

Fondamenti di elettronica

Corso di laurea in Ingegneria Biomedica

Prima prova di accertamento – 27/06/2024 – Canale 1 – Prof. Meneghesso

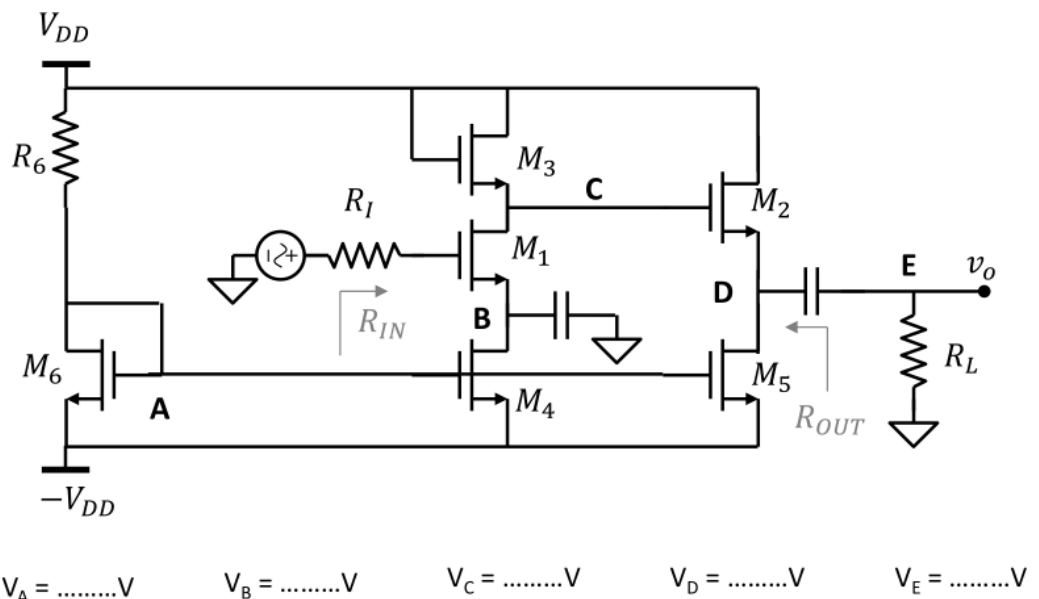
Problema 1

Dato il circuito amplificatore in figura di cui sono noti:

- I parametri dei MOSFET:
 - M_1 : $k_1 = k_4 = 2 \text{ mA/V}^2$,
 - M_2 : $k_2 = k_5 = k_6 = 8 \text{ mA/V}^2$,
 - M_3 : $k_3 = 0.08 \text{ mA/V}^2$,
 - $V_{TN} = 1.5 \text{ V}$ per tutti i MOS
 - M_5 ha $\lambda_5 = 0.01 \text{ V}^{-1}$ (trascurare λ per tutti gli altri MOSFET)
- I valori delle resistenze: $R_i = 5 \text{ k}\Omega$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$
- La tensione di alimentazione: $V_{DD} = 5 \text{ V}$

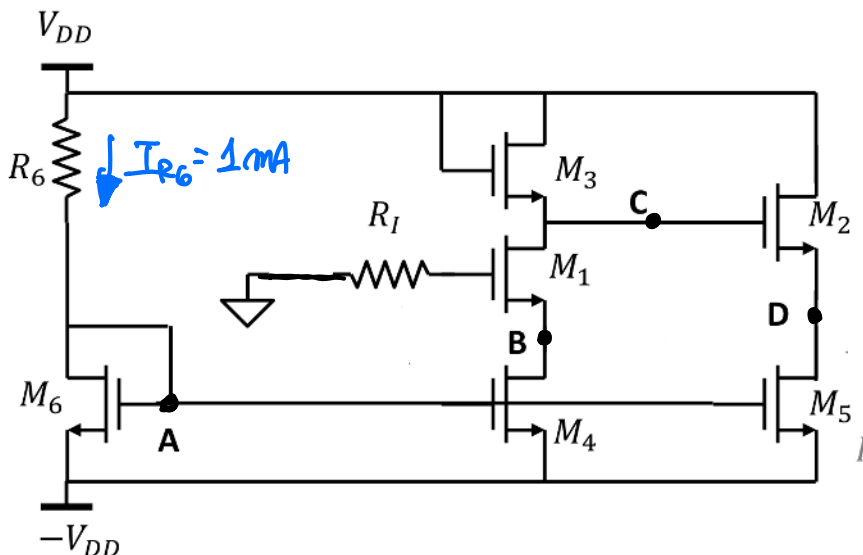
Dato il circuito in figura, sapendo che la corrente attraverso la resistenza R_6 è 1 mA , calcolare:

- 1) La tensione V_{GS} e V_{DS} del MOSFET M_6 e il valore della resistenza R_6
- 2) Il punto di polarizzazione di tutti gli altri MOSFET del circuito.
- 3) I potenziali dei nodi A, B, C, D, e E in condizioni DC. (Riportare i valori nello spazio sotto la figura)
- 4) Disegnare il modello ai piccoli segnali e calcolare le transconduttanze di M_1 e M_2 .
- 5) Calcolare le resistenze di ingresso (R_{IN}) e di uscita (R_{OUT}) come evidenziate nel circuito.
- 6) Calcolare il guadagno di tensione $A_v = v_o/v_i$



POLARIZZAZIONE

HP: MOSFETS IN SATURAZIONE



$$V_{GS6} = V_{TN6} + \sqrt{\frac{2I_{D6}}{K_{n6}}} = 2 \text{ V}$$

$$V_A = -V_{DD} + V_{GS6} = -3 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{DD} - V_A}{R_6} = I_{D6}$$

$$\Rightarrow R_6 = \frac{V_{DD} - V_A}{I_{D6}} = 8 \text{ k}\Omega$$

$$\underline{V_{GS4} = V_{GS5} = V_{GS6} = 2 \text{ V}}$$

$$I_{D4} = I_{R6} \cdot \frac{K_{n4}}{K_{n6}} = \frac{I_{R6}}{4} = 0,25 \text{ mA}$$

$$I_{D5} = I_{RC} \cdot \frac{K_{M5}}{K_{M6}} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{D1} = I_{D3} = I_{D4} = 0,25 \text{ mA} \quad \Rightarrow$$

$$I_{D2} = I_{D5} = 1 \text{ mA}$$

$$\frac{0,5}{0,08} = \frac{5}{0,8} = \frac{50}{8} =$$

$$V_{GS1} = V_{TN1} + \sqrt{\frac{2I_{D1}}{K_{M1}}} = 2 \text{ V}$$

$$V_{GS2} = V_{TN2} + \sqrt{\frac{2I_{D2}}{K_{M2}}} = 2 \text{ V}$$

$$V_{GS3} = V_{TN3} + \sqrt{\frac{2I_{D3}}{K_{M3}}} = 4 \text{ V}$$

$$V_A = -3 \text{ V} \quad V_B = -V_{GS1} = -2 \text{ V} \quad V_C = V_{DD} - V_{GS3} = 1 \text{ V}$$

$$V_D = V_C - V_{GS2} = -1 \text{ V} \quad V_E = 0 \text{ V}$$

$$V_{GS1} = 2 \text{ V} \quad V_{DS1} = V_C - V_B = 3 \text{ V}$$

$$I_{D1} = 0,25 \text{ mA}$$

$$V_{GS2} = 2 \text{ V} \quad V_{DS2} = V_{DD} - V_D = 6 \text{ V}$$

$$I_{D2} = 1 \text{ mA}$$

$$V_{GS3} = 4 \text{ V} \quad V_{DS3} = V_{GS3} = 4 \text{ V}$$

$$I_{D3} = 0,25 \text{ mA}$$

$$V_{GS4} = 2 \text{ V}, \quad V_{DS4} = V_B - (-V_{DD}) = 3 \text{ V} \quad I_{D4} = 0,25 \text{ mA}$$

$$V_{GS5} = 2 \text{ V}, \quad V_{DS5} = V_D - (-V_{DD}) = 4 \text{ V} \quad I_{D5} = 1 \text{ mA}$$

$$V_{GS6} = 2 \text{ V}, \quad V_{DS6} = V_{GS6} = 2 \text{ V}$$

$$I_{D6} = 1 \text{ mA}$$

TUTTI HANNO $V_{DS} > V_{GS} - V_{TN}$ OK SATURAZ.

ANALISI AL PICCOLO SEGNALE

$$g_{m1} = \frac{2I_{D1}}{V_{GS1} - V_{TN1}} = 1 \text{ mS}$$

$$g_{m2} = \frac{2I_{D2}}{V_{GS2} - V_{TN2}} = 4 \text{ mS}$$

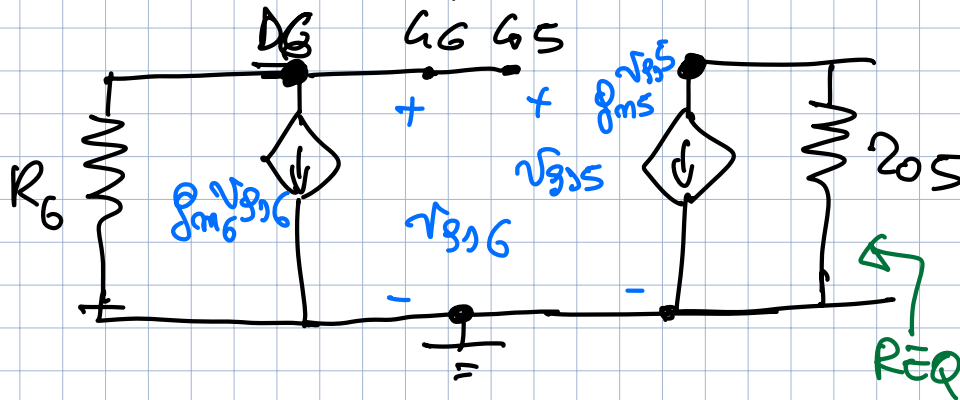
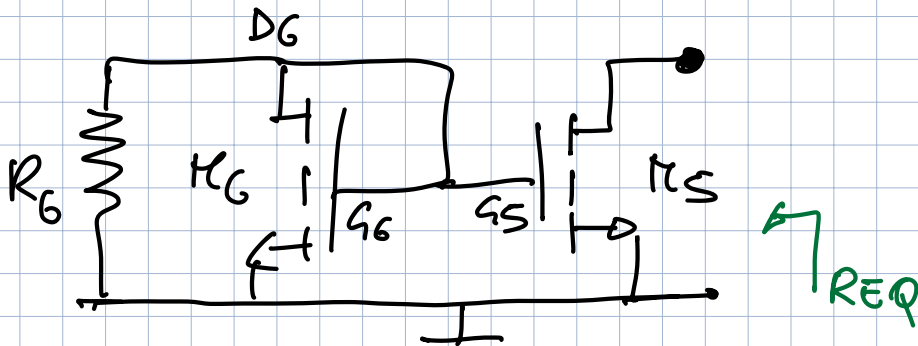
$$g_{m3} = \frac{2I_{D3}}{V_{GS3} - V_{TN3}} = 2 \text{ mS}$$

$$r_{o5} = \frac{\frac{1}{\lambda_{D5}} + V_{GS5}}{I_{D5}} = 104 \text{ k}\Omega$$

1) TRANSISTOR M_4 è CORTOCIRCUITATO A MASSA DA CONDENSATORE

2) TRANSISTOR M_5 È EQUIVALENTE A $20S$

INFATTI:



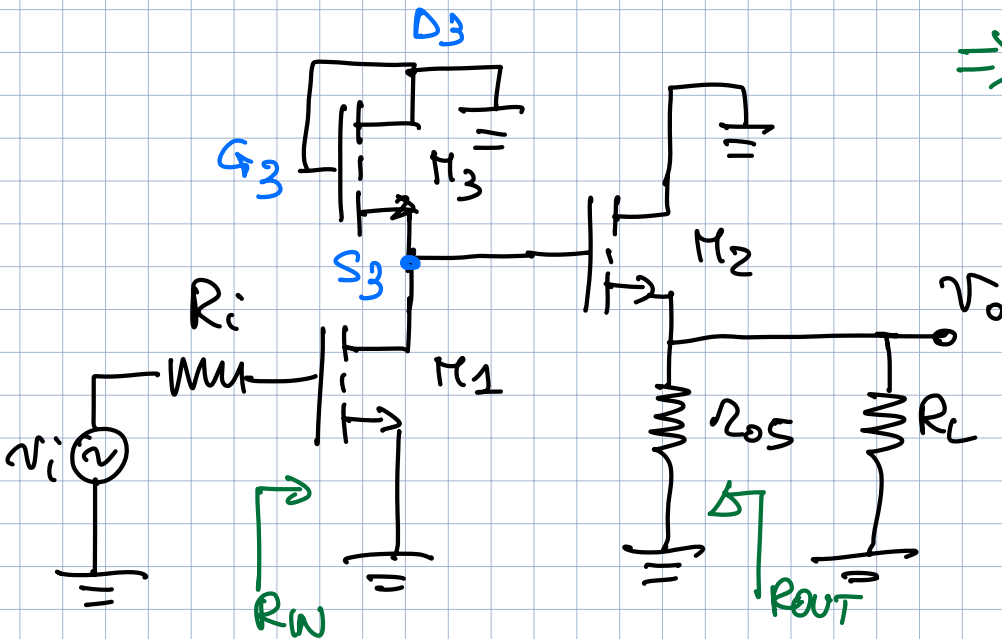
SUL NODO G6

$$g_m v_{gs5} + \frac{v_{gs6}}{R_6} = 0$$

$$\Rightarrow v_{gs6} = 0$$

$$\Rightarrow v_{gs5} = 0$$

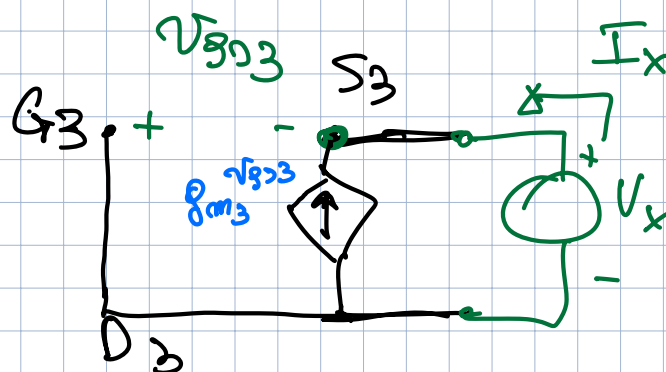
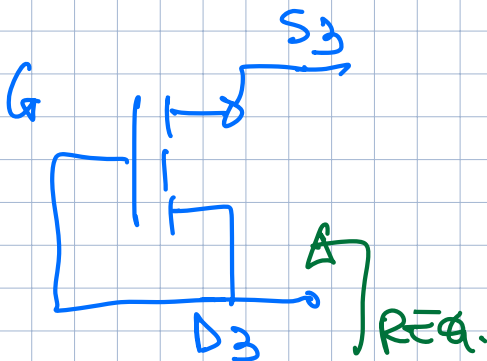
$$\Rightarrow R_{EQ} = 20S$$



3) TRANSISTOR M_3 EQUIVALENTE

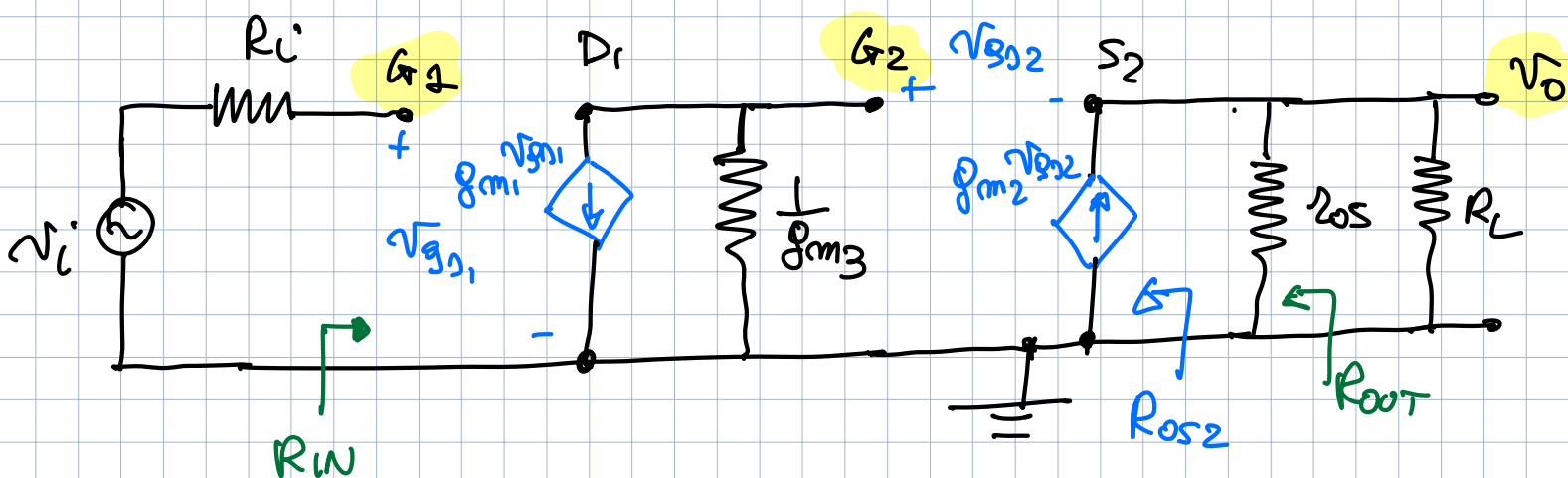
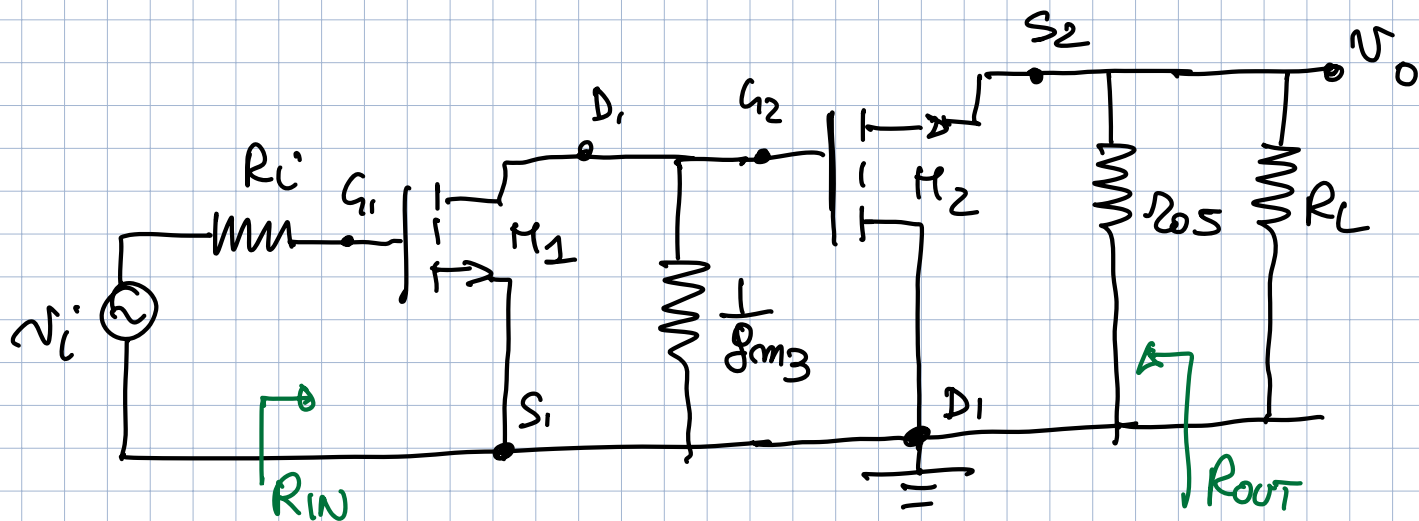
$$+ \frac{1}{g_{m3}}$$

INFATTI:



$$I_x + g_m v_{gs3} = 0 \quad | \Rightarrow I_x = g_{m3} V_x \Rightarrow \frac{V_x}{I_x} = \frac{1}{g_{m3}}$$

$$v_{gs3} = -V_x$$



$$R_{in} = \infty$$

STESSO RAGIONAMENTO DI M_3

R_{os2} È LA RESISTENZA AL
SOURCE DEL DRAIN COMUNE
 $= 1/g_{m2}$

$$R_{out} = r_{os} \parallel R_{os2} =$$

$$= r_{os} \parallel \frac{1}{g_{m2}} = 249,4 \Omega$$

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

$$\frac{v_{G2}}{v_{G1}} = \frac{v_{D1}}{v_i} = - \frac{g_{m1} \cdot v_{gs1} \cdot \frac{1}{g_{m3}}}{v_{gs1}} = - g_{m1} \cdot \frac{1}{g_{m3}} = -5$$

$$\frac{v_o}{v_{G2}} = \frac{g_{m2} v_{gs2} r_{os} \parallel R_L}{v_{gs2} + g_{m2} v_{gs2} r_{os} \parallel R_L} = \frac{g_{m2} r_{os} \parallel R_L}{1 + g_{m2} r_{os} \parallel R_L} = 0,798$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_i} = -5 - 0,798 = -3,89 \approx -4$$

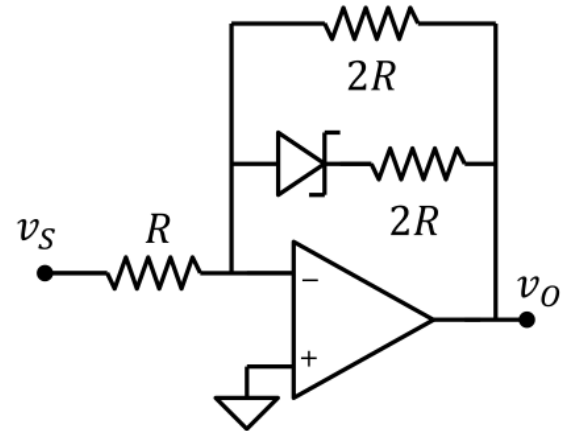
Problema 2

Dato il circuito in figura, realizzato con un amplificatore operazionale e un diodo zener ($V_{ON} = 0V$ e $V_Z = 8V$). Assumendo l'operazionale ideale e $R = 10k\Omega$:

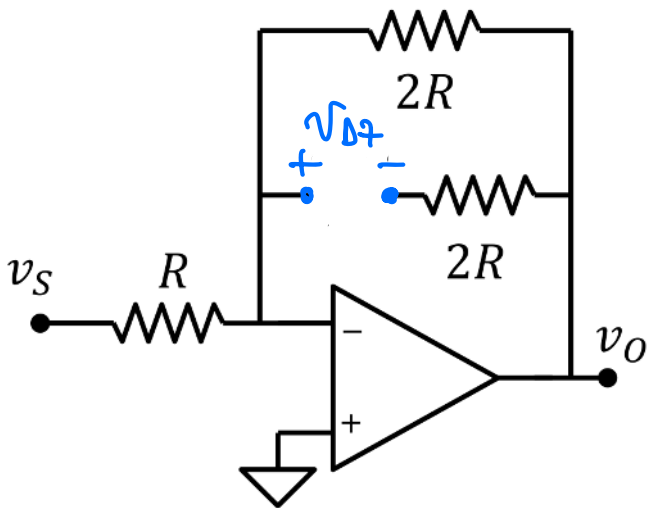
1. Tracciare la transcaratteristica di v_o in funzione di v_s e riportarla nel grafico sulla pagina seguente.
2. Calcolare la tensione v_o , la corrente i_D attraverso il diodo e la tensione v_D ai capi del diodo con $v_s = -8V$.

Assumiamo ora l'operazionale reale con tensione di offset $V_{OS} = 20mV$, correnti di bias $I_{BN} = I_{BP} = 1\mu A$ e $CMRR = 100$:

3. Calcolare la tensione di uscita con $v_s = 1V$



HP DZ = OFF:



$$v_o = v_s \cdot \left(-\frac{2R}{R} \right) = -2v_s$$

$$v_{DZ} = v_- - v_o \\ = 0 - (-2v_s) = 2v_s$$

$$v_{DZ} \text{ \textbf{E} OFF PER} \\ -V_Z \leq v_{DZ} \leq V_{ON}$$

OFF

$$-V_Z \leq 2v_s \leq 0$$

BREAK

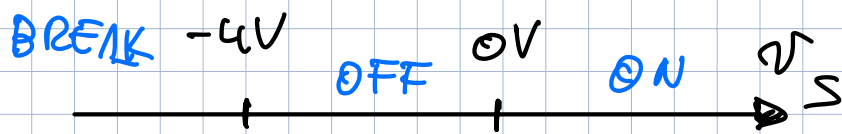
ON

Diodo OFF PER:

$$2v_s \leq 0 \Rightarrow v_s \leq 0$$

$$\left[\text{Diodo \textbf{E} ON PER } v_s \geq 0 \right]$$

$$-V_Z \leq 2v_s \Rightarrow v_s \geq -\frac{V_Z}{2} = -4V \left[\text{Diodo \textbf{E} IN BREAK PER } v_s \leq -4V \right]$$



1) $v_S \in [-4V \div 0V] \Rightarrow \text{Diodo} = \text{OFF}$

$v_O = -2v_S$ $v_O(0) = 0$; $v_O(-4) = 8V$

2) $v_S \geq 0 \Rightarrow \text{Diodo "ON"}$

$v_O = v_S \left(-\frac{2R \parallel 2R}{R} \right) = -v_S$

$v_O(0) = 0$ OK RACCORDO

3) Per $v_S \leq -\frac{V_Z}{2}$

\Rightarrow D7 IN BREAKDOWN

SOUVRAPP. EFFETTI

A) v_S ($V_Z = 0$) TRUOVO
Caso 2) $\Rightarrow v_O' = -v_S$

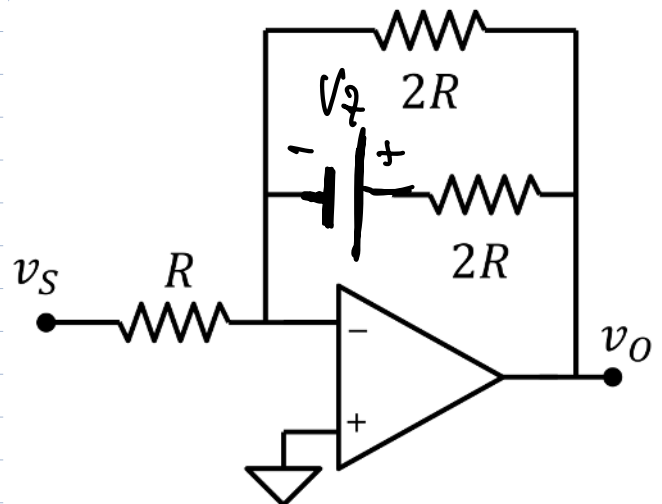
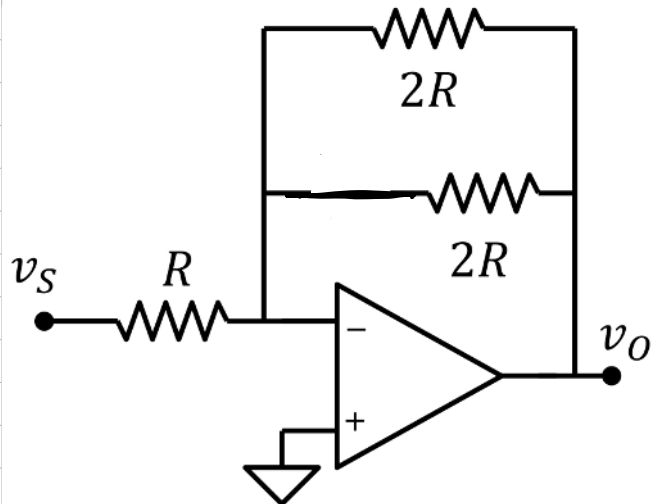
B) V_Z ($v_S = 0$)

$v_O'' = + \frac{V_Z}{4R} \cdot 2R = 4V$

$\Rightarrow v_O = v_O' + v_O'' = -v_S + 4V$

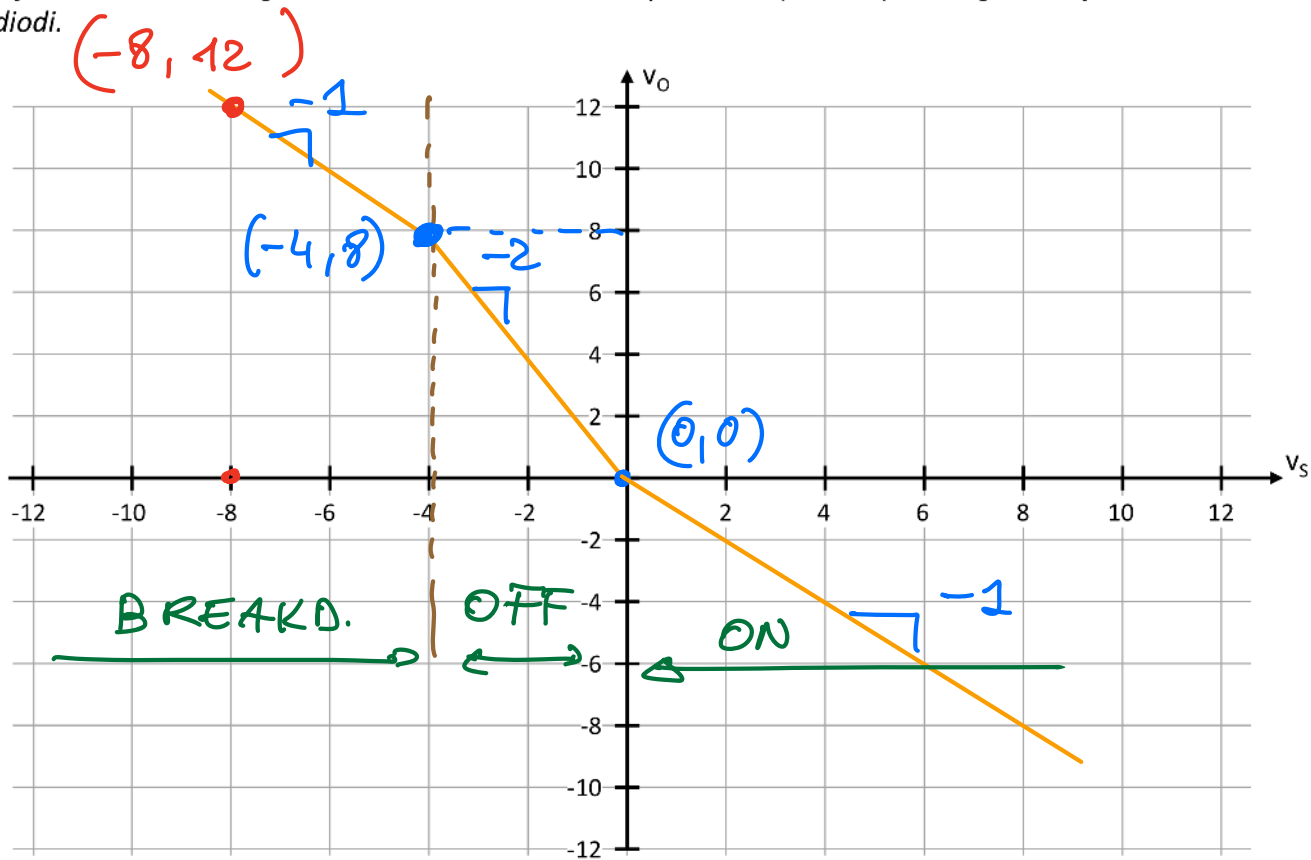
$v_O(-4) = +4V + 4V = 8V$

OK RACCORDO



A fianco di ciascun punto di spezzamento indicare i valori di tensione v_S e v_O corrispondenti.

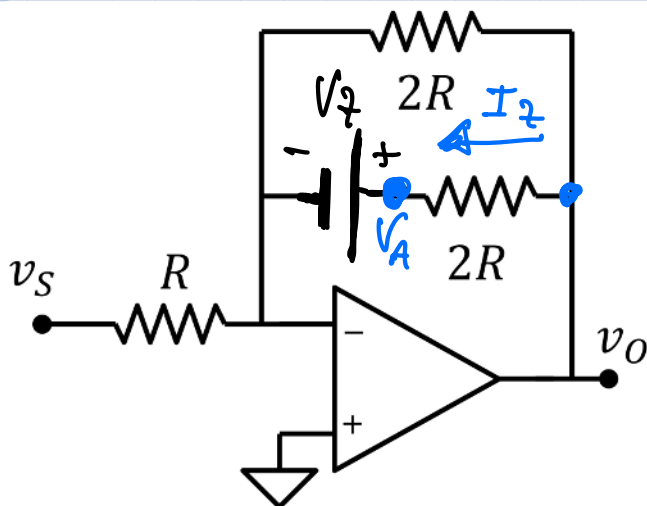
A fianco di ciascun segmento indicare il valore della pendenza (dv_O/dv_S) e la regione di funzionamento dei diodi.



2) $v_S = -8V$

D_7 IN BREAKDOWN

$$\Rightarrow v_O = -v_S + 4V = +12V$$



$$V_A = V_2$$

$$I_2 = \frac{v_O - V_A}{2R} = \frac{12V - 8V}{20k\Omega} = 0,2mA$$

$$v_{D7} = -V_2 = -8V$$

3) Con $v_S = 1V \Rightarrow$ DIODO = 'ON' $v_O = -v_S$

SOVRAPPOSIZIONE EFFETTI

a) EFFETTO v_S (VEDI PRIMA)

$$v_O' (v_S = 1V) = -1V$$

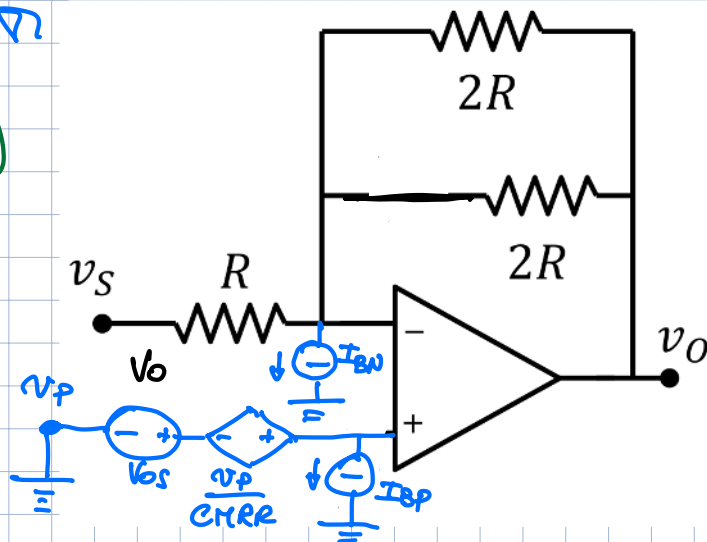
b) EFFETTO CMRR

$v_P = 0 \Rightarrow$ EFFETTO CMRR NULLO

$$v_O''(\text{CMRR}) = 0$$

c) EFFETTO DI V_{OS} :

$$v_O''' = V_{OS} \left(1 + \frac{R}{R} \right) = 2V_{OS} \\ = 40 \text{ mV}$$



d) EFFETTO I_{BP} :

$$v_O^{IV}(I_{BP}) = 0 \quad \text{IN QUANTO } v_+ = 0 \Rightarrow v_O = 0$$

e) EFFETTO I_{BN} :

$$v_O^V = I_{BN} \cdot R = 10 \text{ mV}$$

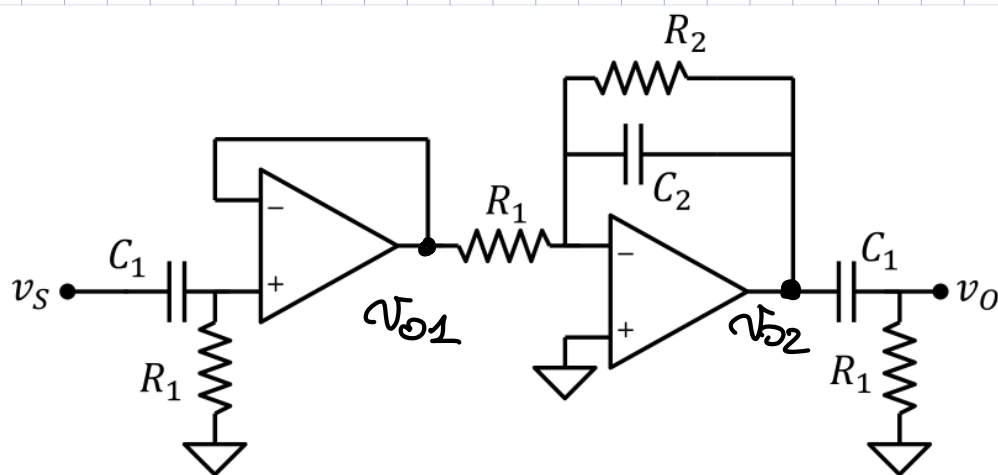
$$v_O = v_O' + v_O'' + v_O''' + v_O^{IV} + v_O^V = -0,95 \text{ V}$$

Problema 3

DATI: $R_1 = 2\text{k}\Omega$, $C_1 = 5\mu\text{F}$, $R_2 = 200\text{k}\Omega$, $C_2 = 5\text{nF}$

Dato il filtro in figure.

- Calcolare il guadagno per $\omega = 0$.
- Trovare la funzione di trasferimento (riportare l'espressione della funzione di trasferimento nella scheda della quarta pagina)
- Tracciare i diagrammi di bode asintotici di modulo e fase (usando i grafici in quarta pagina).



$$Z_2 = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{sC_2}}{R_2 + \frac{1}{sC_2}} \Rightarrow \frac{R_2}{1 + sC_2R_2}$$

$$v_+ = \frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} v_s = \frac{sC_1R_1}{1 + sC_1R_1} v_s$$

$$v_{o1} = v_+$$

$$v_{o2} = v_{o1} \cdot \left(-\frac{Z_2}{R_1} \right)$$

$$= v_{o1} \cdot -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + sC_2R_2}$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{sC_1R_1}{(1 + sC_1R_1)(1 + sC_2R_2)}$$

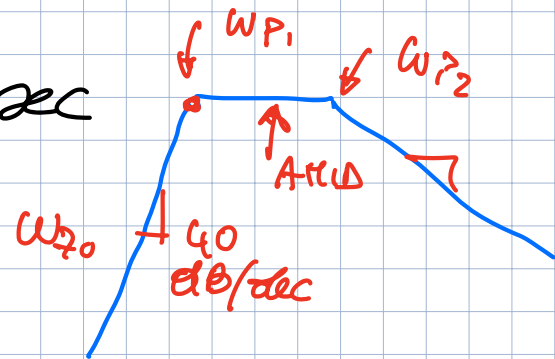
$$v_o = v_{o2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} = v_{o2} \frac{sC_1R_1}{1 + sC_1R_1}$$

$$\Rightarrow W(s) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{(sC_1R_1)^2}{(1 + sC_1R_1)^2(1 + sC_2R_2)}$$

$$\omega_{z0} = \frac{1}{C_1 R_1} = 10^2 \text{ rad/sec} \quad (\text{ZERO ORIGINE DOPIPIO})$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_1 R_1} = 10^2 \text{ rad/sec} \quad \text{POLO DO PPIU}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_2 R_2} = 10^3 \text{ rad/sec}$$



$$A_{MID} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{(C_1 R_1)^2}{(C_1 R_1)^2} = -\frac{R_2}{R_1} = 10^2 = 40 \text{ dB}$$

