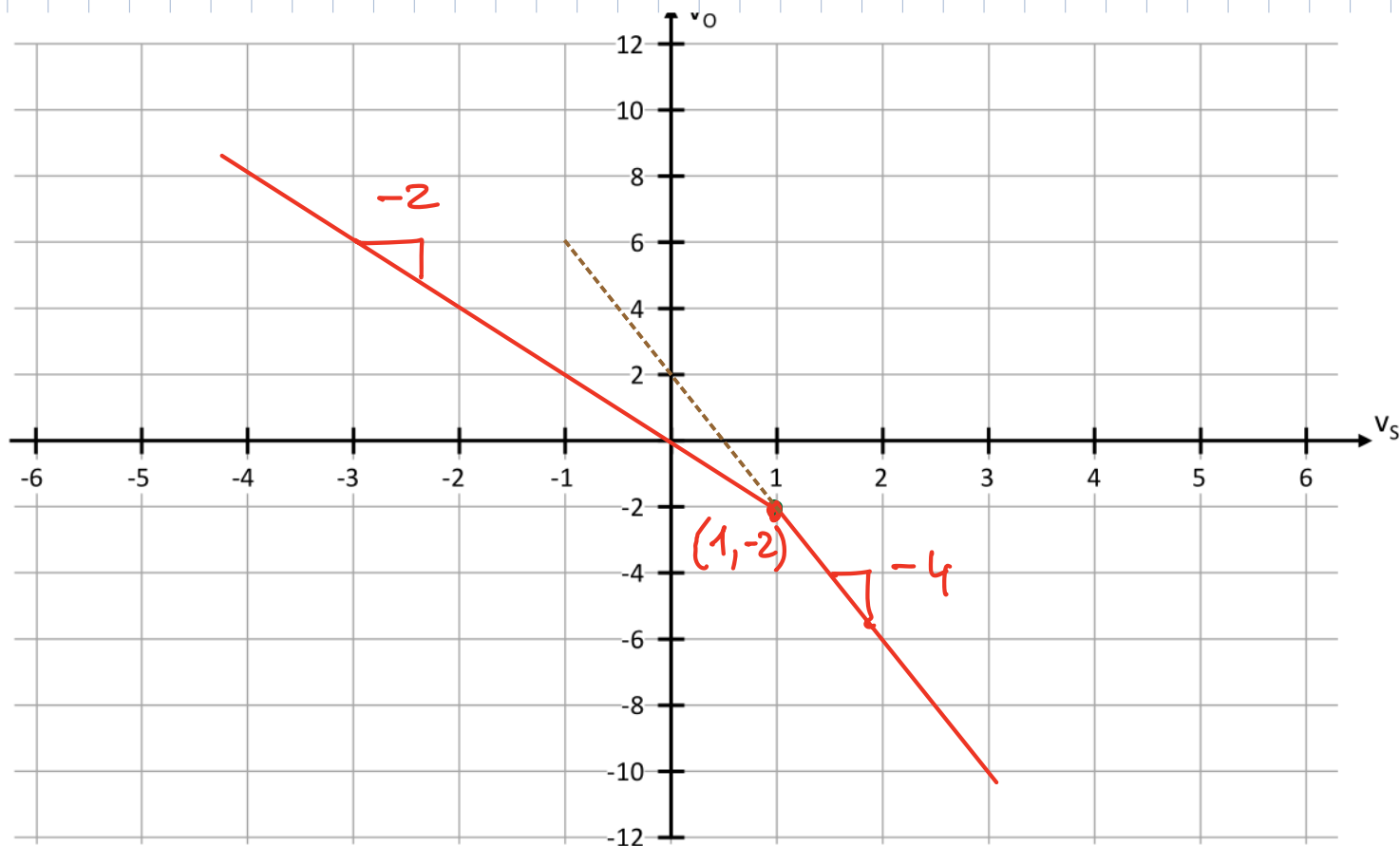
$$= (v_s - V_{ON}) \cdot 4$$

QUINDI

$$v_s > 1V \Rightarrow v_o = -4 v_s + 4 V_{ON} \rightarrow v_s(1) = -2V$$

$$v_s < 1V \Rightarrow v_o = -2 v_s \rightarrow v_s(1) = -2V$$

OK RACCORDO!



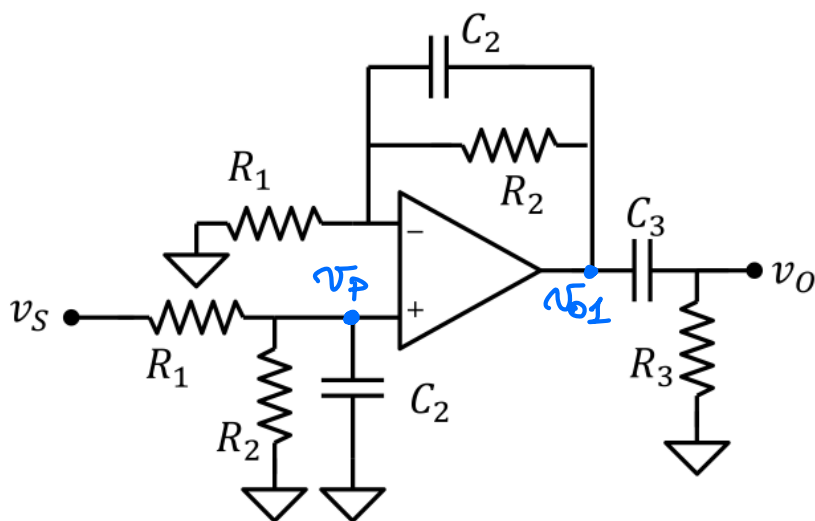
Problema 4

Dato il filtro in figura, sapendo che l'amplificatore operazionale è ideale e che $R_1 = 5\text{k}\Omega$, $R_2 = 50\text{k}\Omega$, $C_2 = 2\text{nF}$, $R_3 = 40\text{k}\Omega$, $C_3 = 25\text{ nF}$:

- 1) Trovare la funzione di trasferimento del filtro. *Trascrivere la funzione di trasferimento nell'apposito riquadro a pagina successiva, indicando i valori di zeri e poli.*
- 2) Tracciare il diagramma di bode usando i grafici riportati nella pagina successiva
- 3) Usando il diagramma asintotico di Bode, calcolare il segnale di uscita, sapendo che il segnale di ingresso è:

$$v_S = V_S \sin(\omega_S t + \phi_S)$$

$$\text{con: } V_S = 1\text{V}, \phi_S = 90^\circ, \omega_S = 1000\text{ rad/s}$$



$$Z_2 = \frac{\frac{1}{SC_2} \cdot R_2}{\frac{1}{SC_2} + R_2} = \frac{R_2}{1 + SC_2 R_2}$$

$$\begin{aligned}
 v_p &= \frac{Z_2}{R_1 + Z_2} \cdot v_s = \frac{\frac{R_2}{1 + sC_2R_2}}{R_1 + \frac{R_2}{1 + sC_2R_2}} \cdot v_s \\
 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2 + SC_2R_1R_2} \cdot v_s \\
 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{1 + sC_2R_1\|R_2} \cdot v_s
 \end{aligned}$$

$$v_{o1} = v_p \left(1 + \frac{Z_2}{R_1} \right) = v_p \left[1 + \frac{R_2}{R_1(1 + SC_2R_2)} \right]$$

$$= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{1 + SC_2R_1\|R_2} \cdot \frac{R_1 + R_2 + SC_2R_1R_2}{R_1(1 + SC_2R_2)} \cdot v_s$$

$$= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + SC_2R_2} \cdot \frac{1 + SC_2R_1\|R_2}{1 + SC_2R_1\|R_2} \cdot v_s$$

$$\underline{v_{o1}} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + SC_2R_2} \cdot v_s$$

$$v_0 = v_{o1} \frac{R_3}{R_3 + \frac{1}{sC_3}} = \frac{SC_3R_3}{1 + SC_3R_3} \cdot v_{o1}$$

$$\Rightarrow W(s) = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{sC_3R_3}{1 + sC_3R_3} \cdot \frac{1}{1 + sC_2R_2}$$

$$\omega_{z0} = \frac{1}{R_3C_3} = 10^3 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{R_3C_3} = 10^3 \text{ rad/sec}$$

$$R_2/R_1 = 10 = 20 \text{ dB}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{R_2C_2} = 10^4 \text{ rad/sec}$$

$$A_{MID} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{C_3R_3}{C_3R_3} = \frac{R_2}{R_1} = 10 = 20 \text{ dB}$$

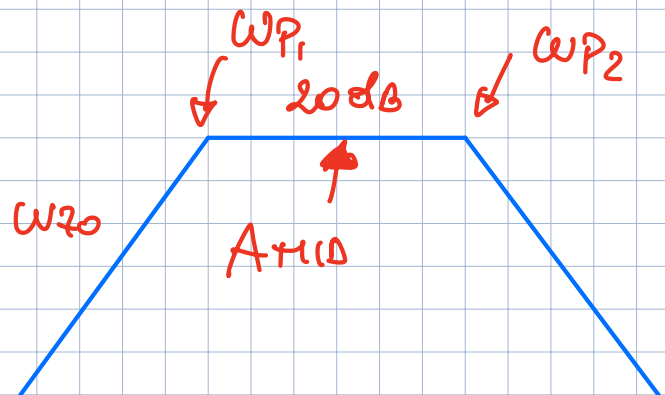


DIAGRAMA DEL
MÓDULO INDICATIVO:

$$v(s) = V_s \sin(\omega_s t + \phi_s)$$

$$V_s = 1 \text{ V} \quad \omega_0 = 10^2 \text{ rad/sec} \quad \phi_s = 90^\circ$$

$$|W(j\omega_0)| = 10$$

$$\angle W(j\omega_0) \approx \frac{\pi}{8}$$

$$\begin{aligned} V_0 &= V_s \cdot |W(j\omega_0)| \cdot \sin(\omega_0 t + \phi_s + \angle W(j\omega_0)) \\ &= 10 \text{ V} \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{8}\right) \end{aligned}$$

