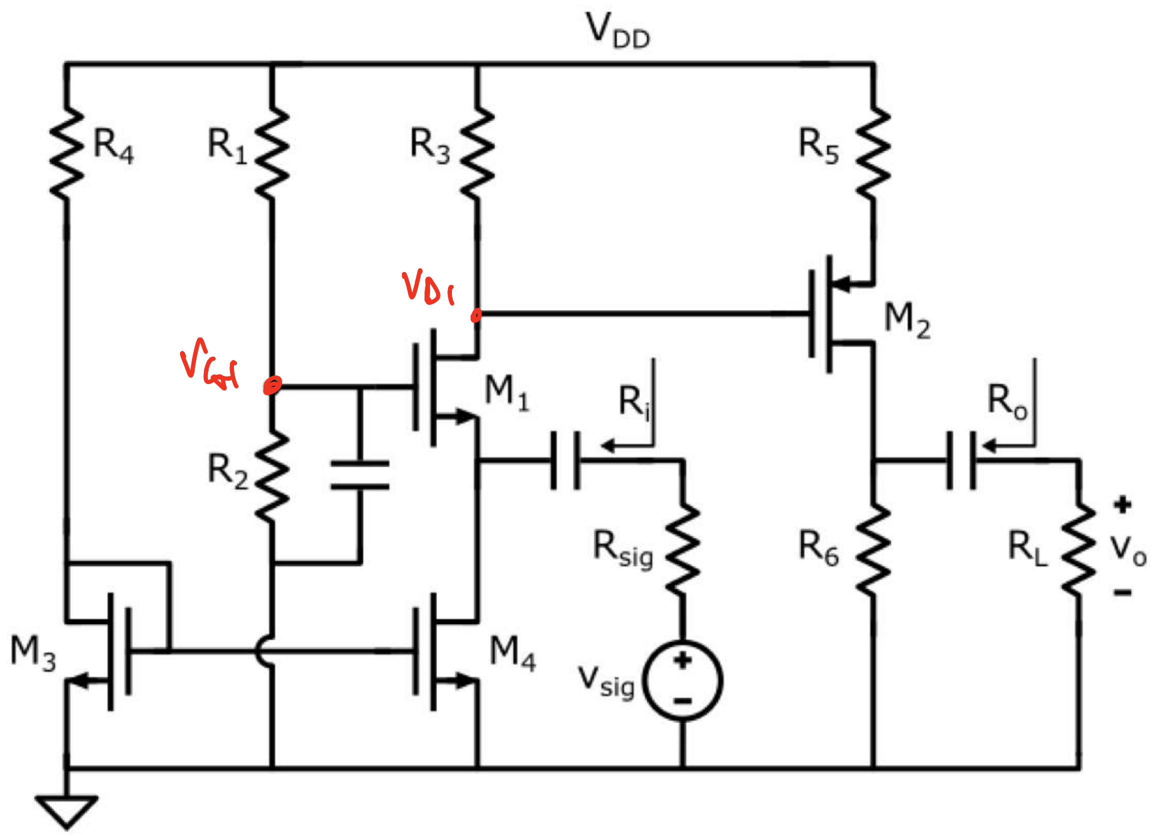
TEMA TIPO 1 - SOLUZIONE

PROBLEMA P1

Dato il circuito riportato nella figura sottostante, determinare:

1) il valore delle resistenze R_4 e R_5 in modo che le correnti di drain di M_1 e M_2 valgano rispettivamente $I_{D1} = 1$ mA e $I_{D2} = 5$ 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=400 kΩ, R_2=200 kΩ, R_3=5 kΩ, R_6=1.5 kΩ, R_L=6 kΩ, R_{sig}=500 Ω, $M_{1,3,4}$: k_n=2 mA/V^2, V_{tn}=1 V, λ_n=0 V^{-1}, M_2: k_p=10 mA/V^2, V_{tp}=-1 V, λ_p=0 V^{-1}



POLARIZZAZIONE

$$I_{D1} = 1\,mA \Rightarrow I_{D4} = 1\,mA$$

$$I_{D3} = I_{D4} \cdot \frac{K_{n3}}{K_{n4}} = I_{D4} = 1\,mA$$

$$V_{GS3} = V_{tN3} + \sqrt{\frac{2 I_{D3}}{K_{n3}}} = 2V$$

$$-V_{DD} + R_4 I_{D3} + V_{GS} = 0$$

$$\Rightarrow \quad R_4 = \frac{V_{DD} - V_{GS3}}{I_{D3}} = 13\ k\Omega$$

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

$$V_{D1} = V_{DD} - R_3 I_{D1} = 10V$$

$$V_{GS1} = V_{TN1} + \sqrt{\frac{2 I_{D1}}{K_{n1}}} = 2V$$

$$\Rightarrow \quad V_{S1} = V_{G1} - V_{GS1} = 3V$$

$$\Rightarrow \quad V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = 7V > V_{GS1} - V_{TN1} \quad \text{OK SAT}$$

$$V_{DS4} = V_{S1} = 3V > V_{GS4} - V_{TN4} \quad \text{OK SAT}$$

$$V_{DS3} = V_{GS3} = 2V > V_{GS3} - V_{TN3} \quad \text{OK SAT}$$

$$V_{GS2} = V_{TN2} - \sqrt{\frac{2 I_{D2}}{K_{P2}}} = -2V$$

$$V_{S2} = V_{D1} - V_{GS2} = 12V$$

$$\Rightarrow \quad R_5 = \frac{V_{DD} - V_{S2}}{I_{D2}} = 600\ \Omega$$

$$V_{D2} = I_{D2} R_6 = 7{,}5V$$

$$\Rightarrow \quad V_{DS2} = -4{,}5V < V_{GS2} - V_{TP2} = -1V$$

M_1 ($I_{D1} = 1mA$, $V_{DS1} = 7V$)

M_2 ($I_{D2} = 5mA$, $V_{DS2} = -4{,}5V$)

M_3 ($I_{D3} = 1mA$, $V_{DS3} = 2V$)

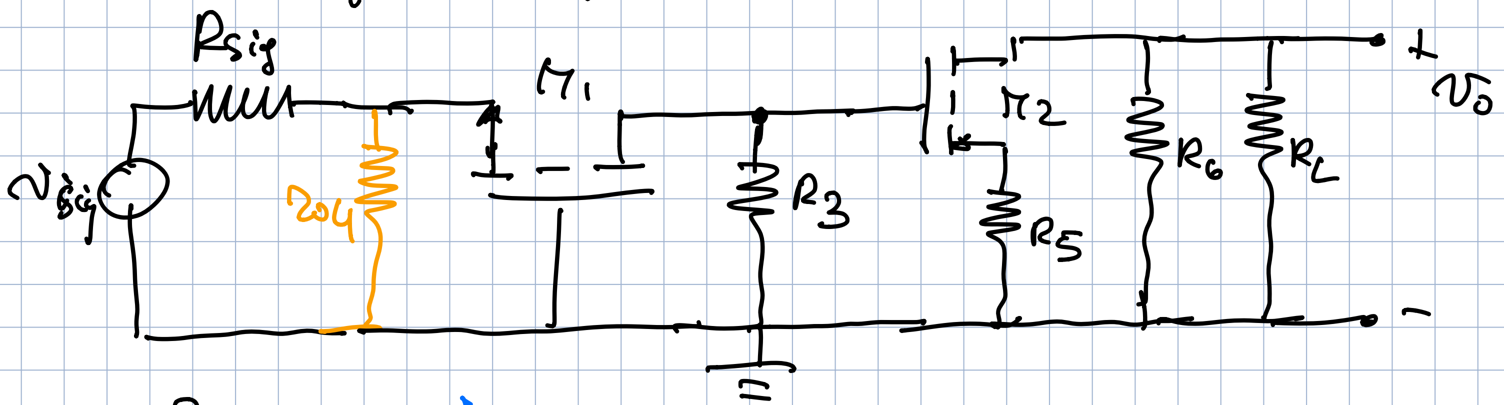
M_4 ($I_{D4} = 1mA$, $V_{DS4} = 3V$)

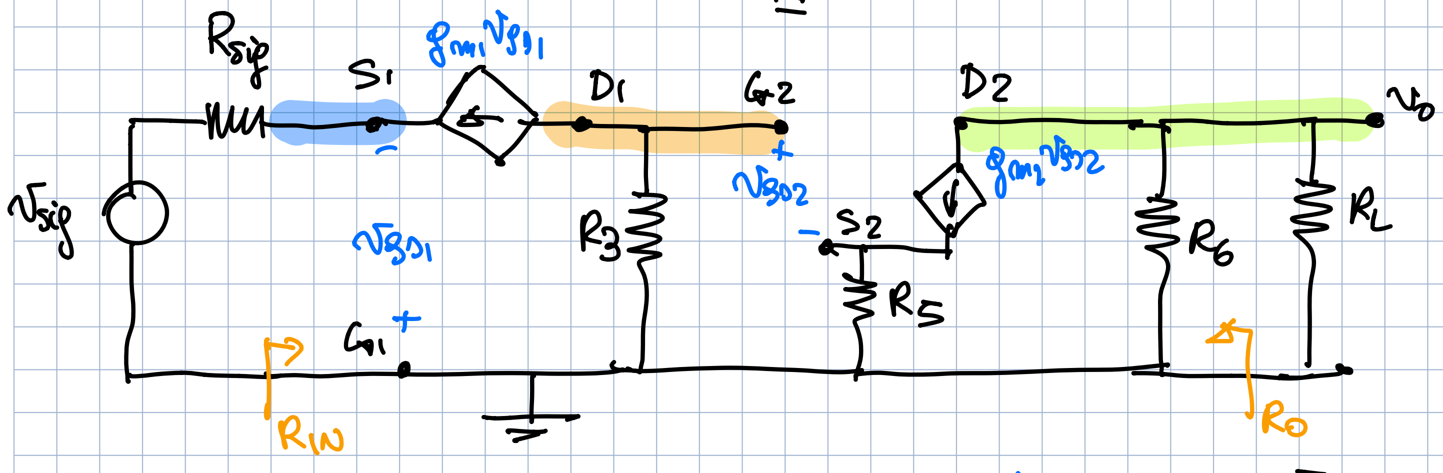
ANALISI AC PICCOLO SEGNALE

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

$$g_{m2} = \frac{2 I_{D2}}{|V_{GS2} - V_{TP2}|} = 10 \text{ mS} \qquad r_{o2} = \infty$$

$\boxed{r_{o4} = \infty}$



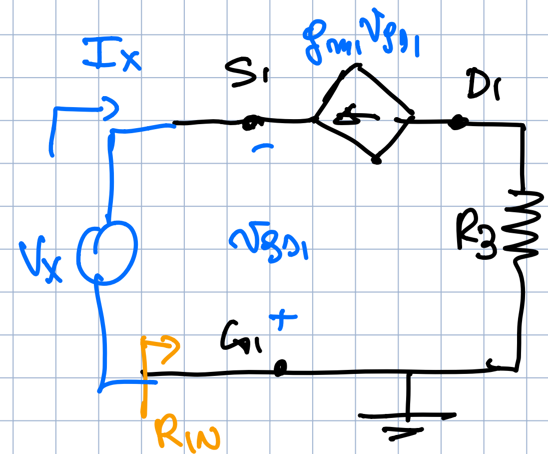


$R_{IN} = ?$

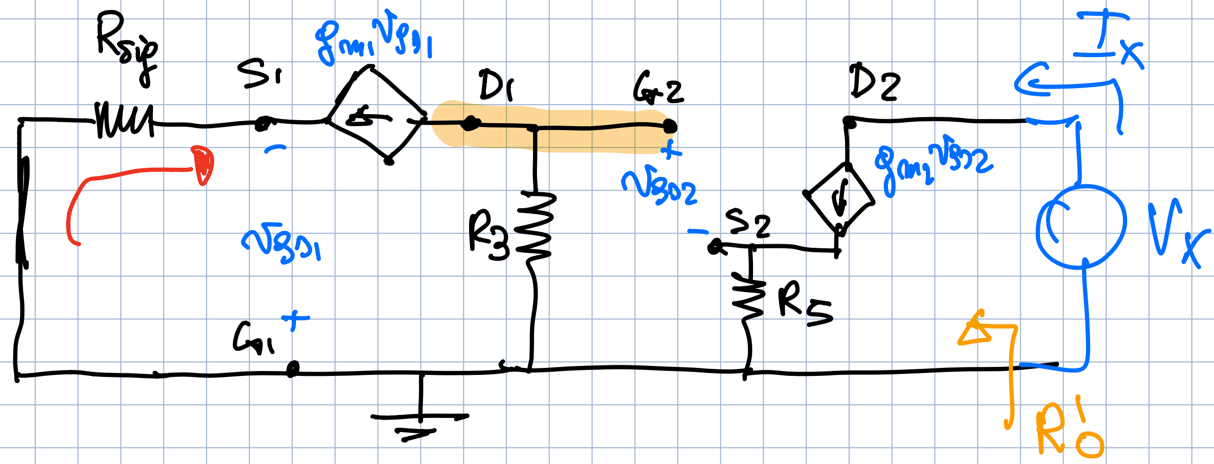
$I_x + g_{m1} v_{gs1} = 0$

$V_x = -v_{gs1}$

$$\boxed{R_{IN} = \frac{V_x}{I_x} = \frac{1}{g_{m1}}} = 500\Omega$$



$$R_o = R_6 // R_o'$$



1) $g_{m1} v_{gs1} + \dfrac{v_{gs1}}{R_{sig}} = 0 \Rightarrow v_{gs1} = 0$

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

$\Rightarrow v_{G2} = 0$

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

$\Rightarrow g_{m1} v_{gs2} = \dfrac{v_{S2}}{R_S} \Rightarrow v_{gs2}\left(g_{m1} + \dfrac{1}{R_S}\right) = 0$

$\Rightarrow v_{gs2} = 0$

3) $g_{m1} v_{gs2} = I_x = 0$

$\Rightarrow \dfrac{V_x}{I_x} = \infty$

$\Rightarrow R'_o = \infty \Rightarrow \underline{R_o = R_6 \,//\, R'_o = R_6}$

$$A_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{v_o}{v_{G2}} \cdot \frac{v_{G2}}{v_{S1}} \cdot \frac{v_{S1}}{v_{sig}} \quad \text{ma} \quad \boxed{\begin{array}{l} v_o = v_{D2} \\ v_{D1} = v_{G2} \end{array}}$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{v_{D2}}{v_{G2}} \cdot \frac{v_{D1}}{v_{G1}} \cdot \frac{v_{G1}}{v_{sig}} = \overset{CG}{A_{vt}} \cdot \overset{CS+R_S}{A_{vt}} \cdot \frac{v_{G1}}{v_{sig}}$$

$$\frac{v_{gs}}{v_{sig}} = \frac{R_{IN}}{R_{sig} + R_{IN}} = 0{,}5$$

$$A_{vt}^{CS+R_S} = -\frac{g_{m2}\, R_6 /\!/ R_L}{1 + g_{m2} R_5} = -1{,}714$$

$$A_{vt}^{CG} = g_{m1} R_3 = 10$$

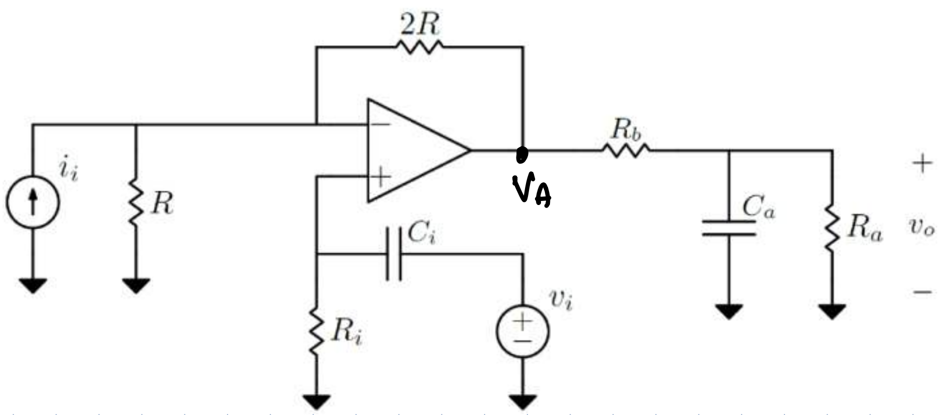
$$\Rightarrow \boxed{A_v = -8{,}571}$$

PROBLEMA P2

Dato il circuito riportato in figura sottostante, che utilizza un amplificatore operazionale **ideale**:

1) Posto ii = 0, ricavare l'espressione del guadagno di tensione Av(s) = vo/vi.
2) Tracciare il diagramma di Bode asintotico di ampiezza e fase di Av(s).
3) Posto Vi = 5 V ed Ii = 2 mA, calcolare il valore di Vo.

Dati: $R = 4.7\ \text{k}\Omega$, $R_i = 50\ \text{k}\Omega$, $R_a = R_b = 100\ \Omega$, $C_i = 4\ \text{nF}$, $C_a = 40\ \text{nF}$



con $i_i = 0$

$$v_+ = \frac{R_i}{R_i + \frac{1}{sC_i}} = \frac{sC_iR_i\, v_i}{1 + sC_iR_i}$$

$$\Rightarrow V_A = v_+\left(1 + \frac{2R}{R}\right)$$

$$V_A = v_+ \frac{3\, sC_iR_i}{1 + sC_iR_i}$$

$$Z_a = \frac{\frac{1}{sC_a} \cdot R_a}{\frac{1}{sC_a} + R_a} = \frac{R_a}{1 + sC_aR_a}$$

$$v_o = V_A \cdot \frac{Z_a}{R_b + Z_a} = \frac{sC_i 3R_i}{1 + sC_iR_i} \cdot \frac{\frac{R_a}{1 + sC_aR_a}}{R_b + \frac{R_a}{1 + sC_aR_a}} \cdot v_i$$

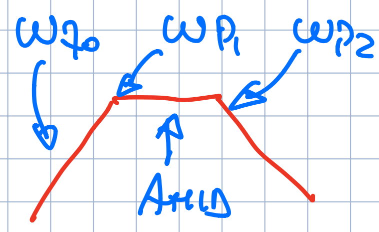
$$= \frac{s\, 3C_iR_i}{1 + sC_iR_i} \cdot \frac{R_a}{R_a + R_b + sC_aR_aR_b}\, v_i$$

$$\Rightarrow \quad W(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{3R_a}{R_a+R_i} \cdot \frac{sC_iR_i}{1+sC_iR_i} \cdot \frac{1}{1+sC_a R_a/\!/R_b}$$

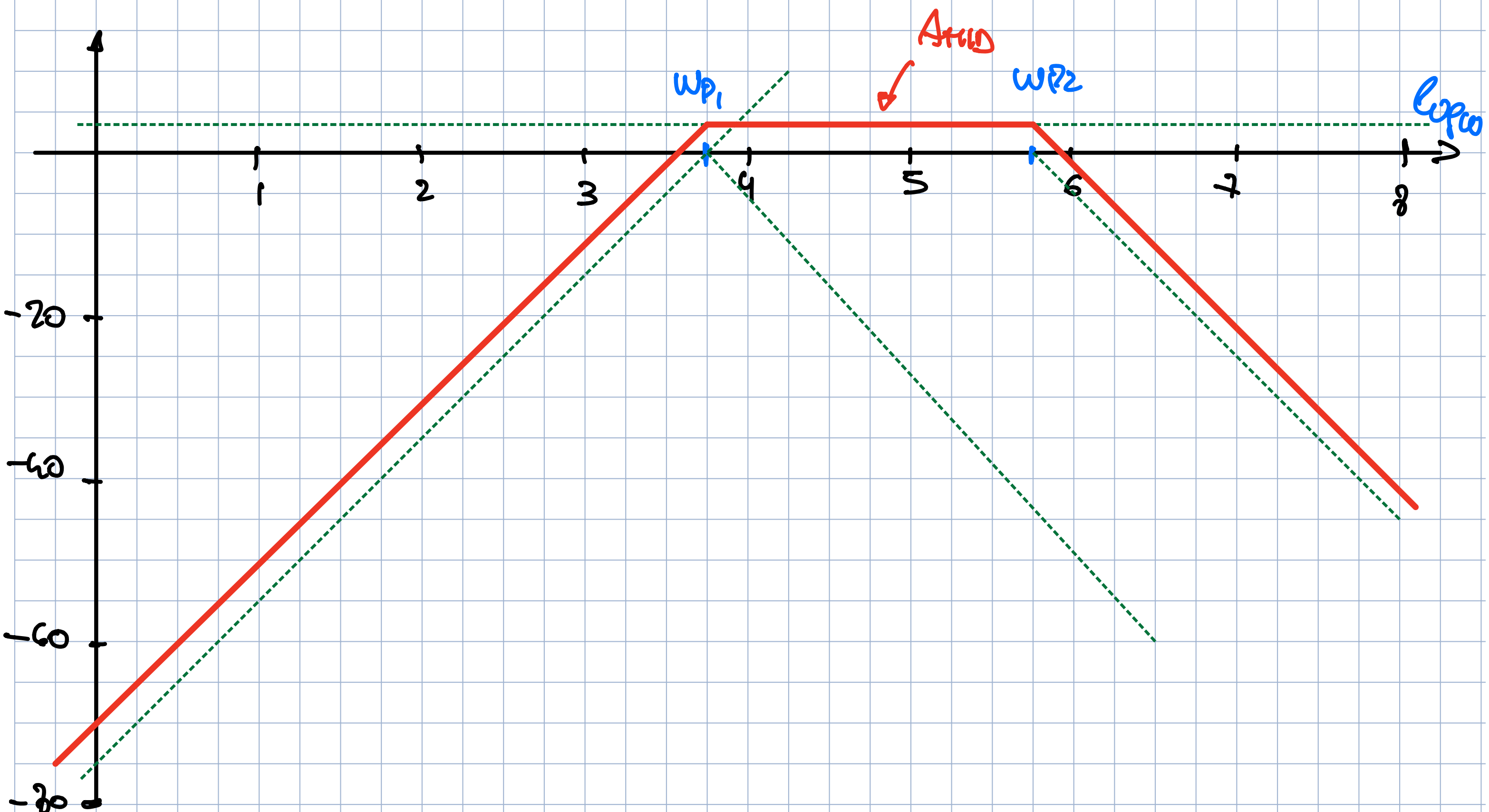
$$\omega_{z0} = \frac{1}{C_iR_i} = 5\cdot 10^3 \ \text{rad/sec}$$

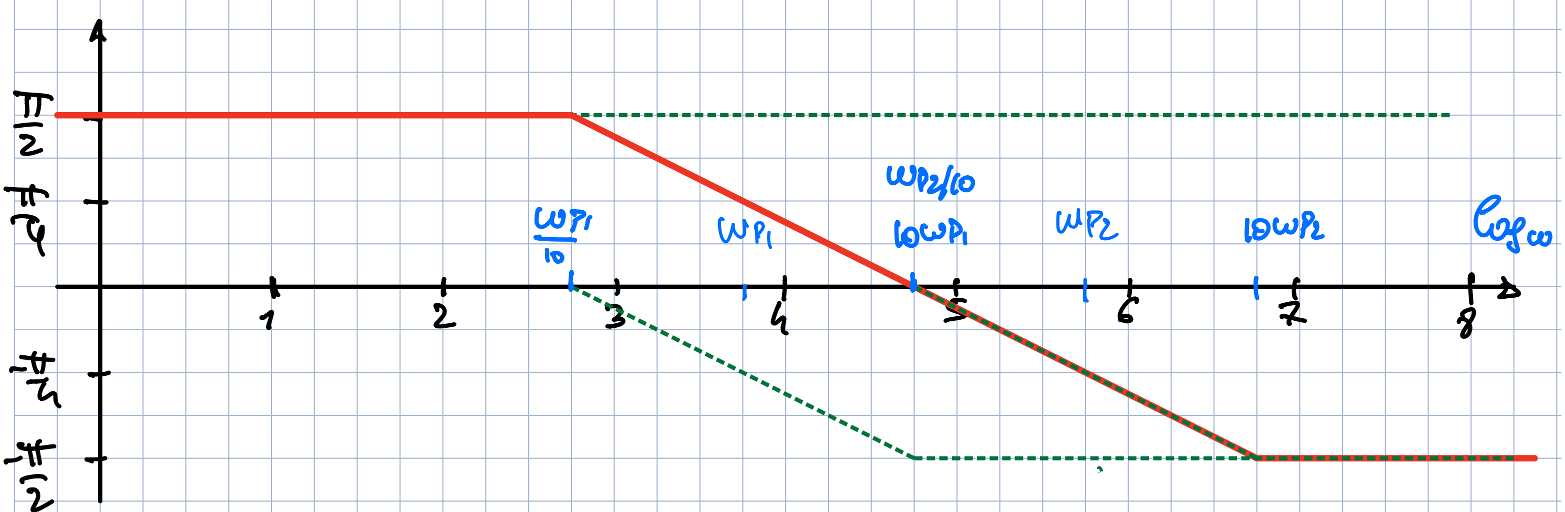
$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_iR_i} = 5\cdot 10^3 \ \text{rad/sec}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_a R_a/\!/R_b} = 5\cdot 10^5 \ \text{rad/sec}$$

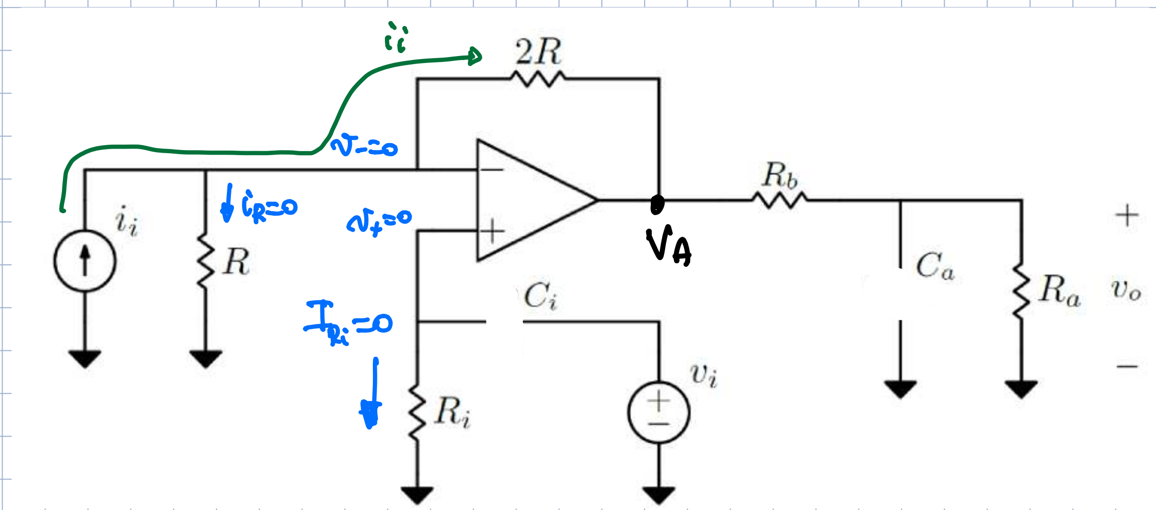


$$A_{MID} = \frac{3R_a}{R_a+R_b} \cdot \frac{C_iR_i}{C_iR_i} = \frac{3R_a}{R_a+R_b} = 1{,}5 = 3{,}5\,dB$$





CON $v_i = 5V$, $I_i = 2\,mA$ N.B. SEGNALI DC $\Rightarrow$ C = CIRCUITI APERTI



$I_{R_i} = 0$
$\Rightarrow v_+ = 0$
$\Rightarrow v_- = 0$
$\Rightarrow V_R = 0$
$\Rightarrow i_R = 0$

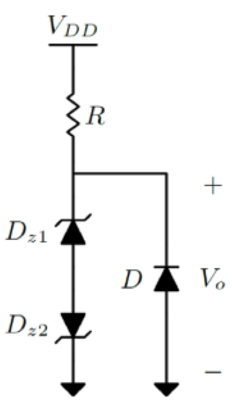
$$\Rightarrow V_A = -i_i 2R$$

$$\text{e} \quad v_o = V_A \cdot \frac{R_a}{R_b + R_a} = -i_i \cdot 2R \cdot \frac{R_a}{R_b + R_a} =$$

$$v_o = -2\,mA \cdot 3{,}4\,k\Omega \cdot 0{,}5 = -3{,}4\,V$$

PROBLEMA Q1

Dato il circuito riportato nella figura sottostante, si calcoli il valore della tensione V_o, giustificando chiaramente la risposta.



Dati:

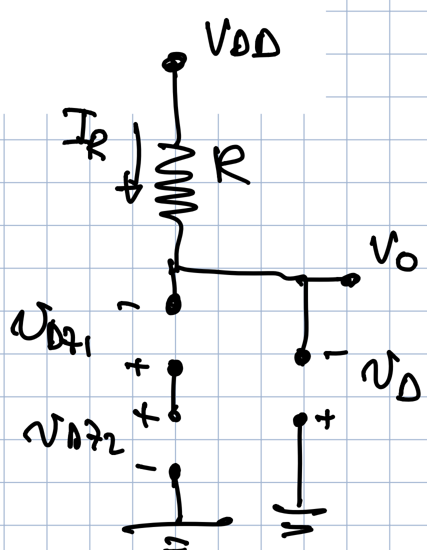
$V_{DD} = 12$ V

$R = 580\ \Omega$

D_{z1}, D_{z2}: $V_{z0} = 5.6$ V, $r_z = 0\ \Omega$, $V_{D,on} = 0.6$ V

D: $V_{D,on} = 0.6$ V

Hp TUTTI i DIODI SPENTI $\Rightarrow$



$I_R = 0 \Rightarrow V_o = V_{DD}$

$\Rightarrow v_D = -V_{DD}$ OK D = OFF

v_{DZ1} e v_{DZ2}?

NOTO CHE D_{Z1} e D_{Z2} IN SERIE e CONTRAPPOSTI

SICURAMENTE UNO DEI DUE TENDERÀ AD ESSERE "ON"

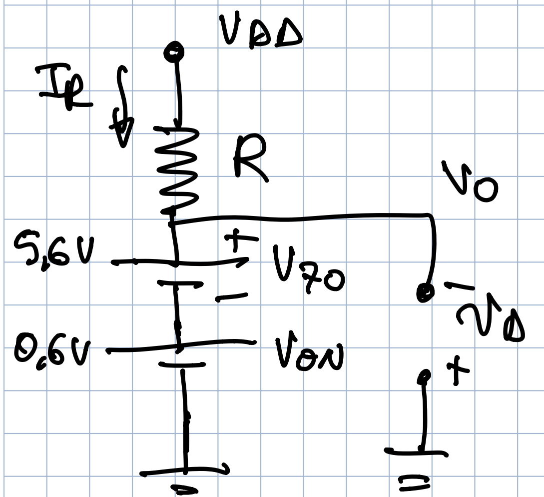
e L'ALTRO OFF/BREAK A SECONDA DELLA TENSIONE

VISTO CHE $V_{DD} >> V_{Z0}$ POSSO SUPPORRE

$D_{Z1} =$ BREAK e $D_{Z2} =$ ON

NUOVA IPOTESI

$D_{Z1} =$ BREAK, $D_{Z2} =$ ON e $D =$ OFF



$V_o = 6{,}2V$

$$I_R = \frac{V_{DD} - V_o}{R} = \frac{5{,}8V}{0{,}58\Omega} = 10\ mA$$

$v_D = -V_o = -6{,}2V$ OK OFF

$I_{DZ1} = -I_R = -10\ mA$ OK BREAK

$I_{DZ2} = I_R = 10mA$ OK ON

SE PONEVO:

$D_{Z1} =$ OFF, $D_{Z2} =$ ON e $D =$ OFF

AVREI TROVATO $V_o = V_{DD}$

$v_D = -V_{DD} \rightarrow$ OK OFF

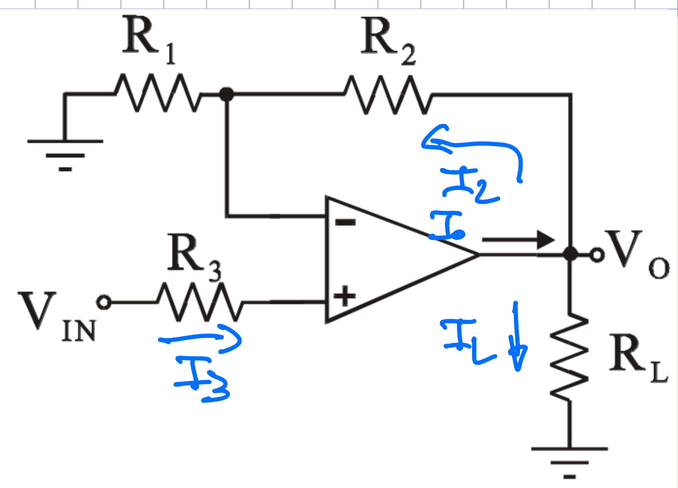
$v_{DZ1} = 0{,}6V - V_{DD} = -11{,}4V < V_{Z0}$ NO $D_{Z1} =$ OFF

$\Rightarrow$ $D_{Z1} =$ BREAK

ESERCIZIO Q2

Il circuito di figura impiega un amplificatore operazionale ideale. Determinare la potenza erogata dal generatore di tensione V_{IN} e la potenza erogata dall'amplificatore operazionale. Calcolare l'effetto di una tensione di offset pari a 5 mV sulla Vo.

Dati: $R_1 = 1\ k\Omega$, $R_2 = 4\ k\Omega$, $R_3 = 3\ k\Omega$, $R_L = 1\ k\Omega$, $V_{IN} = 5\ V$,



1) $I_3 = 0$

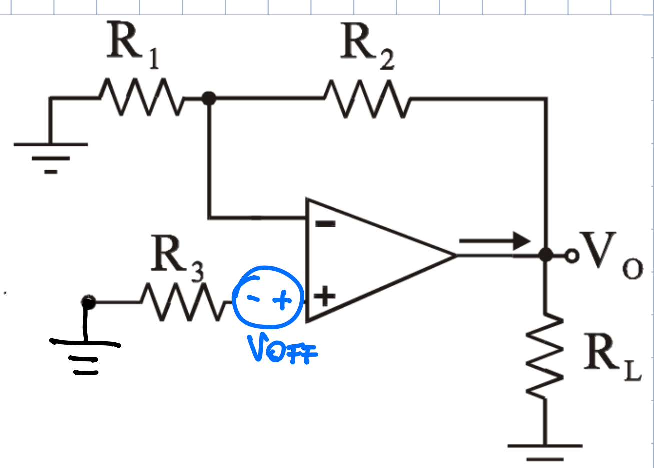
$\Rightarrow P_{V_{IN}} = V_{IN} \cdot I_3 = 0$

POTENZA EROGATA VIN = 0 !

2) $V_o = V_{IN}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 5 V_{IN} = 25V$

$I_o = I_L + I_2 = \frac{V_o}{R_L} + \frac{V_o}{R_1+R_2} = 25mA + 5mA = 30\ mA$

$P_{Ao} = V_o \cdot I_o = 25V \cdot 30mA = 0{,}75\ W$



$V_{OFF} = 5mV$

$v_+ = V_{OFF}$

$V_o = V_{OFF}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 5mV \cdot 5 = 25mV$