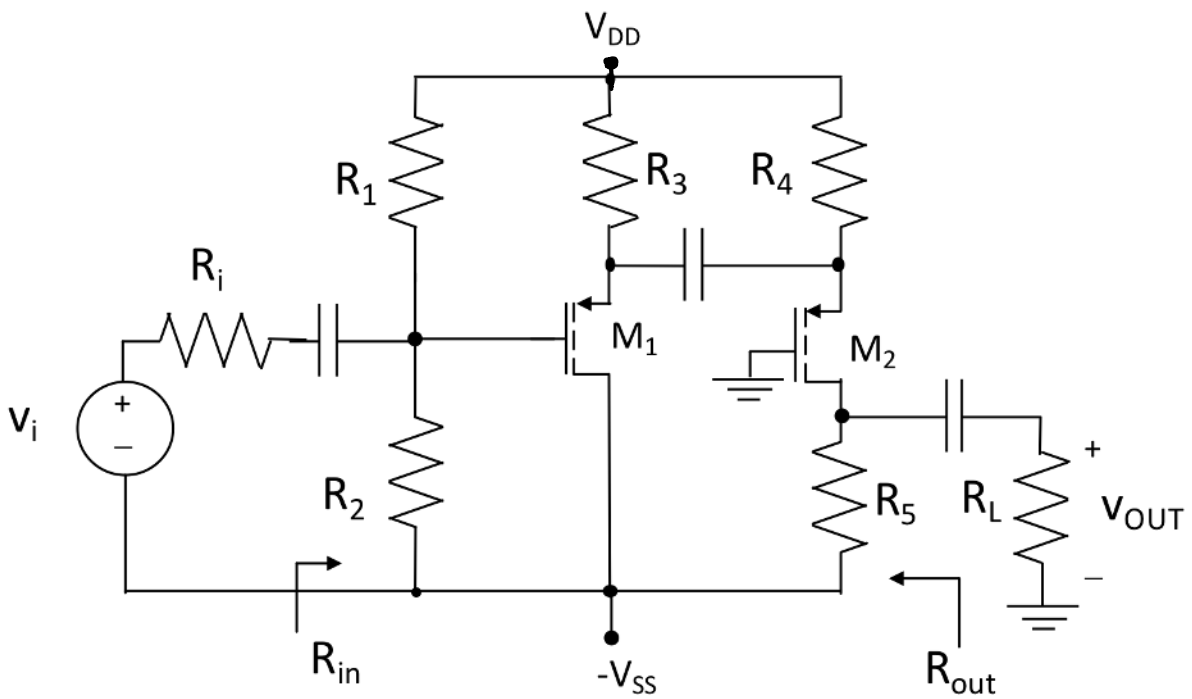
PROBLEMA P1

Dato il circuito riportato nella figura sottostante, determinare:

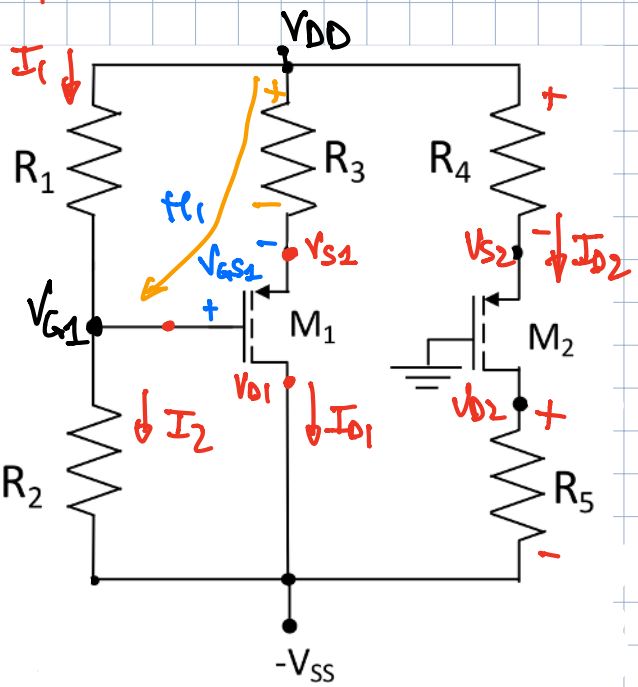
1) il valore delle resistenze R_4 in modo che la correnti di drain di M_2 valga $I_{D2} = 20$ mA;
2) il punto di lavoro dei transistor M_1, M_2;
3) la potenza dissipata dai due MOSFETs M_1 e M_2 e la potenza dissipata dal circuito
4) il guadagno di tensione ai piccoli segnali ac $A_v = v_o/v_i$;
5) le resistenze di ingresso e uscita ai piccoli segnali ac R_{in} e R_{out}.



Dati:
$V_{DD} = V_{SS} = 12$ V, $R_1 = 500$ kΩ, $R_2 = 250$ kΩ, $R_3 = 200$ Ω, $R_5 = 500$ Ω, $R_L = 15$ kΩ, $R_i = 500$ Ω,

$M_{1,2}$: $k_p = 10$ mA/V^2, $V_{TP} = -1$ V, $\lambda_p = 0$ V^{-1};

POLARIZZAZIONE



$$V_{G1} = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} - V_{SS} \frac{R_1}{R_1+R_2} = -4V$$

OPPURE

$$I_1 = I_2 = \frac{V_{DD} - (-V_{SS})}{R_1+R_2} = 32\,\mu A$$

$$V_G = -V_{SS} + R_2 I_2 = -4V$$

$$M_1: \begin{cases} V_{DD} = R_3 I_{D1} - V_{GS1} + V_G \\ I_{D1} = \frac{K_P}{2}\left(V_{GS1} - V_{TP1}\right)^2 \end{cases}$$

$$I_{D1} = \frac{V_{DD} - V_G + V_{GS1}}{R_3} = \frac{K_P}{2}\left(V_{GS1} - V_{TP1}\right)^2$$

$$\frac{2(V_{DD}-V_G)}{K_P R_3} + \frac{2V_{GS1}}{K_P R_3} = V_{GS1}^2 + V_{TP1}^2 - 2V_{GS1}V_{TP1}$$

$$\Rightarrow \quad V_{GS1}^2 + V_{GS}\left(-2V_{TP1} - \frac{2}{K_P R_3}\right) + V_{TP1}^2 - \frac{2(V_{DD}-V_G)}{K_P R_3} = 0$$

$a = 1 \qquad b = 1 \qquad c = -15$

$V_{GS1} = \begin{cases} 3{,}405 & \text{no} \quad V_{GS1} > V_{TP} \\ -4{,}405 & \text{OK} \end{cases}$

$$I_{D1} = \frac{K_{P1}}{2}(V_{GS1} - V_{TP1})^2 = 57{,}97\ mA$$

$V_{S1} = V_{DD} - I_{D1}R_3 = 0{,}405\ V$ OPPURE $V_{S1} = V_G - V_{GS1} \overset{!}{=} 0{,}405$!

$V_{DS1} = -V_{SS} - V_{S1} = -12{,}405\ V$

$< V_{GS1} - V_{TN1} = -3{,}405$ OK SATURAZIONE

M_2:

CON $I_{D2} = 20\ mA$ $\Rightarrow V_{GS2} = V_{TP} - \sqrt{\frac{2I_D}{K_{P2}}} = -3V$

$V_{GS2} = \underset{0}{V_{G2}} - V_{S2} = -V_{S2} = -3V \Rightarrow V_{S2} = 3V$

$\Rightarrow V_{DD} - R_4 I_{D2} = V_{S2} \Rightarrow R_4 = \frac{V_{DD} - V_{S2}}{I_{D2}} = 450\Omega$

500Ω · 20mA

$V_{D2} = -V_{SS} + R_5 I_{D2} = -2V$

$V_{DS2} = V_{D2} - V_{S2} = -5V < V_{GS2} - V_{TN2} = -2V$

OK SATURAZIONE

$M_1\ (I_{D1} = 57{,}97\ mA,\ V_{DS1} = -12{,}405V)$

$M_2\ (I_{D2} = 20mA,\ V_{DS2} = -5V)$

POTENZA DISSIPATA

$$P_{DM1} = I_{D1} \cdot |V_{DS1}| = 719{,}12 \text{ mW}$$

$$P_{DM2} = I_{D2} |V_{DS2}| = 100{,}0 \text{ mW}$$

$$P_{DC} = (I_{D1} + I_{D2} + I_1)\left[V_{DD} - (-V_{SS})\right] = 1{,}872 \text{ W}$$

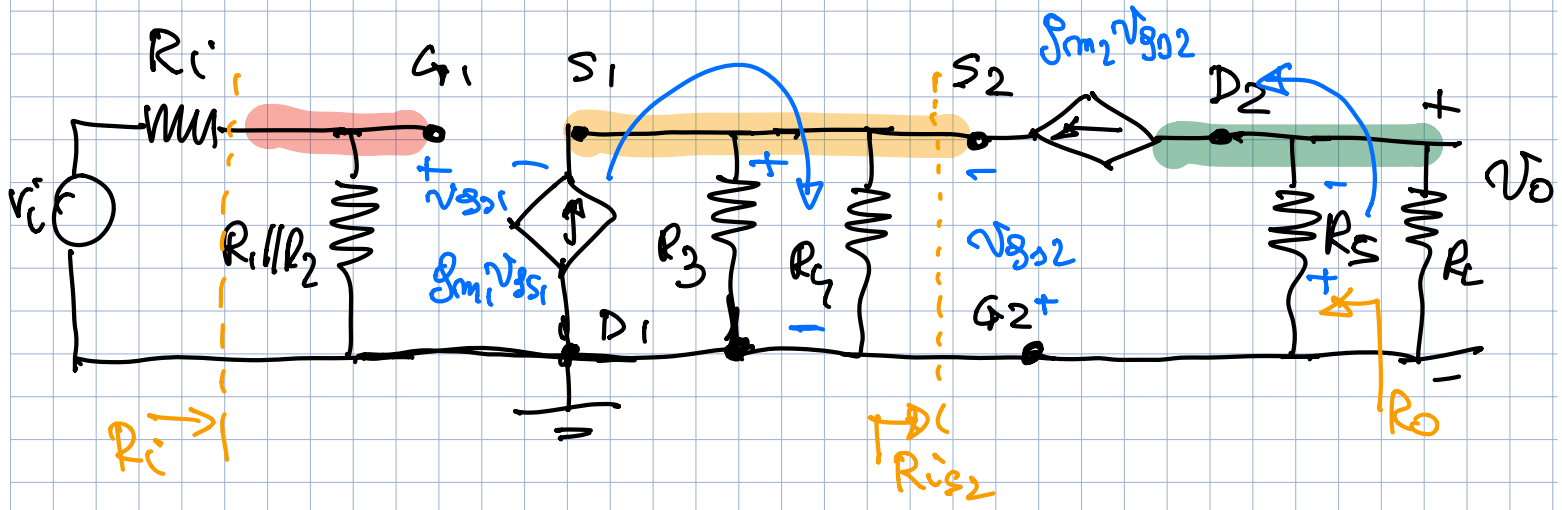
TRASCURABILE (0,032 mA)

PARAMETRI AL PICCOLO SEGNALE DEI MOSFET

$$g_{m1} = \frac{2 I_{D1}}{|V_{GS1} - V_{TN1}|} = 34{,}05 \text{ mS} = \sqrt{2 I_{D1} K_{n1}} \qquad r_{o1} = \infty$$

$$g_{m2} = \frac{2 I_{D2}}{|V_{GS2} - V_{TP1}|} = 20 \text{ mS} = \sqrt{2 I_{D2} K_{p2}} \qquad r_{o2} = \infty$$

ANALISI AL PICCOLO SEGNALE



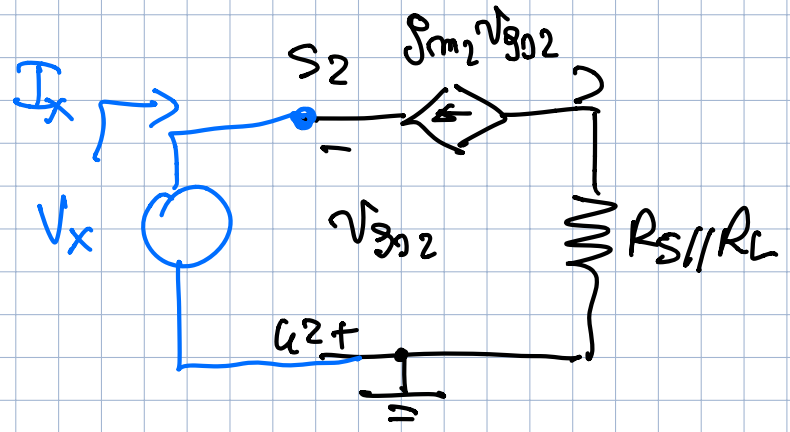
$$R_i = R_1 // R_2 = 166{,}7 \text{ k}\Omega$$

R_{is2} ?

$$I_x + g_{m2} v_{gs2} = 0$$

$$V_x = -v_{gs2}$$

$$R_{is2} = \frac{V_x}{I_x} = \frac{1}{g_{m2}} = 50\ \Omega$$



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{D2}}{v_{S2}} \cdot \frac{v_{S1}}{v_{G1}} \cdot \frac{v_{G1}}{v_i} = A_{vt}^{CG} \cdot A_{vt}^{CD} \cdot \frac{v_G}{v_i}$$

$$\frac{v_G}{v_i} = \frac{R_1 // R_2}{R_i + R_1 // R_2} = 0{,}997$$

$$A_{vt}^{CG} = \frac{v_{D2}}{v_{S2}} = ?$$

$$v_o = -g_{m2} v_{gs2} R_5 // R_L$$

$$v_{S2} = -v_{gs2}$$

$$\rightarrow A_{vt}^{CG} = g_{m2} R_5 // R_L = 9{,}68$$

$$A_{vt}^{CD} = \frac{v_{S1}}{v_{G1}} = ?$$

$$v_{S1} = g_{m1} v_{gs1} R_3 // R_4 // R_{iS2}$$

$$v_{G1} = v_{gs1} + g_{m1} v_{gs1} R_3 // R_4 // R_{iS2}$$

$$= v_{gs1}(1 + g_{m1} R_3 // R_4 // R_{iS2})$$

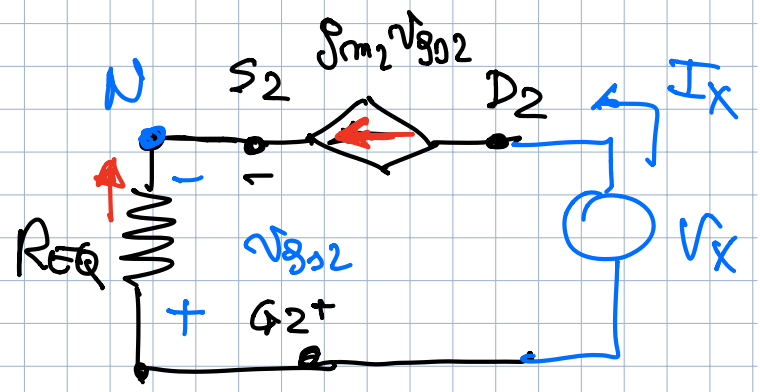
$$v_{gs1} = \frac{v_{G1}}{1 + g_{m1} R_3 // R_4 // R_{iS2}}$$

$$\rightarrow A_{vt}^{CD} = + \frac{g_{m1} R_3 // R_4 // R_{iS2}}{1 + g_{m1} R_3 // R_4 // R_{iS2}} = 0{,}56$$

$$\Rightarrow \boxed{A_v = 5{,}362}$$

$$R_o = R_5 // R_{od2}$$

R_{od2} ?



$$\frac{v_{gs2}}{R_{EQ}} + g_{m2} v_{gs2} = 0$$

$$v_{gs2}\left(\frac{1}{R_{EQ}} + g_{m2}\right) = 0$$

$$\Rightarrow v_{gs2} = 0 \quad \Rightarrow I_x = 0 \quad R_{od2} = \frac{V_x}{I_x} = \infty$$

$$\Rightarrow R_o = R_5 = 500\ \Omega$$

NOTA IMPORTANTE!

SE AL POSTO DI R_S METTO UNO SPECCHIO DI CORRENTE CON $I_{SP} = 20\ mA$, e SOPPONENDO CHE LO SPECCHIO ABBIA UNA RESISTENZA DI $r_{osp} = 50\ k\Omega$

- PER LA POLARIZZAZIONE NON CAMBIA NULLA (PICCOLO PROBLEMA COL CALCOLARE V_{DS2} ..... MA SI RISOLVE)
- PER IL GUADAGNO A_{VE}^{CG}:

$$A_{VE}^{CG} = g_{m2}\, r_{osp} // R_L = 230{,}8$$

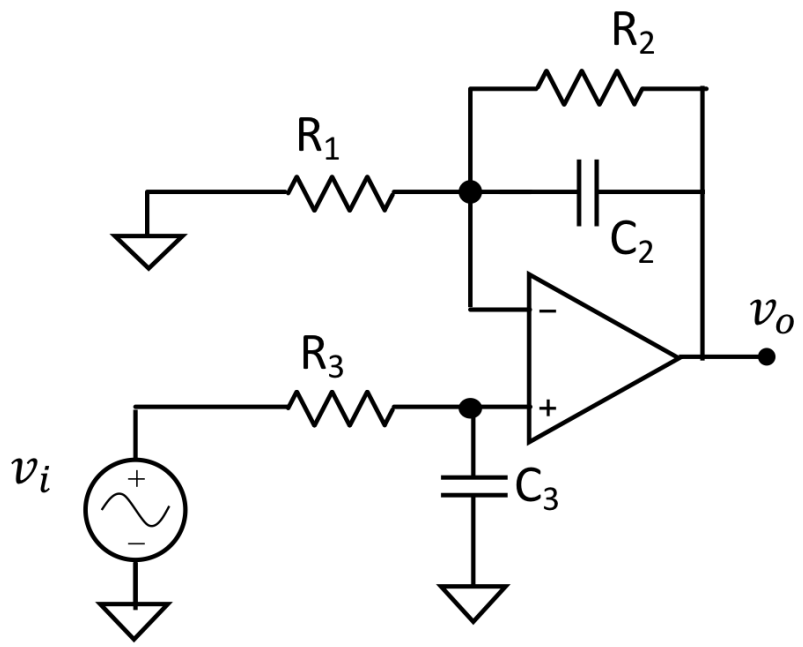
$$R_S // R_L = 0{,}48\ k\Omega$$

$$r_{osp} // R_L = 11{,}54\ k\Omega$$

$$\| \ 24\ \times$$

PROBLEMA P2

Dato il circuito che usa amplificatori operazionali e componenti passivi ideali:



1) ricavare l'espressione (simbolica, senza sostituire i valori dei componenti) della funzione di trasferimento $W(s)=V_{out}(s)/V_{in}(s)$;
2) tracciare il diagramma di Bode asintotico dell'ampiezza e della fase di $H(j\omega)$, usando, nel caso della fase, l'approssimazione senza discontinuità;
3) determinare il valore della tensione di uscita sapendo che la tensione di ingresso vale $V_{in}=0.1\sin(\omega t)$ [V] con:
a. $\omega_1=4*10^4$ rad/s
b. $\omega_2=1*10^7$ rad/s

DATI: $R_1=505\ \Omega$, $R_2=50k\Omega$, $R_3=1k\Omega$, $C_2=200nF$, $C_4=10\ nF$

$$v_+ = \frac{Z_{C3}}{R_3 + Z_{C3}} v_i = \frac{\frac{1}{sC_3}}{R_3 + \frac{1}{sC_3}} v_i = \frac{1}{1 + sC_3R_3} v_i$$

$$v_o = v_+ \left(1 + \frac{Z_2}{R_1}\right) \qquad Z_2 = \frac{\frac{1}{sC_2} \cdot R_2}{\frac{1}{sC_2} + R_2} = \frac{R_2}{1 + sC_2R_2}$$

$$v_o = \frac{v_i}{1 + sC_3R_3} \cdot \left[1 + \frac{R_2}{R_1(1 + sC_2R_2)}\right]$$

$$= \frac{v_i}{1 + sC_3R_3} \left[\frac{R_1 + R_2 + sC_2R_1R_2}{R_1(1 + sC_2R_2)}\right]$$

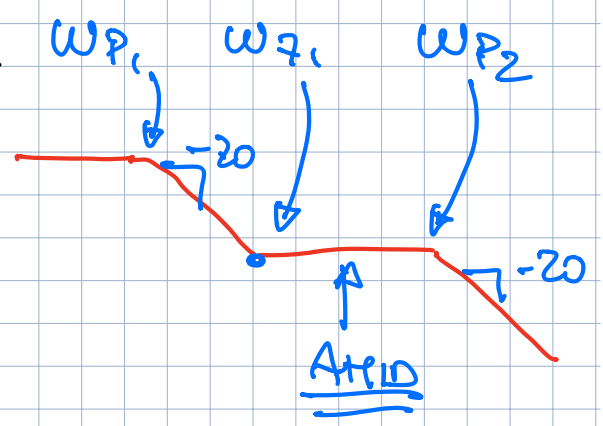
$$\Rightarrow \quad W(s) = \frac{v_o}{v_i} = \boxed{\frac{R_2 + R_1}{R_1} \cdot \frac{1 + sC_2\, R_1 // R_2}{(1 + sC_2R_2)(1 + sC_3R_3)}}$$

$$W(0) = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = 100$$

$$\omega_{z_1} = \frac{1}{C_2\, R_1 // R_2} = 10^4 \text{ rad/sec}$$

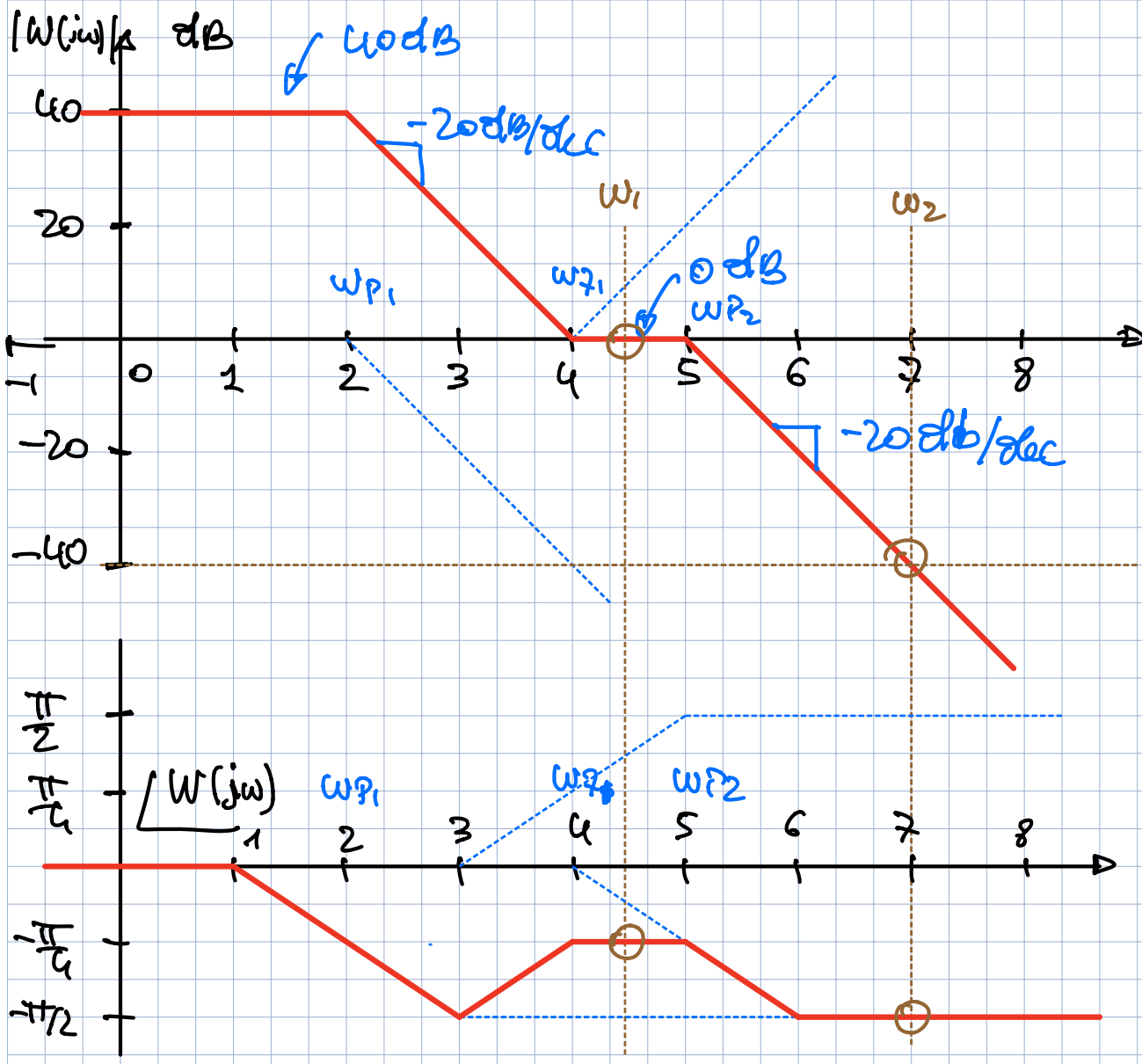
$$\omega_{P_1} = \frac{1}{C_2R_2} = 10^2 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_{P_2} = \frac{1}{C_3R_3} = 10^5 \text{ rad/sec}$$



$$AMID = \frac{R_2 + R_1}{R_1} \cdot \frac{C_2\, R_1 // R_2}{C_2\, R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{R_2} = 1$$

$$= 0\,dB$$



$V_{IN} = 0{,}1 \sin \omega t$ $\quad V_o(t) = |W(j\omega)| \cdot 0{,}1 \sin(\omega t + \angle W(j\omega))$

Per $\omega_1 = 30'000$ rad/sec $\quad |W(j\omega)| = 1 \quad \angle W(j\omega) = -\frac{\pi}{4}$

$\omega_2 = 10^7$ rad/sec $\quad |W(j\omega)| = -40dB \quad \angle W(j\omega) = -\frac{\pi}{2}$

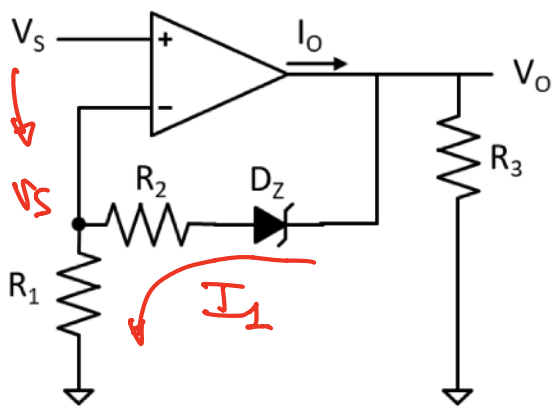
$\simeq 0{,}01$

$V_{o1} = 0{,}1 \sin(\omega_1 t - \frac{\pi}{4})$ [V]

$V_{o2} = 0{,}001 \sin(\omega_2 t - \frac{\pi}{2})$ [V]

PROBLEMA Q1

Dato il circuito nella figura sottostante, in cui l'amplificatore operazionale è ideale, determinare lo stato del diodo D_Z, la corrente I_O erogata dall'amplificatore operazionale e la tensione V_O.



DATI:

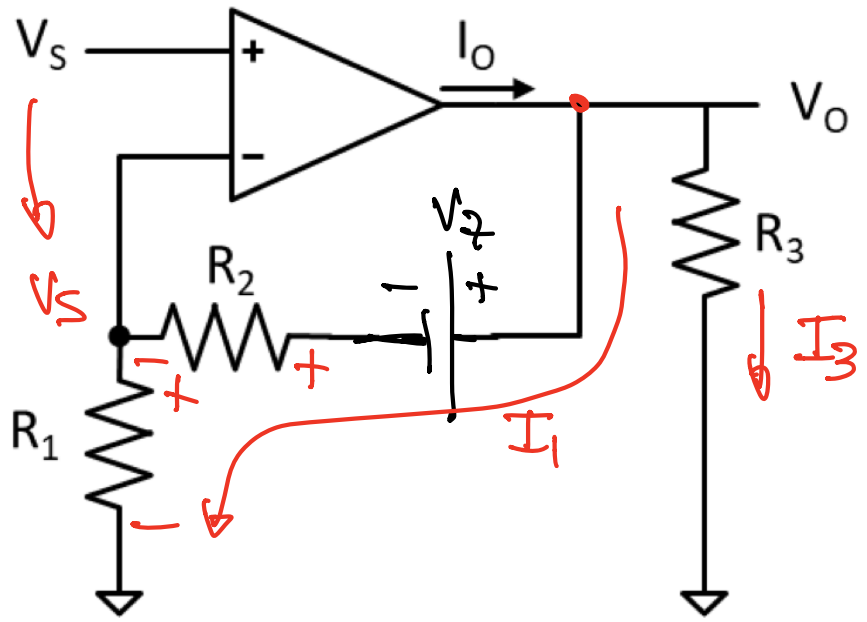
$R_1 = 1\ k\Omega$;

$R_2 = 1\ k\Omega$;

$R_3 = 1\ k\Omega$;

D_Z: $V_{ON}=1$ V, $V_Z=5$ V, $R_Z = 0\ \Omega$;

$V_S=2$ V.



CON $V_S > 0$

CONSIDERANDO $V_{DZ}=0$

$$I_1 = \frac{V_S}{R_1} = 2\ mA$$

$\Rightarrow$ DZ = BREAKDOWN

$I_{DZ} = -I_1$ OK BREAK

$$V_O = I_1(R_1+R_2) + V_Z = V_S\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + V_Z = 9\ V$$

$$I_3 = \frac{V_O}{R_3} = 9\ mA$$

$$\Rightarrow I_O = I_1 + I_3 = 11\ mA$$

PROBLEMA Q2

Data la seguente tabella della verità

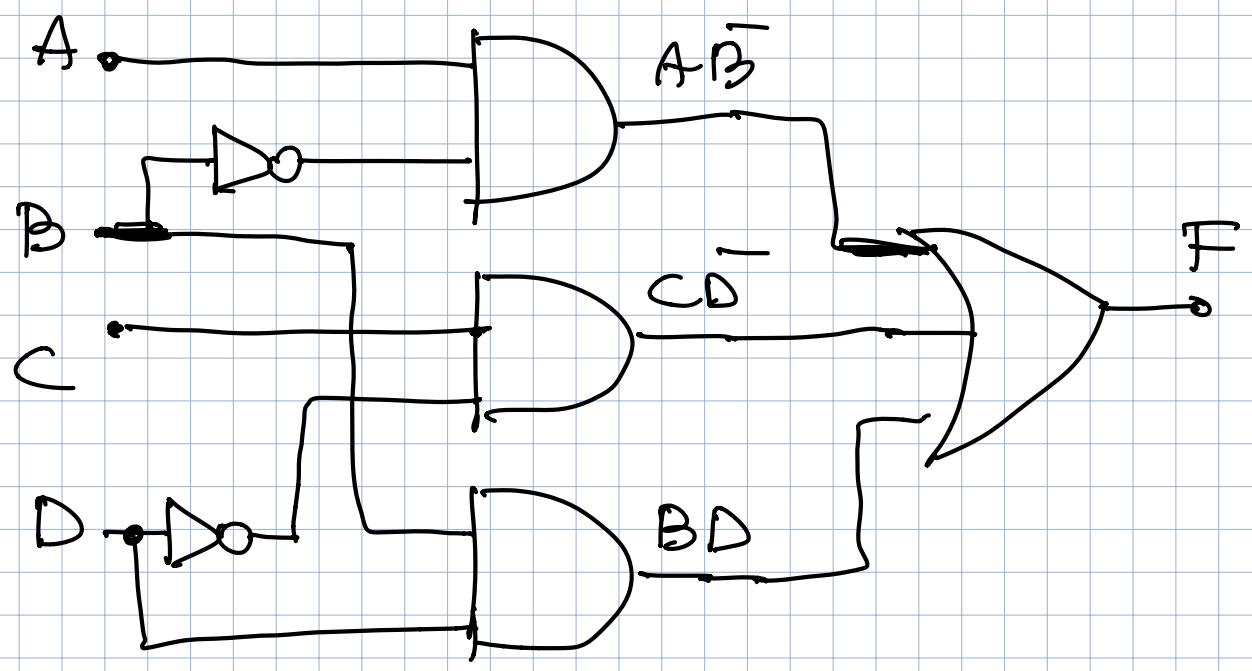
1) Ricavare la mappa di Karnaugh corrispondente;
2) Trovare una F minimizzata
3) Disegnare la rete logica minimizzata tramite porte logiche fondamentali.

A	B	C	D	F
0	0	0	0	X
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	X
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	X
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	X

AB \ CD	00	01	11	10
00	X	0	0	1
01	0	X	1	1
11	0	1	X	1
10	1	1	1	X

$C\bar{D}$

BD

$A\bar{B}$

$$F = A\bar{B} + BD + C\bar{D}$$