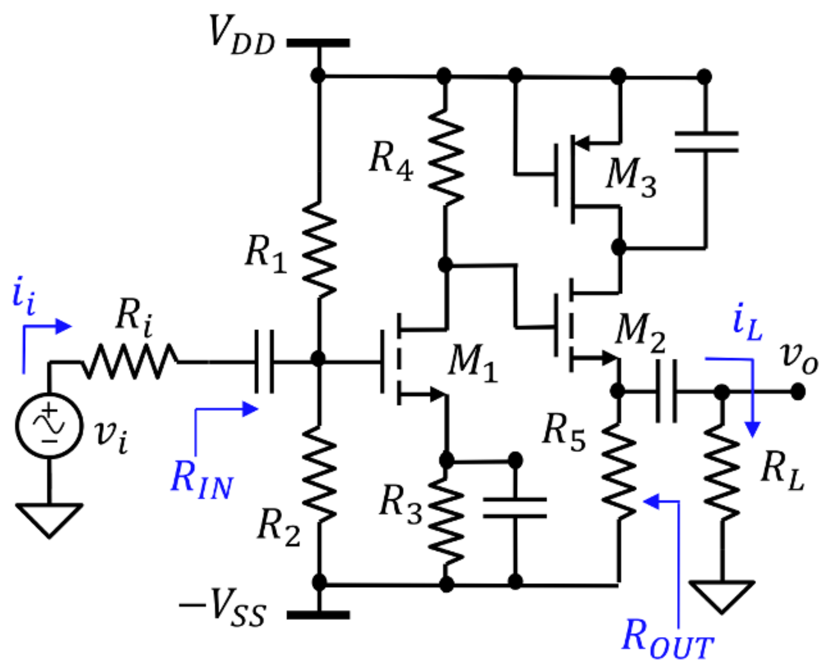
PROBLEMA P1

Dato il circuito riportato nella figura sottostante, determinare:

1) il valore della resistenza R_4;
2) il punto di lavoro dei transistor M_1, M_2, M_3 sapendo che $V_{DS2} = - V_{DS3}$
3) il guadagno di tensione ai piccoli segnali ac $A_v=v_o/v_i$
4) il guadagno di corrente ai piccoli segnali ac $A_i=i_L/i_i$
5) le resistenze di ingresso e uscita ai piccoli segnali ac R_{IN} e R_{OUT}.



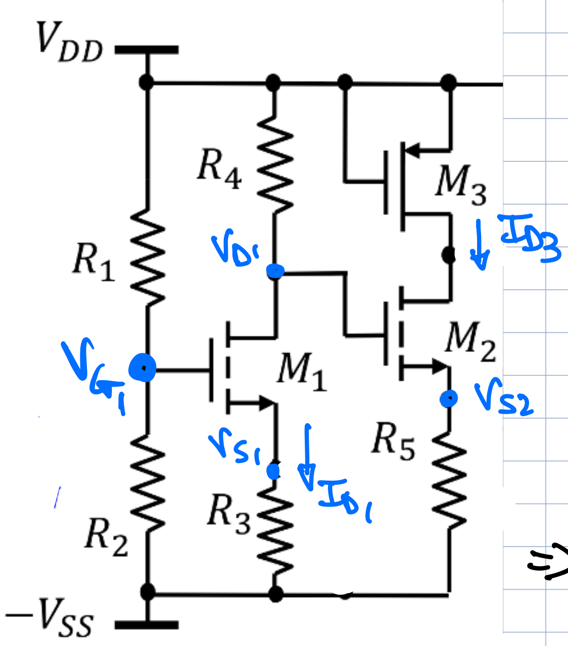
Dati:

$V_{DD}= V_{SS} =10$ V
R_1=150 kΩ,
R_2=250 kΩ,
R_3=2.0 kΩ,
R_5=1.0 kΩ,
R_L=1.0 kΩ,
R_i= 1.0 kΩ,

M_1: k_{n1}=10 mA/V², V_{TN1} = 2 V
M_2: k_{n2}=5 mA/V², V_{TN2} = 2 V
M_3: k_{p3}=5 mA/V², V_{TP3} = 2 V

$\lambda_p = \lambda_n$=0 V^{-1};

ANALISI IN DC



$$V_{G_1} = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} - V_{SS} \frac{R_1}{R_1+R_2} = 2,5\text{V}$$

$$\begin{cases} V_{G_1} = V_{GS_1} + R_3 I_{D_1} - V_{SS} \\ I_{D_1} = \frac{K_{n_1}}{2}\left(V_{GS_1} - V_{TN_1}\right)^2 \end{cases}$$

$$I_{D_1} = \frac{V_G - V_{GS_1} + V_{SS}}{R_3}$$

$$\Rightarrow \frac{2(V_{G_1}+V_{SS})}{R_3 K_{n_1}} - \frac{2V_{GS_1}}{R_3 K_{n_1}} = V_{GS_1}^2 + V_{TN_1}^2 - 2V_{GS} V_{TN_1}$$

$$\Rightarrow V_{GS_1}^2 + V_{GS_1}\left(\frac{2}{R_3 K_{n_1}} - 2V_{TN_1}\right) + V_{TN_1}^2 - \frac{2(V_{G_1}+V_{SS})}{R_3 K_{n_1}} = 0$$

$a = 1$ $\quad b = -3,9$ $\quad c = 2,75$

$$V_{GS1} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = 2,976\ V$$

(uso il "+" che dà unica soluzione valida)

$$\Rightarrow \quad I_{D1} = \frac{K_{n1}}{2}\left(V_{GS1} - V_{TN1}\right)^2 = 4,762\ mA$$

$$V_{GS3} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_{D3} = \frac{K_{P3}}{2}\left(V_{GS3} - V_{TP3}\right)^2 = 10\ mA$$

$$I_{D2} = I_{D3}$$

$$\Rightarrow \quad V_{GS2} = V_{TN2} + \sqrt{\frac{2 I_{D2}}{K_{n2}}} = 4V$$

$$\Rightarrow \quad V_{G2} = -V_{SS} + R_5 I_{D2} + V_{GS2}$$

$$= -10V + 10V + 4V = 4V$$

$$V_{D1} = V_{G2} = 4V \quad \Rightarrow \quad R_4 = \frac{V_{DD} - V_{D1}}{I_{D1}} = 1,26\ K\Omega$$

$$V_{S1} = -V_{SS} + R_3 I_{D1} = -0,476\ V$$

$$\Rightarrow \quad V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = 4,476V > V_{GS1} - V_{TN2} = 0,976V$$

OK M1 SATURAZ.

$$\begin{cases} V_{DD} = -V_{DS3} + V_{DS2} + R_5 I_{D2} - V_{SS} \\ V_{DS2} = -V_{DS3} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad V_{DS2} = \frac{V_{DD} + V_{SS} - R_5 I_{D2}}{2} = \frac{20V - 10V}{2} = 5V$$

$$V_{DS2} > V_{GS2} - V_{TN2} = 2V$$

OK M2 SATURAZIONE

$$V_{DS3} = -V_{DS2} = -5V < V_{GS3} - V_{TP3} = -2V$$

OK M3 IN SATURAZ.

$$\boxed{\begin{array}{ll} I_{D1} = 4,762\ mA, & V_{DS1} = 4,476V \\ I_{D2} = 10\ mA, & V_{DS2} = 5V \\ I_{D3} = 10\ mA, & V_{DS3} = -5V \end{array}}$$

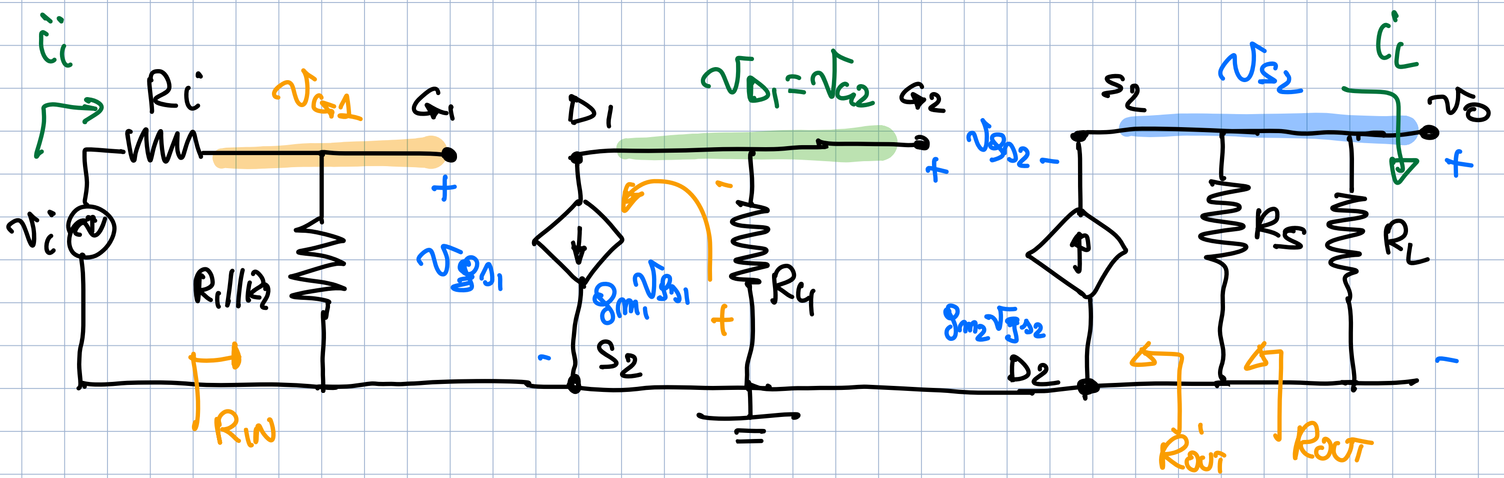
CALCOLO PARAMETRI AL PICCOLO SEGNALE

$$g_{m1} = \frac{2 I_{D1}}{V_{GS1}-V_{TN1}} = 9{,}76\ mS \qquad r_{o1} = \infty$$

$$g_{m2} = \frac{2 I_{D2}}{V_{GS2}-V_{TN2}} = 10\ mS \qquad r_{o2} = \infty$$

R_3 VIENE BYPASSATO DAL CONDENSATORE, QUINDI NON HA EFFETTO IN AC

ANALISI AL PICCOLO SEGNALE



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_{S2}}{v_{D1}} \cdot \frac{v_{D1}}{v_{G1}} \cdot \frac{v_{G1}}{v_i} = \overset{CD}{A_{vt}} \cdot \overset{CS}{A_{vt}} \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{R_1 // R_2}{R_i + R_1 // R_2} = 0{,}989$$

$$\frac{v_{D1}}{v_{G1}} = \frac{-g_{m1} v_{gs1} \cdot R_4}{v_{gs1}} = -g_{m1} R_4 = -12{,}296$$

$$\frac{v_{S2}}{v_{G2}} = \frac{g_{m2} \cancel{v_{gs2}} R_S // R_L}{\cancel{v_{gs2}} + g_{m2} \cancel{v_{gs2}} R_S // R_L} = 0{,}833$$

$$\Rightarrow A_v = -10{,}14$$

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{v_o / R_L}{v_i / (R_i + R_1 // R_2)} = A_v \cdot \frac{R_i + R_1 // R_2}{R_L} = -960{,}6$$

OPPURE:

$$i_L = g_{m2} v_{gs2} \cdot \frac{R_S}{R_S + R_L}$$

$$v_{G2} = v_{gs2} + g_{m2} v_{gs2} R_S // R_L \Rightarrow v_{gs2} = \frac{v_{G2}}{1 + g_{m2} R_S // R_L}$$

$$v_{G2} = - g_{m1} v_{gs1} R_4$$

$$v_{gs1} = i_i R_1 // R_2$$

$$i_L = g_{m2} \frac{R_S}{R_S + R_L} \cdot \frac{1}{1 + g_{m2} R_S // R_L} \cdot - g_{m1} R_4 \cdot i_i R_1 // R_2$$

$$\Rightarrow A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{g_{m2}}{1 + g_{m2} R_S // R_L} \cdot (- g_{m1} R_4) \cdot \frac{R_S}{R_S + R_L} \cdot R_1 // R_2 = -360,6$$

RESISTENZE DI INGRESSO E USCITA

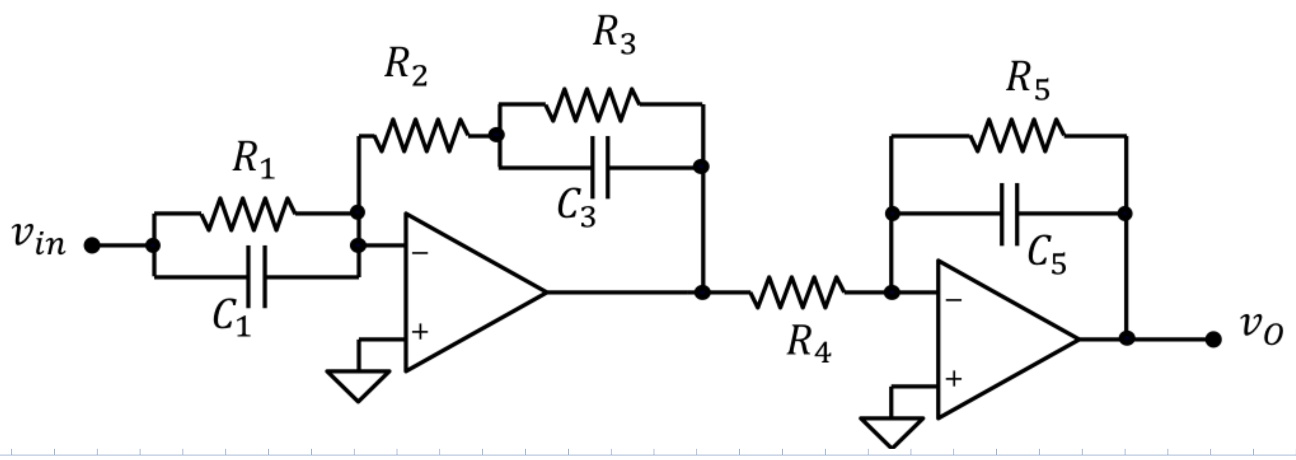
$$R_{IN} = R_1 // R_2 = 93,75 \text{ k}\Omega$$

$$R_{OUT} = R_S // R'_{OUT} = 90,91 \, \Omega \qquad R'_{OUT} = \frac{1}{g_{m2}} = 100 \, \Omega$$

(VEDI CALCOLI FATTI A LEZIONE)

PROBLEMA P2

Sia dato il circuito in figura che usa un amplificatore operazionale ideale. **Dati:** $R_1 = 1$ kΩ, $R_2 = 50$ Ω, $R_3 = 5$ kΩ, $R_4 = 5.55$ kΩ, $R_5 = 1.1$ kΩ, $C_1 = 100\mu F$, $C_3 = 20nF$, $C_5 = 0.9\ \mu F$.



1) ricavare l'espressione della funzione di trasferimento $W(s)=v_o(s)/v_{in}(s)$;
2) tracciare il diagramma di Bode asintotico dell'ampiezza e della fase di $W(s)$, (per la fase non usare l'approssimazione a gradino).
3) Calcolare $v_o(t)$ sapendo che $v_s = 2V + 1V*\sin(\omega_o t)$ con $\omega_o = 100$ rad/s.

SOLUZIONE

$$Z_1 = \frac{R_1 \cdot \frac{1}{sC_1}}{R_1 + \frac{1}{sC_1}} = \frac{R_1}{1+sC_1R_1}$$

$$Z_{23} = R_2 + \frac{R_3}{1+sC_3R_3} = (R_2+R_3)\frac{\left(1+sC_3 R_2/\!/R_3\right)}{1+sC_3R_3}$$

$$Z_5 = \frac{R_5}{1+sC_5R_5}$$

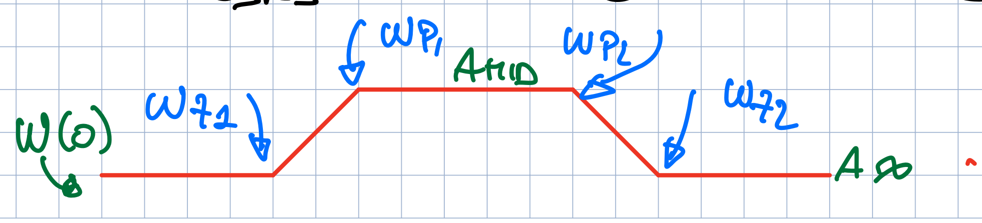
$$\Rightarrow v_{o1} = -\frac{Z_{23}}{Z_1} = \frac{R_2+R_3}{R_1} \cdot \frac{(1+sC_1R_1)(1+sC_3R_2/\!/R_3)}{1+sC_3R_3} v_{in}$$

$$v_o = v_{o1} \cdot \frac{R_5}{R_4} \cdot \frac{1}{1+sC_5R_5}$$

$$\Rightarrow W(s) = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{R_2+R_3}{R_1} \cdot \frac{R_5}{R_4} \frac{(1+sC_1R_1)(1+sC_3R_2/\!/R_3)}{(1+sC_3R_3)(1+sC_5R_5)}$$

$$\omega_{z_1} = \frac{1}{C_1R_1} = 10 \text{ rad/sec} \qquad \omega_{z_2} = \frac{1}{C_3R_2/\!/R_3} = 1{,}01 \cdot 10^6 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

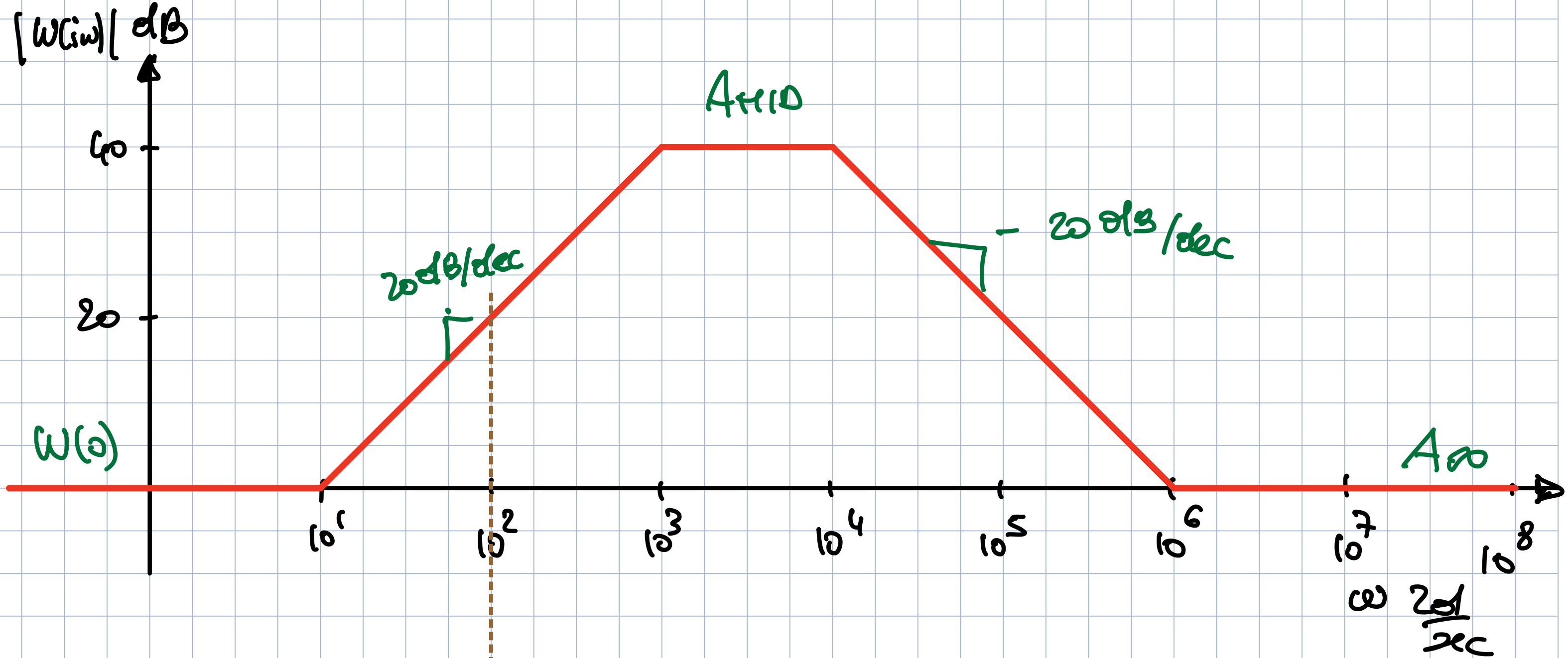
$$\omega_{p_1} = \frac{1}{C_5R_5} = 1{,}01 \cdot 10^3 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \qquad \omega_{p_2} = \frac{1}{C_3R_3} = 10^4 \text{ rad/sec}$$

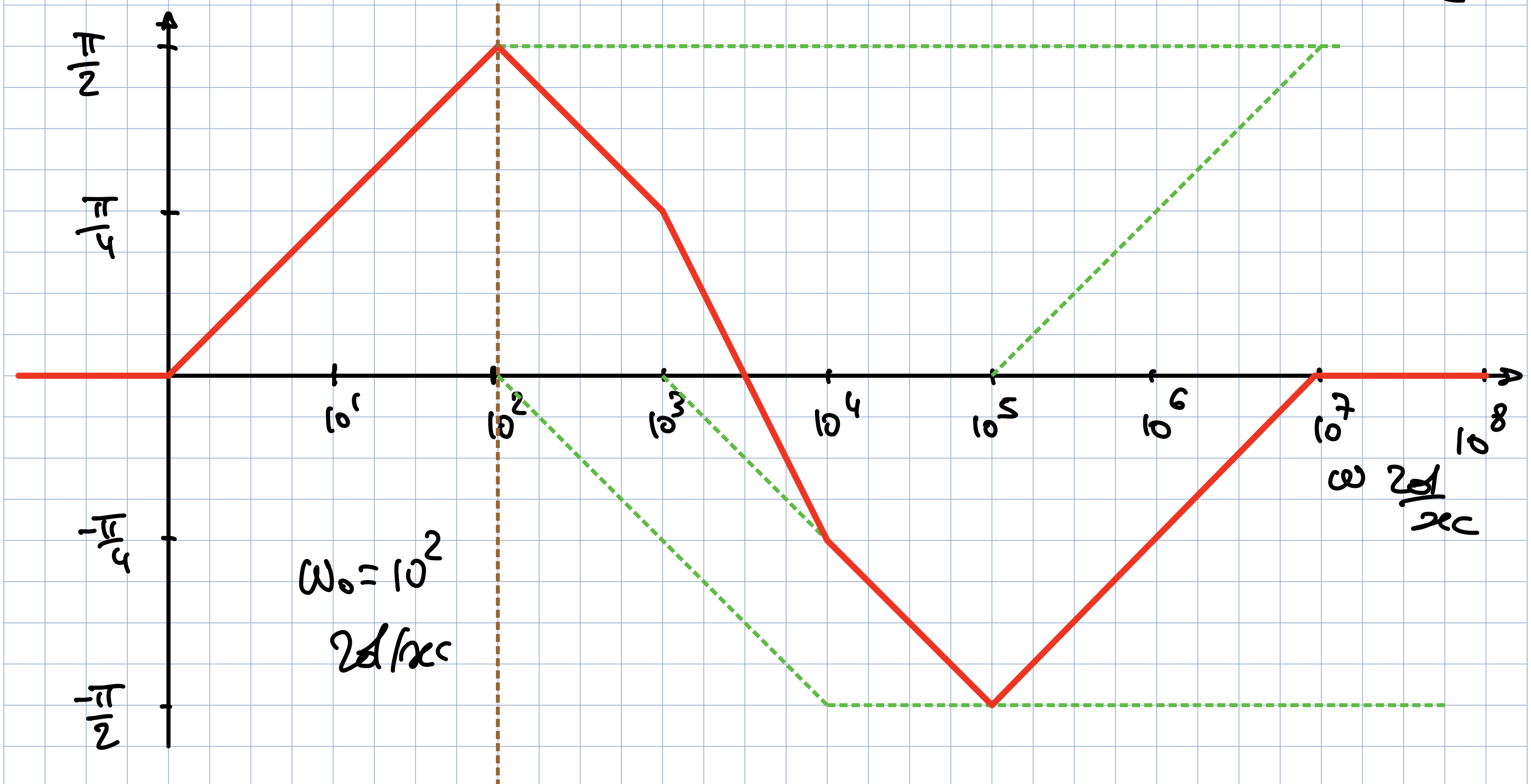


$$W(0) = \frac{R_2+R_3}{R_1}\cdot\frac{R_5}{R_4} = 1 = 0\,dB$$

$$A_{MID} = \frac{R_2+R_3}{\cancel{R_1}}\cdot\frac{\cancel{R_5}}{R_4}\cdot\frac{\cancel{R_1}C_1}{\cancel{R_5}C_5} = \frac{R_2+R_3}{R_4}\cdot\frac{C_1}{C_5} = 1{,}01\cdot 10^2\ \text{rad/sec} \simeq 40\,dB$$

$$A_\infty = \frac{\cancel{R_2+R_3}}{R_4}\cdot\frac{C_1}{C_5}\cdot\frac{R_2\cdot\cancel{R_3}}{\cancel{R_2+R_3}}\cdot\frac{1}{\cancel{R_3}} = \frac{R_2}{R_4}\cdot\frac{C_1}{C_5} = 1 = 0\,dB$$





$$|W(i\omega_0)| = 20\,dB = 10 \qquad \angle W(i\omega_0) = \frac{\pi}{2}$$

$$v_s = 2V + 1V \sin(\omega_0 t)$$

$$v_o = 2V \cdot W(0) + 1V \cdot |W(j\omega_0)| \sin\left(\omega_0 t + \angle W(j\omega_0)\right)$$

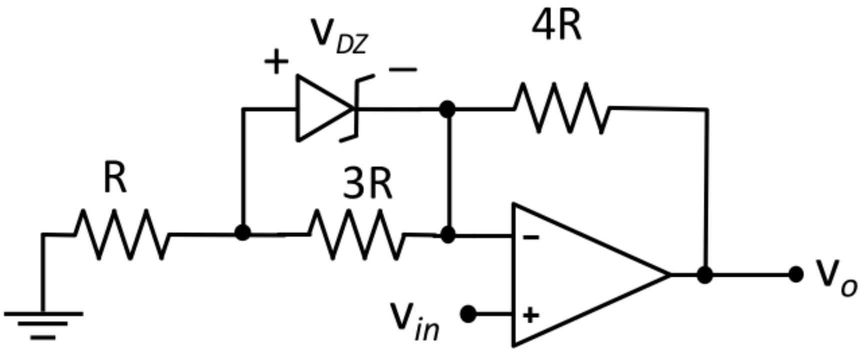
$$= 2V + 10V \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right)$$

PROBLEMA Q1

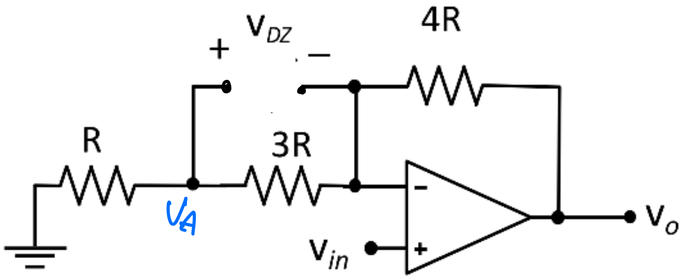
L'amplificatore in figura è realizzato con un amplificatore operazionale ideale e un diodo Zener ideale. Determinare:

1) i valori della tensione di ingresso per la quale il diodo è ON, OFF e in Breakdown.
2) v_o quando v_s = - 2 V.
3) (*facoltativo*) la transcaratteristica del circuito.

Dati: R = 1 kΩ, V_{ON} = 0, V_Z = 6V



1) Hp D_Z = OFF



$$V_A = V_{in} \cdot \frac{R}{R+3R} = \frac{V_{IN}}{4}$$

$$V_{DZ} = V_A - V_{IN} = \frac{V_{IN}}{4} - V_{IN} = -\frac{3}{4}V_{IN}$$

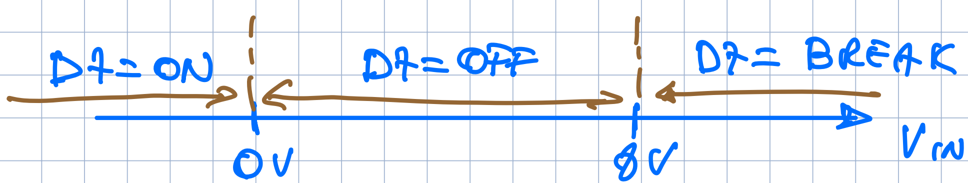
D_Z = "ON" con $V_{DZ} > 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow -\frac{3}{4}V_{IN} > 0 \Rightarrow V_{IN} < 0$$

D_Z = "BREAK" con $V_{DZ} < -V_Z$

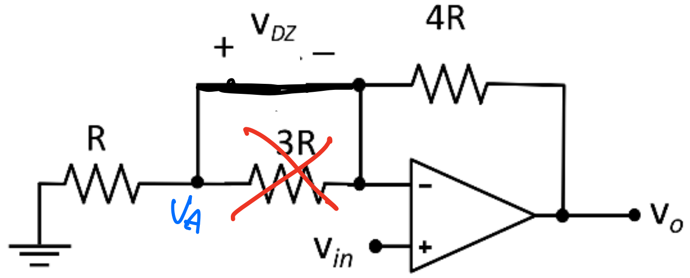
$$\Rightarrow -\frac{3}{4}V_{IN} < -V_Z \Rightarrow V_{IN} > \frac{4}{3}V_Z = 8V$$

D_Z = "OFF" con $0 \le V_{IN} \le 8V$



2) $V_{IN} = -2V \Rightarrow DZ = \text{"ON"}$

$V_O = V_{IN} \cdot \left(1 + \frac{4R}{R}\right) = 5 V_{IN} = -10V$



3) FACOLTATIVO

A) CON $V_{IN} < 0$ $DZ = \text{"ON"} \Rightarrow V_O = 5 V_{IN}$ $m = 5$, $q = 0$

B) CON $0 \leq V_{IN} \leq 8V$ $DZ = \text{"OFF"}$

VEDI DISEGNO DEL PUNTO 1

$V_O = V_{IN} \left(1 + \frac{4R}{4R}\right) = 2 V_{IN}$ $m = 2$, $q = 0$

C) <u>CON $V_{IN} > 8V$ $DZ = \text{BREAK}$</u>

SOVRAPP. EFFETTI

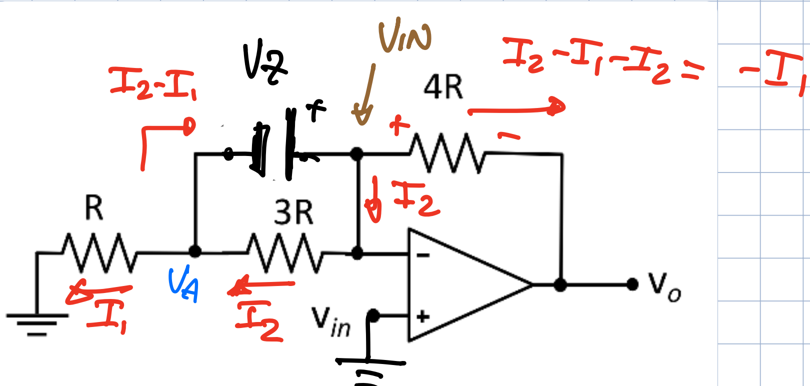
$V_{IN} \neq 0$ e $V_Z = 0 \Rightarrow V_O' = 5 V_{IN}$ (VEDI $DZ = \text{"ON"}$)

$V_{IN} = 0$ e $V_Z \neq 0 \rightarrow$

$V_A = -V_Z$

$I_1 = -\frac{V_Z}{R}$

$I_2 = \frac{V_Z}{3R}$



$V_O'' = -(-I_1 \cdot 4R) = I_1 \cdot 4R = -\frac{V_Z}{R} \cdot 4R = -6V \cdot 4 = -24V$

$\Rightarrow$ CON DZ = BREAK

$$\boxed{v_O = 5\,V_{IN} - 24\,V}$$

$m = 5$

$q = -24$

RACCORDO in $V_S = 0V$

$v_O^- = 5V_{IN} = 0$

$v_O^+ = 2V_{IN} = 0$

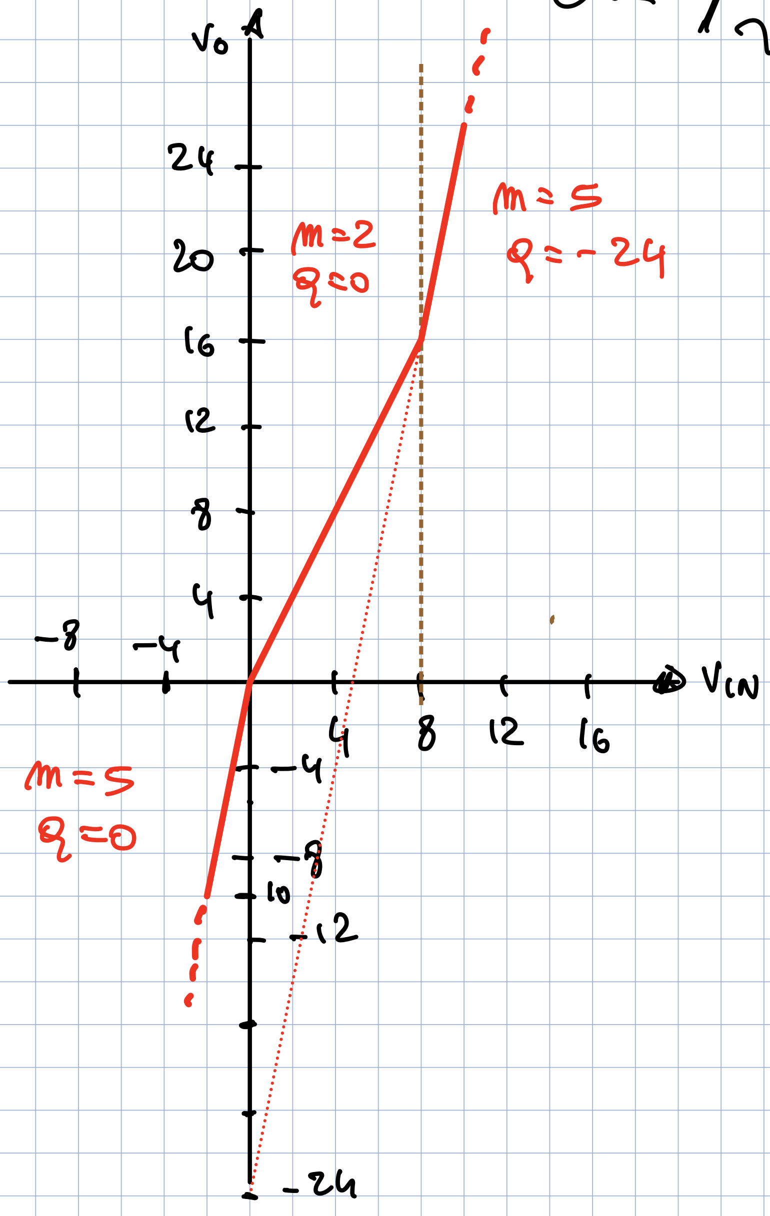
OK

RACCORDO IN $V_S = 8V$

$v_O^- = 2V_{IN} = 16V$

$v_O^+ = 5V_{IN} - 24 = 40V - 24V = 16V$

OK

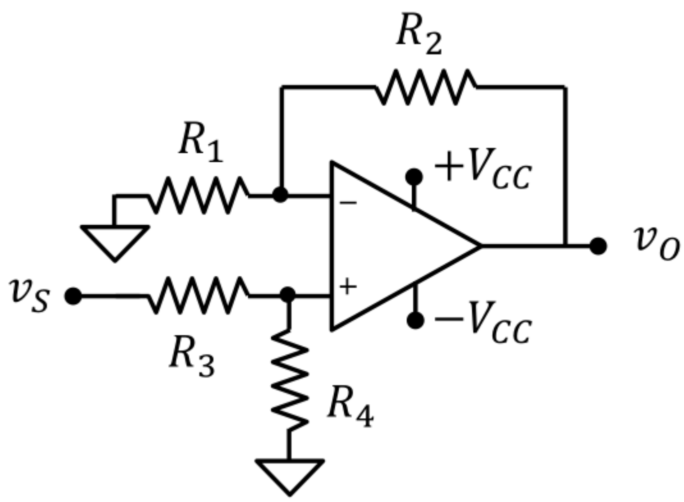


PROBLEMA Q2

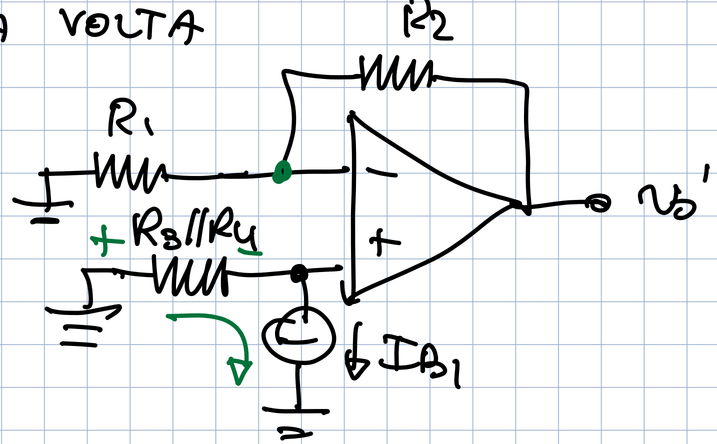
Il circuito di figura impiega un AO quasi ideale con correnti di polarizzazione pari a I_{B1}=120nA (morsetto non invertente), I_{B2}=80nA (morsetto invertente).

1) Calcolare v_o considerando l'effetto delle sole correnti di polarizzazione (v_s=0).
2) Trovare il valore di R_4 che annulli l'effetto delle correnti di BIAS.

Dati: R_1 = 10 kΩ, R_2 = 40 kΩ, R_3 = 10 kΩ, R_4 = 40 kΩ, V_{CC} = 10V.



PER VALUTARE L'EFFETTO DI I_{B1} e I_{B2} ANNULLO v_S e ATTIVO LE I_B UNA ALLA VOLTA

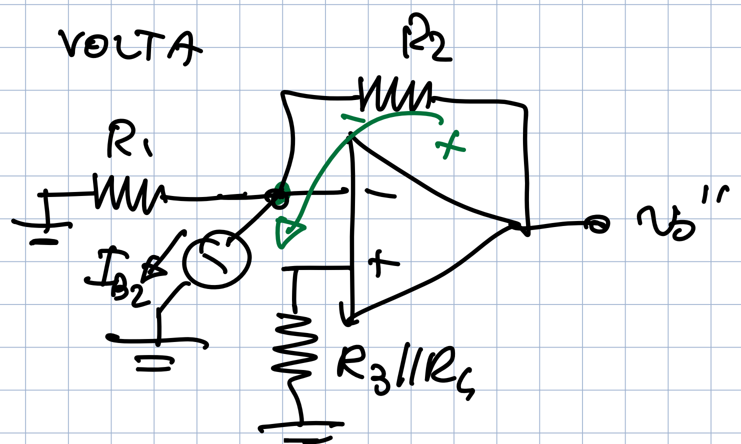


• EFFETTO DI I_{B1}

$$v_+ = -I_{B1} R_3//R_4$$

$$\Rightarrow v_o' = -I_{B1} R_3//R_4 \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

VOLTA



• EFFETTO DI I_{B2}

$$v_+ = v_- = 0$$

$$\Rightarrow I_{R_1} = 0$$

=

$$v_o'' = R_2 I_{B2}$$

$$\Rightarrow v_o = v_o' + v_o'' = R_2 I_{B2} - I_{B1} R_3//R_4 \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

= 3,2 mA   − 4,8 mA

= − 1,6 mA

PER ANNULLARE EFFETTO I_{B1} e I_{B2} BASTA CHE

$$R_2 I_{B2} = I_{B1}\, R_3 // R_4 \left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\Rightarrow R_3 // R_4 = \frac{I_{B2}}{I_{B1}} \cdot \frac{R_2 \cdot R_1}{R_1+R_2} = 5,333\ K\Omega = \frac{R_3 R_4}{R_3+R_4}$$

$$\Rightarrow R_{4new} = \frac{5.333\ K\Omega \cdot R_3}{R_3 - 5.333\ K\Omega} = 11,43\ K\Omega$$

PROBLEMA Q3

Data la seguente mappa di Karnaugh

1) Trovare una F minimizzata
2) Disegnare la rete logica minimizzata tramite porte logiche fondamentali.

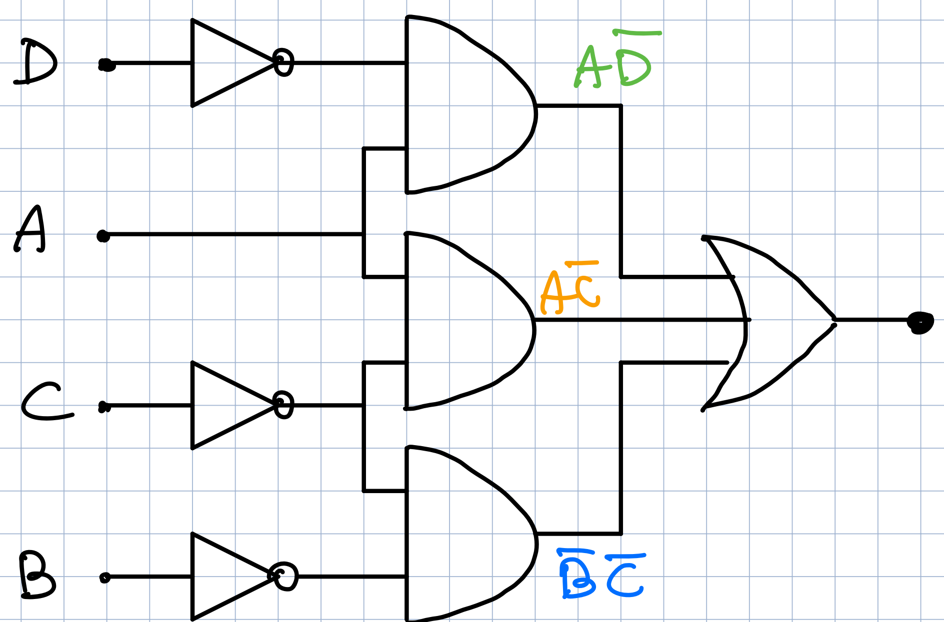
AB \ CD	00	01	11	10
00	1	X	X	0
01	0	0	0	0
11	X	1	0	1
10	1	X	X	1

$A\bar{D}$ $\bar{B}\bar{C}$ $A\bar{C}$

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

$$= A(\bar{C}+\bar{D}) + \bar{B}\bar{C}$$

$$= \bar{C}(A+\bar{B}) + A\bar{D}$$



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