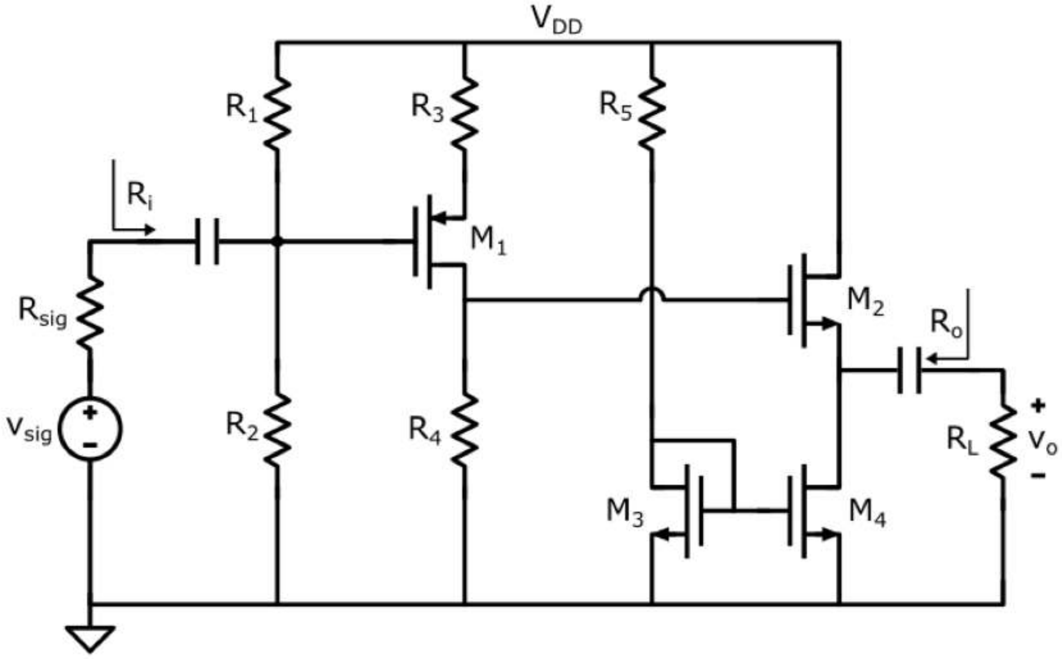
TEMA TIPO 3 - SOLUZIONE

PROBLEMA P1

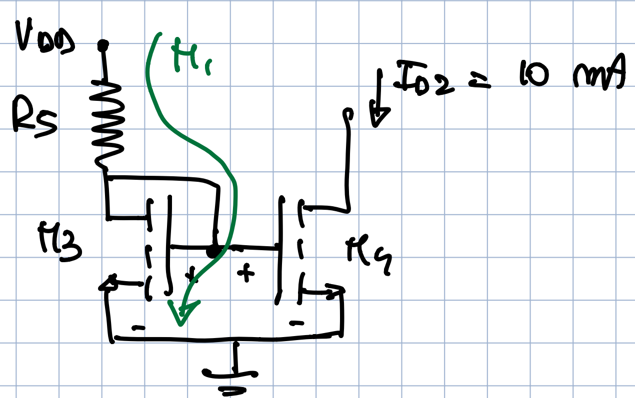
Dato il circuito riportato nella figura sottostante, determinare:

1) il valore delle resistenze R_3 e R_5 in modo che le correnti di drain di M_1 e M_2 valgano rispettivamente $I_{D1} = 2$ mA e $I_{D2} = 10$ mA;
2) il punto di lavoro dei transistor M_1, M_2, M_3 e M_4;
3) il guadagno di tensione ai piccoli segnali ac $A_v = v_o/v_{sig}$;
4) le resistenze di ingresso e uscita ai piccoli segnali ac R_i e R_o.



Dati:
V_{DD}=15 V,
R_1=100 kΩ,
R_2=400 kΩ,
R_4=5 kΩ,
R_L=200 Ω,
R_{sig}=10 kΩ,
M_1: k_p=4 mA/V², V_{TP}=-1 V, λ_p=0 V⁻¹;
$M_{2,4}$: k_n=20 mA/V², V_{TN}=1 V, λ_n=0 V⁻¹;
M_3: k_n=4 mA/V², V_{TN}=1 V, λ_n=0 V⁻¹.

1) CALCOLO R_3 e R_5



$$V_{GS4} = V_{TN4} + \sqrt{\frac{2I_{D2}}{k_{n2}}} = 2V$$

$$V_{GS3} = V_{GS4}$$

$$I_{D2} = I_{D3} \cdot \frac{k_{n4}}{k_{n3}} \frac{\cancel{(1+\lambda V_{DS4})}}{\cancel{(1+\lambda V_{DS3})}}$$

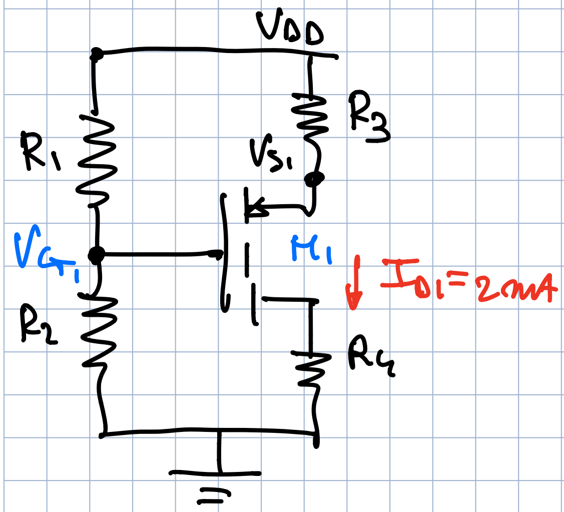
$$\Rightarrow I_{D3} = I_{D2} \cdot \frac{k_{n3}}{k_{n4}} = \frac{I_{D2}}{5} = 2mA$$

M_1: $V_{DD} = R_5 I_{D3} + V_{GS3}$

$$\Rightarrow R_5 = \frac{V_{DD} - V_{GS3}}{I_{D3}} = 6,5\ k\Omega$$

$$V_{G1} = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} = 15V \cdot \frac{4}{5} = 12V$$

$$V_{GS1} = V_{TP} - \sqrt{\frac{2I_{D1}}{K_P}} = -2V$$



$$V_{S1} = V_{G1} - V_{GS1} = 12V - (-2V) = 14V$$

$$R_3 = \frac{V_{DD} - V_{S1}}{I_{D1}} = 0{,}5\ k\Omega$$

2) PUNTO DI LAVORO DEI TRANSISTORI

M1: $V_{D1} = R_4 I_{D1} = 10V$

$\Rightarrow V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = -4V < V_{GS} - V_{TN} = -1V$

OK M1 SAT!

M2: $V_{S2} = V_{D1} - V_{GS2}$

$$V_{GS2} = V_{TN2} - \sqrt{\frac{2I_{D2}}{K_{n2}}} = 2V$$

$\Rightarrow V_{S2} = 10V - 2V = 8V \quad \Rightarrow V_{DS2} = V_{DD} - V_{S2} = 7V > V_{GS2} - V_{TN} = 1V$

M3: $V_{DS3} = V_{GS3} = 2V > V_{GS3} - V_{TN} = 1V$ OK SAT

M4: $V_{DS4} = V_{S2} = 8V > V_{GS2} - V_{TN2} = 1V$ OK SAT

$M_1 (I_{D1} = 2mA,\ V_{DS1} = -4V)$

$M_2 (I_{D2} = 10mA,\ V_{DS2} = 7V)$

$M_3 (I_{D3} = 2mA,\ V_{DS3} = 2V)$

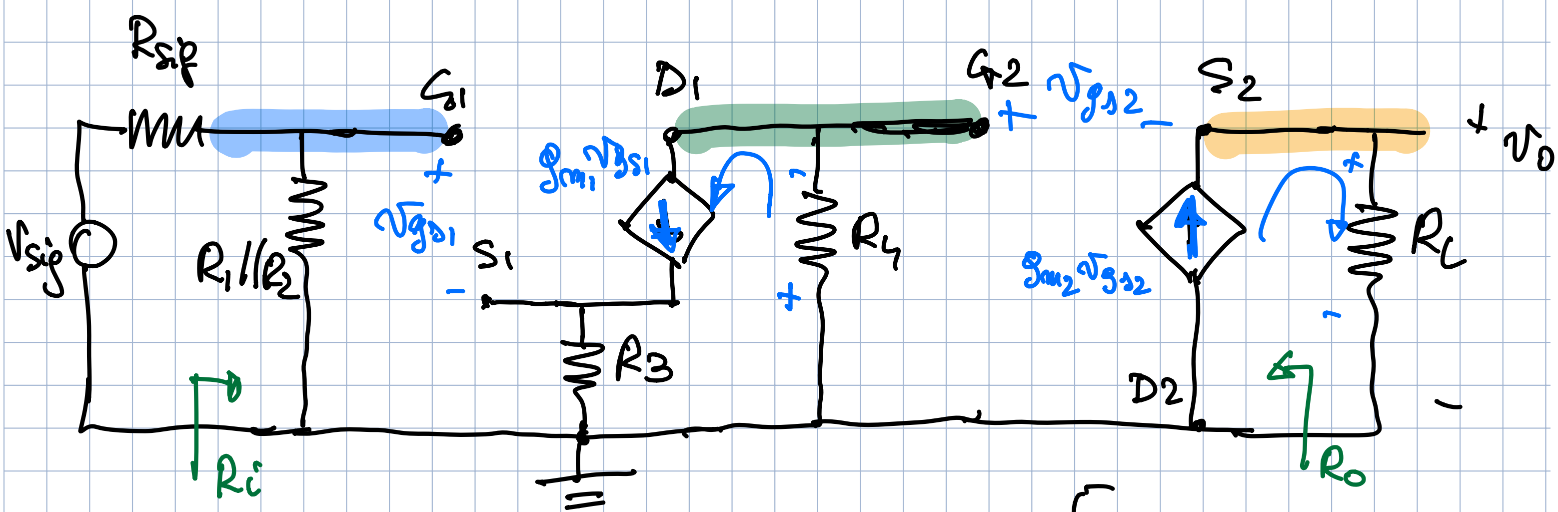
$M_4 (I_{D4} = 10mA,\ V_{DS4} = 8V)$

3) GUADAGNO DI TENSIONE:

$g_{m1} = \sqrt{2 I_{D1} K_{P1}} = 4\ mS \qquad r_{o1} = \infty$

$g_{m2} = \sqrt{2 I_{D2} K_{n2}} = 20\ mS \qquad r_{o2} = \infty$

$r_{o4} = \infty$



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

$$\begin{cases} v_o = v_{S2} \\ v_{G2} = v_{D1} \end{cases}$$

$$= \frac{v_{S2}}{v_{G2}} \cdot \frac{v_{D1}}{v_{G1}} \cdot \frac{v_{G1}}{v_{sig}} = A_{vt}^{CD} \cdot A_{vt}^{CS+RS} \cdot \frac{v_{G1}}{v_{sig}}$$

$$\frac{v_{G1}}{v_{sig}} = \frac{R_1//R_2}{R_{sig} + R_1//R_2} = 0{,}889$$

$$A_{vt}^{CS+RS} = \frac{v_{D1}}{v_{G1}} = -\frac{g_{m1}\cancel{v_{gs1}}R_4}{\cancel{v_{gs1}}(1+g_{m1}R_3)}$$

$$v_{G1} = v_{gs1} + g_{m1}v_{gs1}R_3 = v_{gs1}(1+g_{m1}R_3)$$

$$= -\frac{g_{m1}R_4}{1+g_{m1}R_3} = -6{,}667$$

$$A_{vt}^{CD} = \frac{v_{S2}}{v_{G2}} = \frac{g_{m2}\cancel{v_{gs2}}R_L}{\cancel{v_{gs2}}(1+g_{m2}R_L)}$$

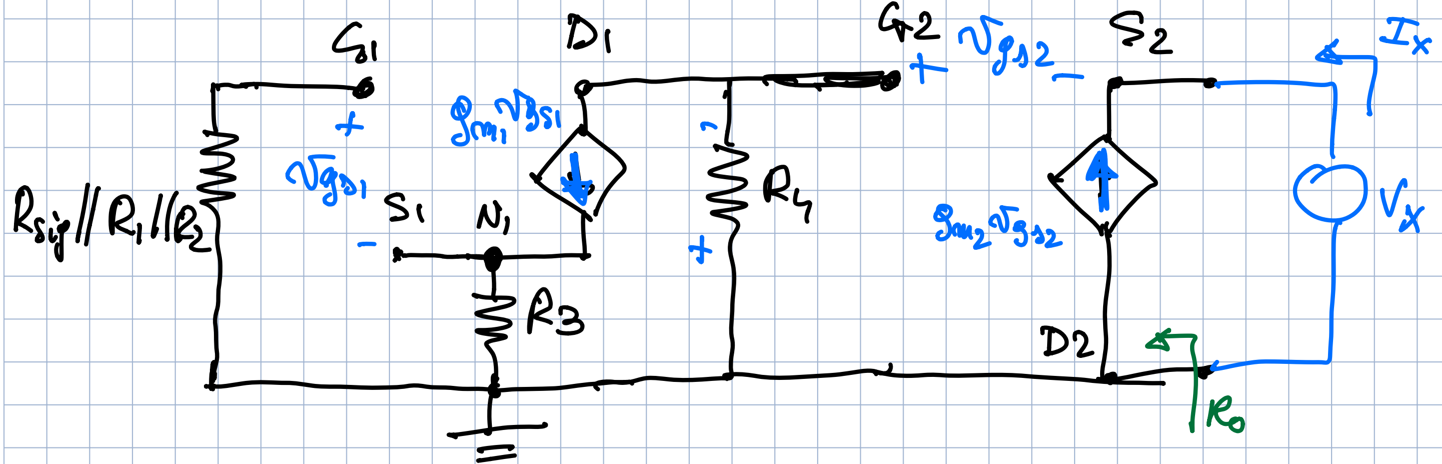
$$v_{G2} = v_{gs2} + g_{m2}v_{gs2}R_L = v_{gs2}(1+g_{m2}R_L)$$

$$= \frac{g_{m2}R_L}{1+g_{m2}R_L} = 0{,}8$$

$$\Rightarrow \boxed{A_v = -4{,}741}$$

$$R_i = R_1//R_2 = 80\ K\Omega$$

$$R_o = \frac{1}{g_{m2}} = 50\ \Omega$$



$$v_{G1}=0 \Rightarrow v_{gs1}=-v_{S1}$$

$$N_1:\quad g_{m1}v_{gs1}-\frac{v_{S1}}{R_3}=0 \Rightarrow v_{gs1}\left(g_{m1}+\frac{1}{R_3}\right)=0 \Rightarrow \underline{v_{gs1}=0}$$

$$\Rightarrow g_{m1}v_{gs1}=0 \Rightarrow v_{G2}=0$$

$$\Rightarrow v_{gs2}=-v_{S2}=-V_x$$

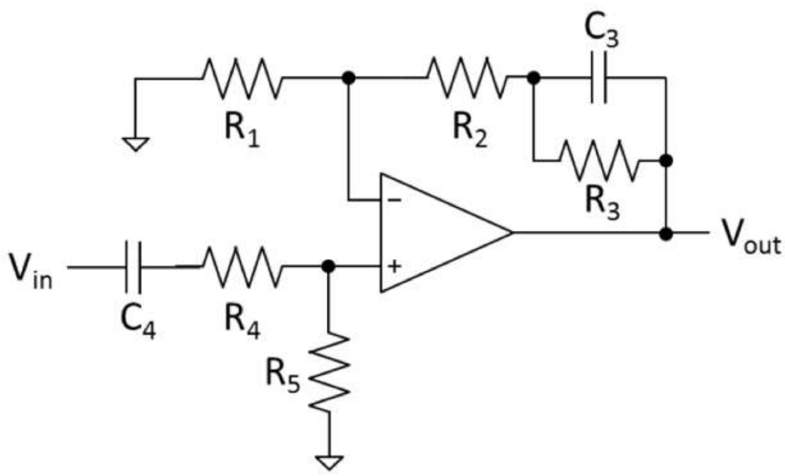
$$g_{m2}v_{gs2}=-I_x$$

$$\Rightarrow \boxed{R_o=\frac{V_x}{I_x}=\frac{1}{g_{m2}}}$$

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 $\omega=400$ rad/s.



DATI: $R_1=330\Omega$, $R_2=3k\Omega$, $R_3=30k\Omega$, $R_4=90k\Omega$, $R_5=10k\Omega$ $C_3=3.3nF$, $C_4=1\mu F$

$$Z_4=\frac{1}{sC_4}+R_4=\frac{1+sC_4R_4}{sC_4}$$

$$Z_2 = R_2 + \frac{\frac{1}{sC_3} \cdot R_3}{\frac{1}{sC_3} + R_3} = R_2 + \frac{R_3}{1 + sC_3R_3} = \frac{R_2 + R_3 + sC_3R_2R_3}{1 + sC_3R_3}$$

$$v_+ = V_{IN} \cdot \frac{R_5}{R_5 + Z_4} = \frac{R_5}{R_5 + \frac{1 + sC_4R_4}{sC_4}} = \frac{sC_4R_5}{1 + sC_4(R_4 + R_5)} V_{IN}$$

$$V_{OUT} = v_+ \left(1 + \frac{Z_2}{R_1}\right) = v_+ \left[1 + \frac{R_2 + R_3 + sC_3R_2R_3}{R_1(1 + sC_3R_3)}\right]$$

$$= v_+ \cdot \frac{R_1 + R_2 + R_3 + sC_3R_1R_3 + sC_3R_2R_3}{R_1(1 + sC_3R_3)}$$

$$= v_+ \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1} \cdot \frac{1 + sC_3 \frac{R_1R_3 + R_2R_3}{R_1 + R_2 + R_3}}{1 + sC_3R_3}$$

$$\underline{\underline{R_{EQ}}} = \underline{\cong 3\,k\Omega}$$

$$= \frac{sC_4R_5}{1 + sC_4(R_4 + R_5)} \cdot V_{IN} \cdot \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1} \cdot \frac{1 + sC_3R_{EQ}}{1 + sC_3R_3}$$

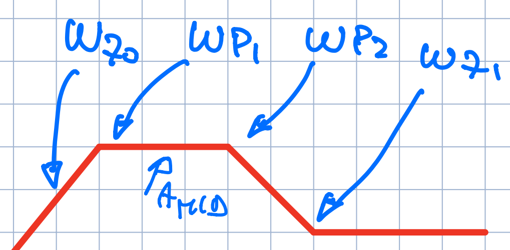
$$\Rightarrow \boxed{W(s) = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1} \cdot \frac{sC_4R_5(1 + sC_3R_{EQ})}{(1 + sC_3R_3)[1 + sC_4(R_4 + R_5)]}}$$

$$\omega_{z0} = \frac{1}{C_4R_5} = 10^2\ \text{rad/sec}$$

$$\omega_{z1} = \frac{1}{C_3R_{EQ}} = 1{,}01 \cdot 10^5\ \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

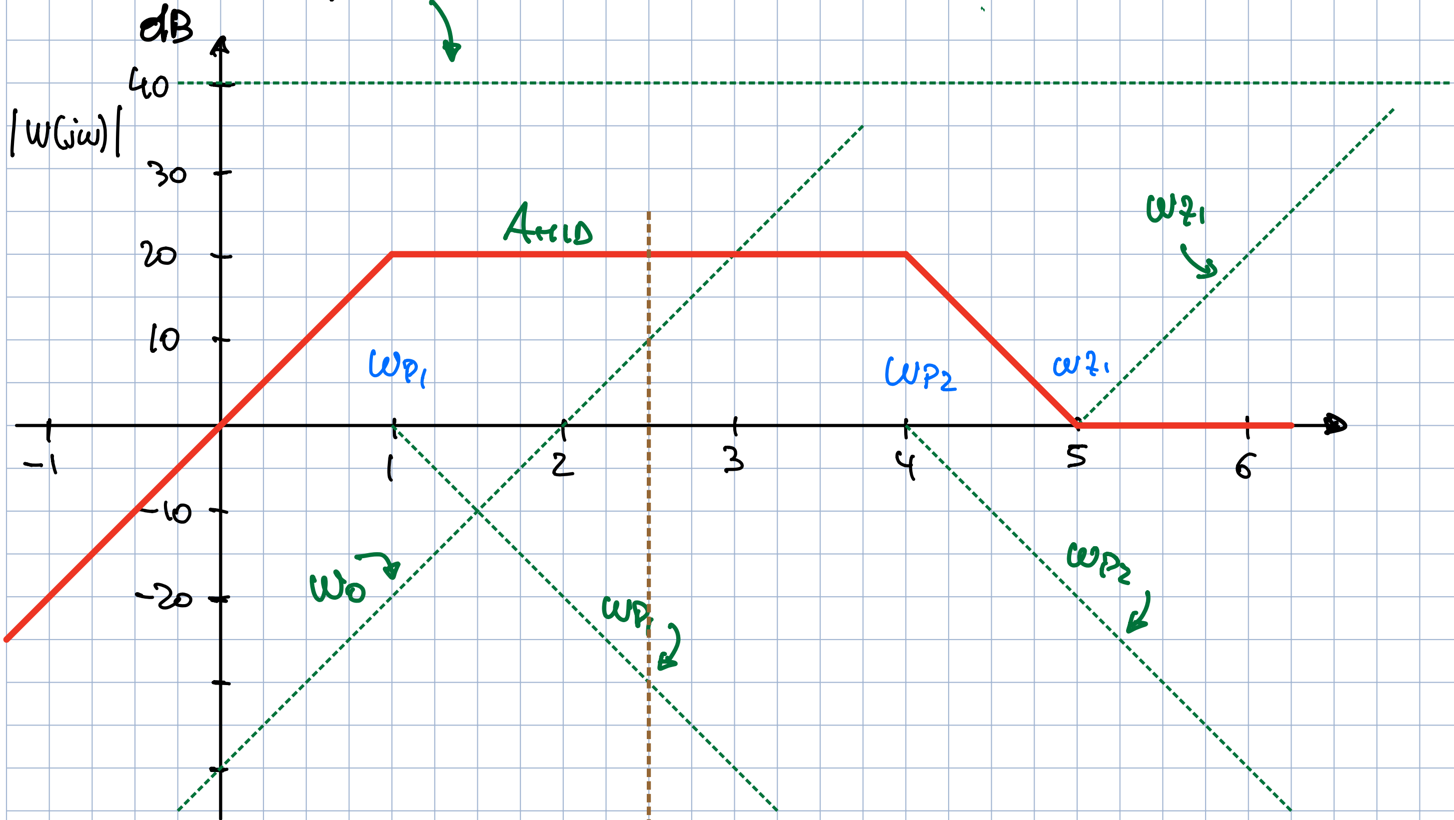
$$\omega_{P1} = \frac{1}{C_4(R_4 + R_5)} = 10\ \text{rad/sec}$$

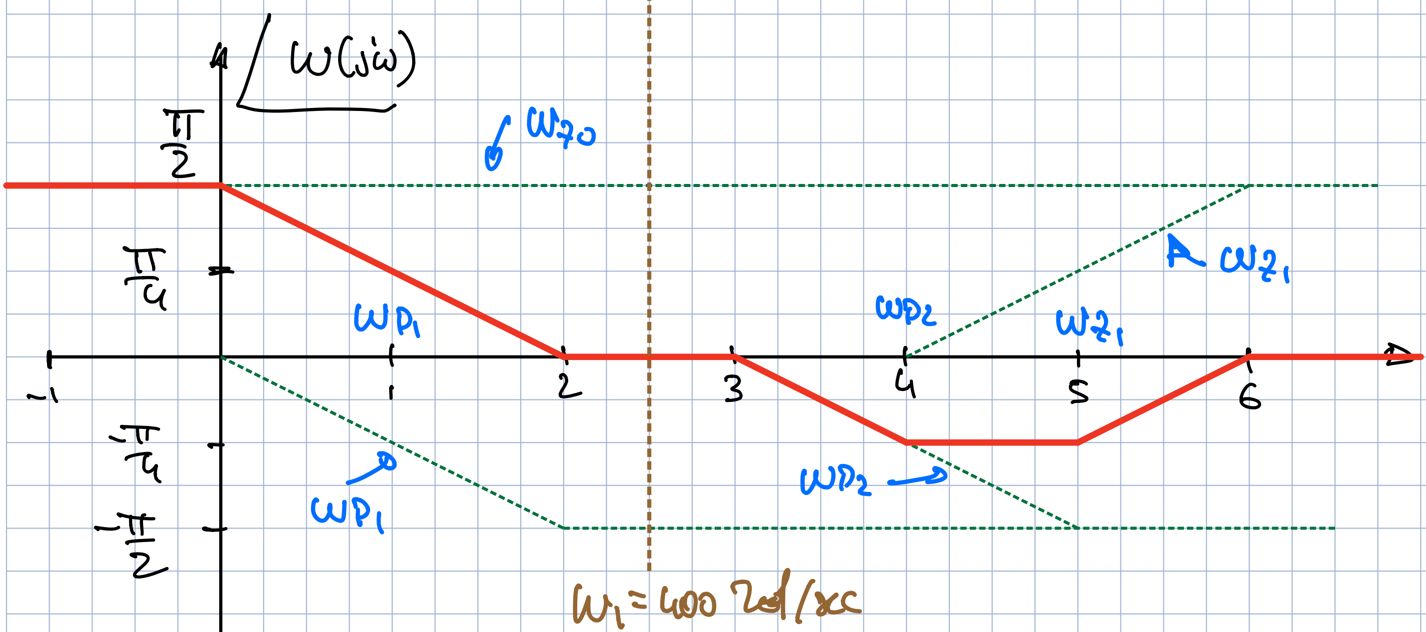
$$\omega_{P2} = \frac{1}{C_3R_3} = 1{,}01 \cdot 10^4\ \text{rad/sec}$$



$$\frac{R_1+R_2+R_3}{R_1} \simeq 100{,}1 \simeq 40\,dB$$

$$A_{MID} = \frac{R_1+R_2+R_3}{R_1}\cdot\frac{C_4 R_5}{C_2(R_4+R_5)} = 10{,}1 \simeq 20\,dB$$





$V_{in} = 0{,}1 \sin(\omega_1 t)$

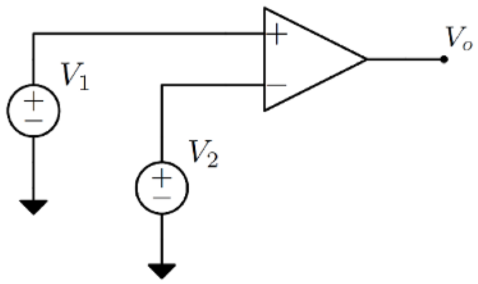
$$\boxed{V_o = 1 \sin(\omega_1 t)}$$

$|W(j\omega_1)| = 20\,dB = 10$

$\angle W(j\omega_1) = 0$

PROBLEMA Q1

L'amplificatore differenziale illustrato in figura ha un guadagno di modo differenziale pari ad $A_d = 100$ V/V e un guadagno di modo comune pari ad $A_c = 1$ V/V. Si calcoli il valore della tensione di uscita V_o, giustificando chiaramente la risposta.



Dati:

$A_d = 100$ V/V, $A_c = 1$ V/V

$V_1 = 2.05$ V, $V_2 = 1.95$ V

$$V_o = A_d \cdot v_{id} + A_c\, v_{iC}$$

$$v_{id} = V_1 - V_2 = 0{,}1\,V$$

$$v_{ic} = \frac{V_1 + V_2}{2} = 2V$$

$$\boxed{V_o = 100 \times 0{,}1V + 1 \times 2V = 12V}$$

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	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0.
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1

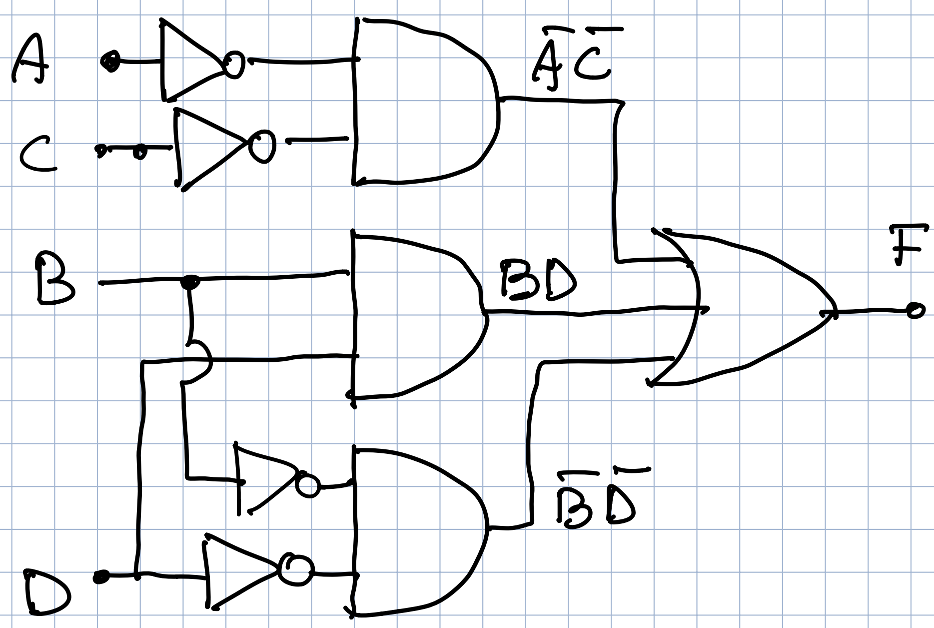
AB \ CD	00	01	11	10
00	1	1	0	1
01	1	1	1	0
11	0	1	1	0
10	1	0	0	1

$\bar{B}\bar{D}$

BD

$\bar{A}\bar{C}$

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



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