

## Esercizio 1

Dato il circuito amplificatore in figura di cui sono noti:

I valori delle resistenze:  $R_i = 5k\Omega$ ,  $R_L = 20k\Omega$

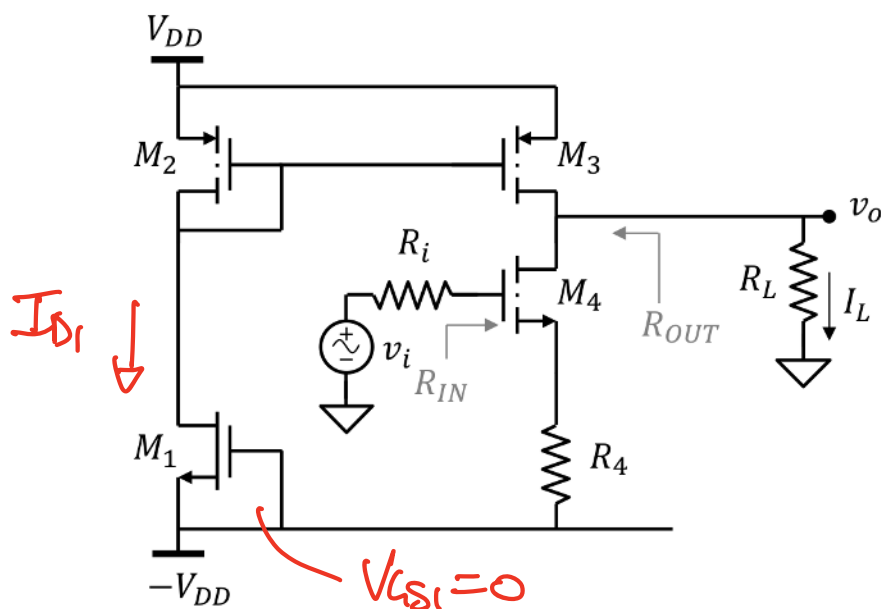
La tensione di alimentazione:  $V_{DD} = 10V$

- I parametri dei MOSFET:

- $M_1$ :  $k_1 = 0.5mA/V^2$ ,  $V_{T1} = -2V$ ,  $\lambda_1 = 0V^{-1}$
- $M_2$ :  $k_2 = 0.5mA/V^2$ ,  $V_{T2} = -3V$ ,  $\lambda_2 = 0V^{-1}$
- $M_3$ :  $k_3 = 5mA/V^2$ ,  $V_{T3} = -3V$ ,  $\lambda_3 = 0.00125V^{-1}$
- $M_4$ :  $k_4 = 5mA/V^2$ ,  $V_{T3} = 4V$ ,  $\lambda_4 = 0V^{-1}$

Calcolare:

- 1) Il valore della resistenza  $R_4$  e punto di polarizzazione di tutti i MOSFET sapendo che in condizioni DC la corrente sul carico  $R_L$  è  $I_L = 0A$ . (trascurare l'effetto della modulazione della lunghezza di canale nell'analisi del punto operativo del circuito in condizioni DC)
- 2) Disegnare il modello ai piccoli segnali.
- 3) Calcolare le resistenze di ingresso ( $R_{IN}$  e di uscita  $R_{OUT}$ ) come evidenziate nel circuito.
- 4) Calcolare il guadagno di tensione  $A_v = v_o/v_i$



$$1) \quad v_o = 0 \Rightarrow I_L = 0$$

$$V_{GS1} = 0V \Rightarrow I_{D1} = \frac{k_1}{2} (V_{GS1} - V_{TN1})^2 = 1mA$$

$$I_{D2} = I_{D1} = 1mA$$

$$V_{GS2} = V_{T2} - \sqrt{\frac{2I_{D2}}{k_2}} = -5V$$

$$V_{DS2} = -5V$$

$$V_{GS3} = V_{GS2}$$

$$V_{DS1} > V_{GS1} - V_{TN1} = 0 + 2V = 2V \quad \text{OK}$$

$$V_{DS2} < V_{GS2} - V_{TN2} = -5V + 3V = -2V \quad \text{OK}$$

$$V_{DS1} = V_{DD} + V_{DS2} + V_{DS3} = 10V - 5V - 5V = 0V$$

$$V_{GS3} = V_{GS2} \Rightarrow I_{D3} = \frac{K_3}{K_2} I_{D2} = 10 \text{ mA}$$

CON  $I_L = 0 \Rightarrow I_4 = I_3 = 10 \text{ mA}$

$$V_{DS3} = 0V - V_{D0} = -V_{D0} = -10V$$

$$V_{AS3} < V_{AS3} - V_{T3} = -5V + 3V = -2V \text{ OK}$$

$$V_{GS4} = V_{T4} + \sqrt{\frac{2I_{D4}}{K_4}} = 6V$$

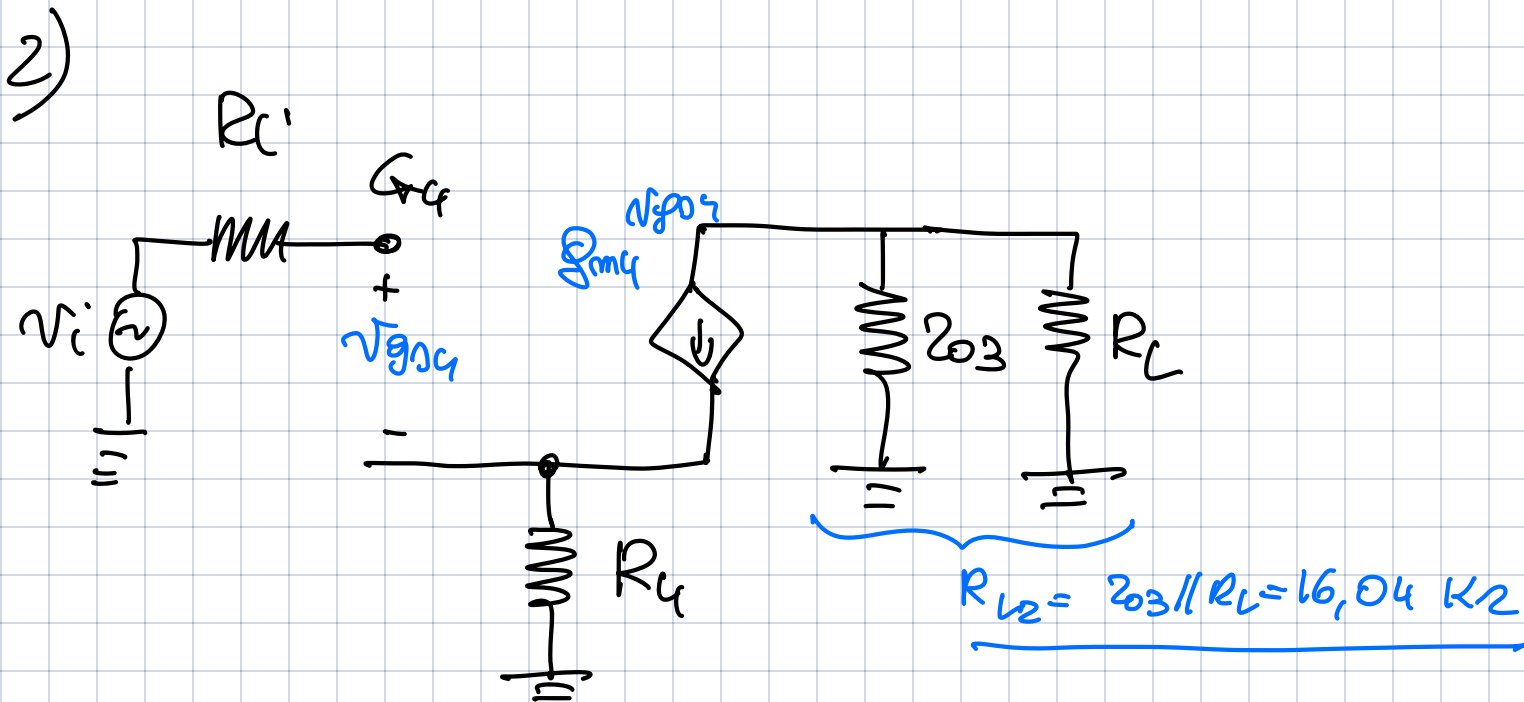
$$V_{DS4} = 0 - (-6V) = 6V$$

$$V_{sq} = -V_{usq} = -6V$$

$$V_{DSQ} > V_{GSQ} - V_{TQ} = 6V - 4V = 2V \quad \text{OK}$$

$$V_{R_4} = -6V - (-10V) = 4V$$

$$\Rightarrow R_4 = \frac{4V}{10mA} = 0,4 K\Omega = 400\Omega$$



$$I_{DQ} = \frac{2 I_{DQ}}{V_{GSQ} - V_{TNQ}} = \frac{20 \text{ mA}}{6 \text{ V} - 4 \text{ V}} = 10 \text{ mA}$$

$$r_{o3} = \frac{\frac{1}{\lambda_3} + V_{A3}}{I_{D3}} = 81 \text{ k}\Omega$$

3)  $R_{in} = 90$  ,  $R_{out} = 203 = 81 \text{ K}\Omega$

$$4) A_v = - \frac{g_{m4} R_{L2}}{1 + g_{m4} R_4} = -32,08$$

## Esercizio 2

Sia dato il circuito in figura nella pagina seguente, realizzato con un amplificatore operazionale ideale.

- 1) Calcolare la tensione di uscita con  $v_S = 0V$ .
- 2) Calcolare la funzione di trasferimento  $W(\omega) = v_O/v_S$
- 3) Tracciare il diagramma di Bode asintotico di modulo e fase
- 4) Sapendo che il segnale di ingresso è:  $v_S(t) = V_S \sin(\omega_0 t + \pi)$ ,  $V_S = 1V$  e  $\omega_0 = 100 \text{ rad/s}$  calcolare ampiezza e fase del segnale di uscita usando il diagramma asintotico.

### DATI:

$$R_1 = 1k\Omega,$$

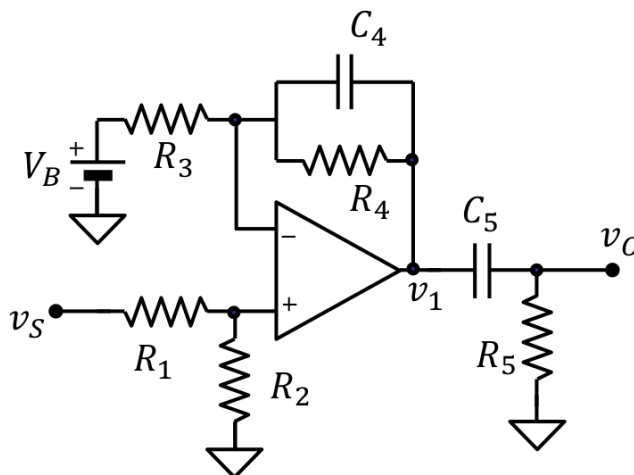
$$R_2 = 4k\Omega,$$

$$R_3 = 1k\Omega,$$

$$R_4 = 99k\Omega, C_4 = 10.1nF$$

$$R_5 = 10k\Omega, C_5 = 10\mu F$$

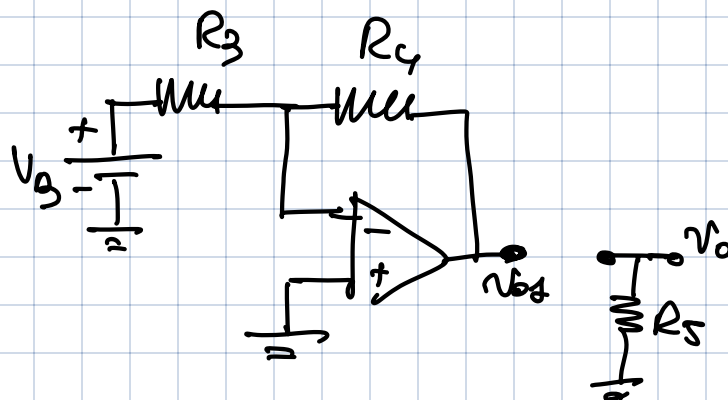
$$V_B = 1V$$



$$1) \text{ IND } C, \text{ con } v_S = 0$$

$$\boxed{v_O = 0}$$

$$v_{O1} = -V_B \frac{R_4}{R_3} = -99V$$



$$2) z_4 = \frac{\frac{1}{sC_4} \cdot R_4}{\frac{1}{sC_4} + R_4} = \frac{R_4}{1 + sC_4 R_4}$$

$$v_+ = v_S \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow v_{O1} = v_+ \left( 1 + \frac{z_4}{R_3} \right)$$

$$= \sqrt{S} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left( 1 + \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + S C_4 R_4} \right)$$

$$= \sqrt{S} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left[ \frac{R_3 + R_4 + S C_4 R_3 R_4}{R_3 (1 + S C_4 R_4)} \right]$$

$$= V_{o1} = \sqrt{S} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_3} \cdot \left[ \frac{1 + S C_4 R_3 // R_4}{1 + S C_4 R_4} \right]$$

$$V_o = V_{o1} \cdot \frac{R_5}{R_5 + \frac{1}{S C_5}} = \frac{S C_5 R_5}{1 + S C_5 R_5}$$

$$\Rightarrow W(s) = \frac{R_2}{R_3} \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2} \cdot \frac{S C_5 R_5 (1 + S C_4 R_3 // R_4)}{(1 + S C_5 R_5)(1 + S C_4 R_4)}$$

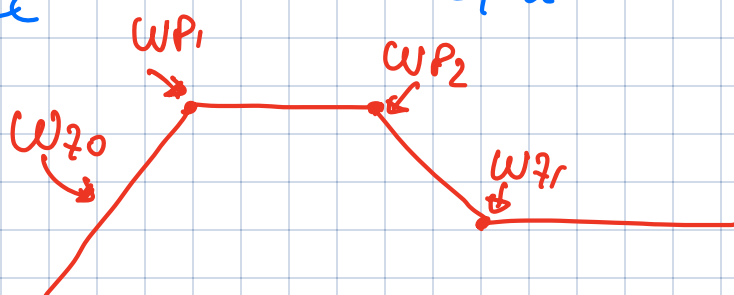
$$A = \frac{R_2}{R_3} \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2} = 80 = 38 \text{ dB}$$

$$\omega_{70} = \frac{1}{C_5 R_5} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

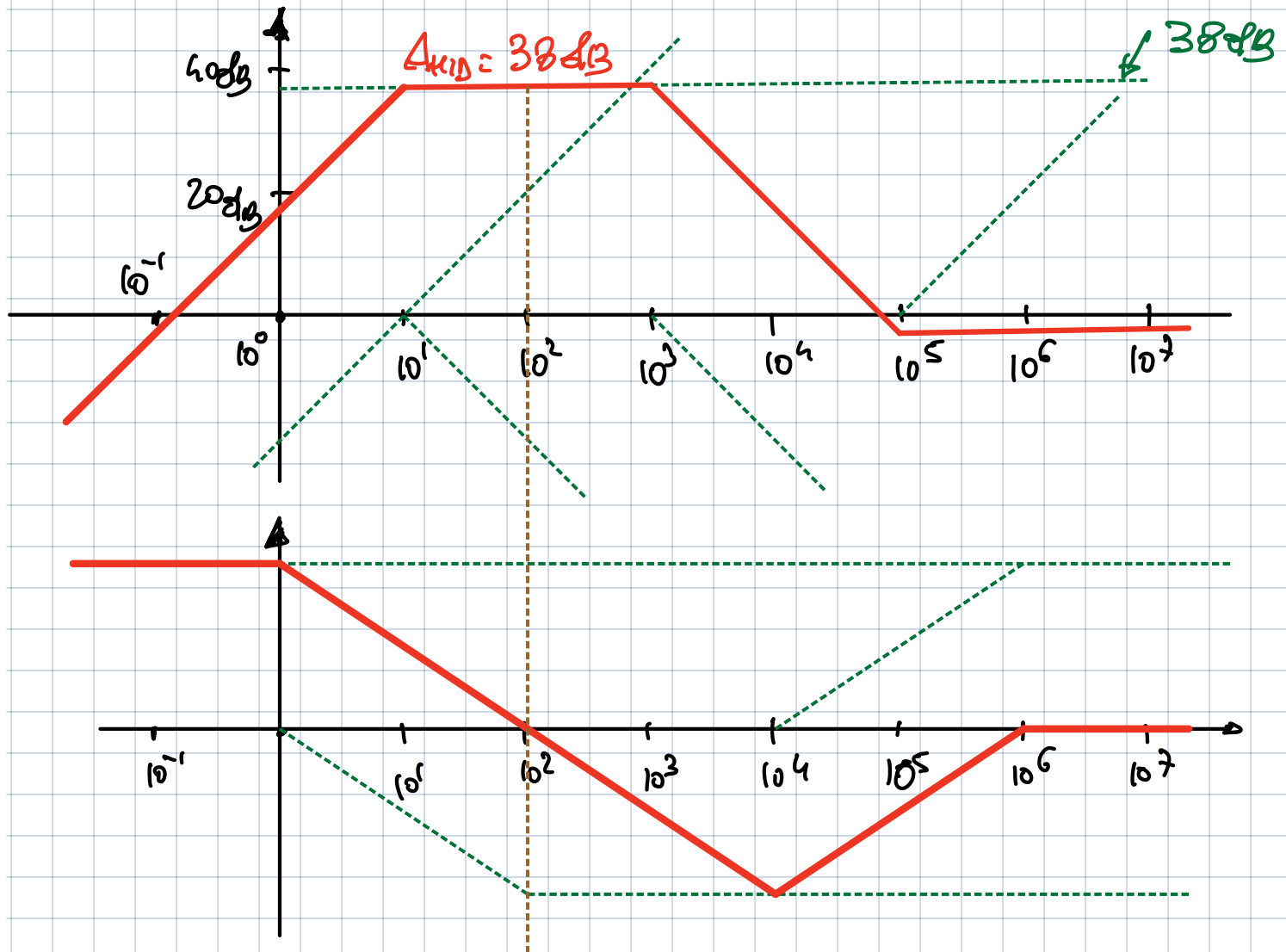
$$\omega_{P1} = \frac{1}{C_5 R_5} = 10 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{71} = \frac{1}{C_4 R_3 // R_4} = 10^5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_{P2} = \frac{1}{C_4 R_4} = 10^3 \text{ rad/s}$$



$$W(s) = \underbrace{\frac{R_2 (R_3 + R_4)}{R_3 (R_1 + R_2)}}_{A_{mid} = 38 \text{ dB} = 80} \cdot \underbrace{\frac{\cancel{C_5 R_5}}{\cancel{C_5 R_5}} \cdot \frac{s}{\frac{1}{C_5 R_5} + s}}_{F_L(s)} \cdot \frac{1 + s C_4 R_3 // R_4}{1 + s C_4 R_4} F_H(s)$$



Per  $\omega_0 = 100 \quad |W(j\omega_0)| = 80 = 38 \text{ dB}$   
 $\angle W(j\omega_0) = 0$

$$\Rightarrow v_o = v_s |W(j\omega)| \cdot \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{4} + \angle W(j\omega)\right)$$

$$= 8V \sin\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{4}\right)$$

### Esercizio Q1

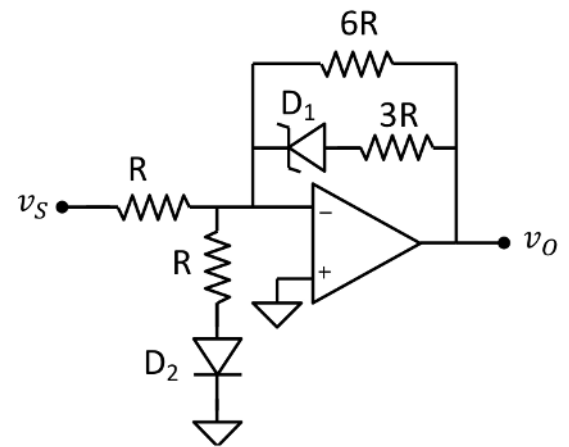
L'amplificatore in figura è realizzato usando un amplificatore operazionale ideale, un diodo ideale ( $V_{ON} = 0$ ) e un diodo zener ideale ( $V_{ON} = 0$  e  $V_Z = 6V$ ) e  $R = 1k\Omega$

Calcolare

1)  $v_O$  per  $v_S = -10V$

2)  $v_O$  per  $v_S = +10V$

**Facoltativo:** Tracciare la transcaratteristica del circuito ( $v_O$  in funzione di  $v_S$ ) indicando i punti di spezzamento della curva e i valori delle pendenze delle semirette.



$D_2$  sempre OFF

$v_S = -10V$  Hp  $D_1 = ON$

$$6R \parallel 3R = \underline{\underline{2R}}$$

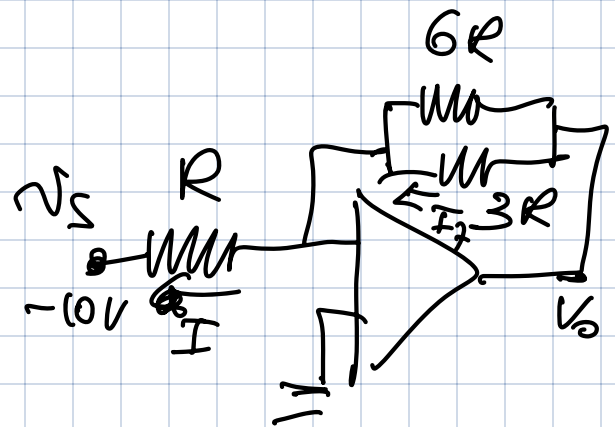
$$v_O = -v_S \frac{2R}{R} = -2v_S = \underline{\underline{20V}}$$

$$I = \frac{-v_S}{R} = \frac{10V}{1k\Omega} = 10mA$$

$$I_2 = I \cdot \frac{6R}{8R} = -\frac{v_S}{R} \cdot \frac{6R}{8R} = -\frac{2}{3}v_S$$

$$= \frac{20}{3}A = \underline{\underline{6,67A}}$$

OK  $D_2 = ON$



$$V_S = 10V \quad HA \quad DZ = BREAK$$

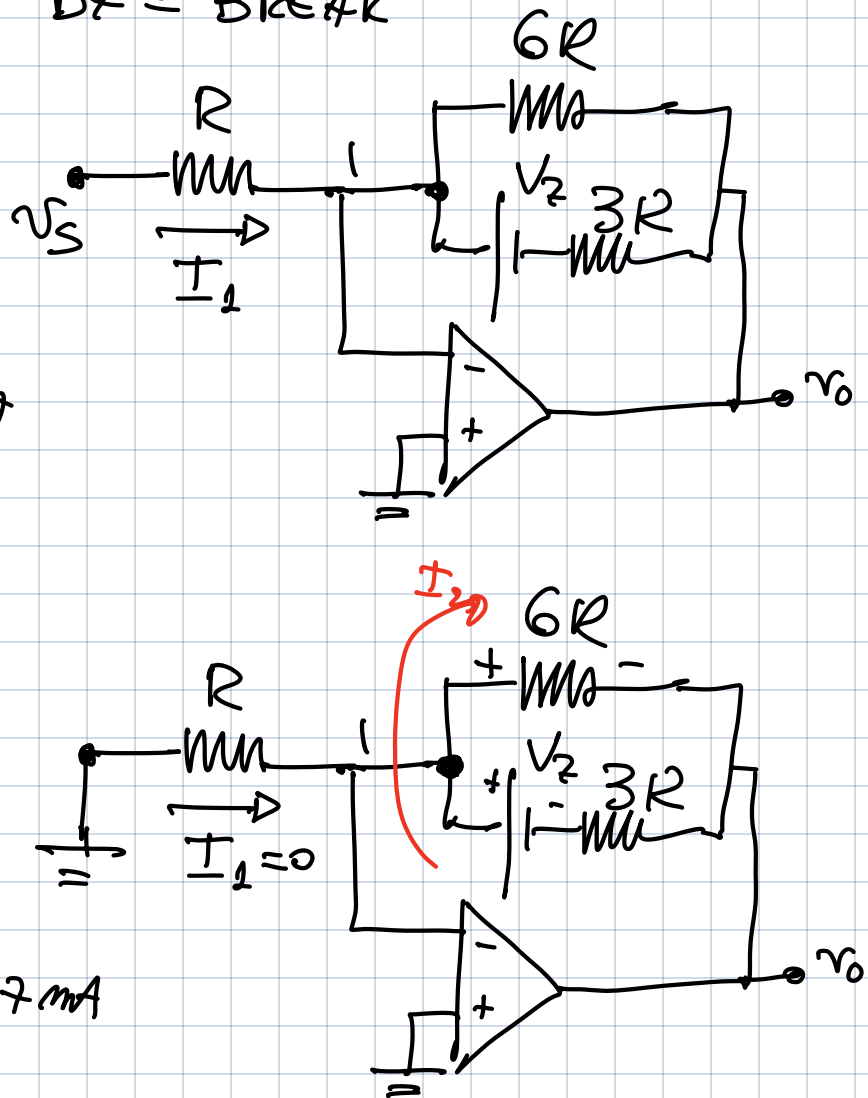
SOVRAPP. EFF

$$V_Z = 0 \Rightarrow V_{Di} \text{ PRIM}$$

$$V_0' = -2V_S$$

$$V_S = 0$$

$$I_2 = \frac{V_Z}{8R} = \frac{6V}{8K\Omega} = \frac{2}{3} \text{ mA} = 0,667 \text{ mA}$$



$$V_0'' = -6R \cdot I_2 = -4V$$

$$\Rightarrow V_0 = V_0' + V_0'' = -2V_S - 4V = -24V$$

DAL CIRCUITO COMPLETO!

$$I_{6R} = \frac{24V}{6R} = 4 \text{ mA}$$

$$I_1 = \frac{V_S}{R} = 10 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_2 = 10 \text{ mA} - 4 \text{ mA} = 6 \text{ mA} > 0 \quad \underline{\underline{OK}}$$

FA COLTATIVO

$$I_1 = \frac{V_S}{R}$$

$$I_{6R} = -\frac{V_0}{6R} = +\frac{2V_S + 4V}{6R}$$

$$I_z = \frac{V_S}{R} - \frac{2V_S + 4V}{6R} \geq 0$$

$$\frac{V_S}{R} - \frac{2V_S}{6R} - \frac{4V}{6R} \geq 0$$

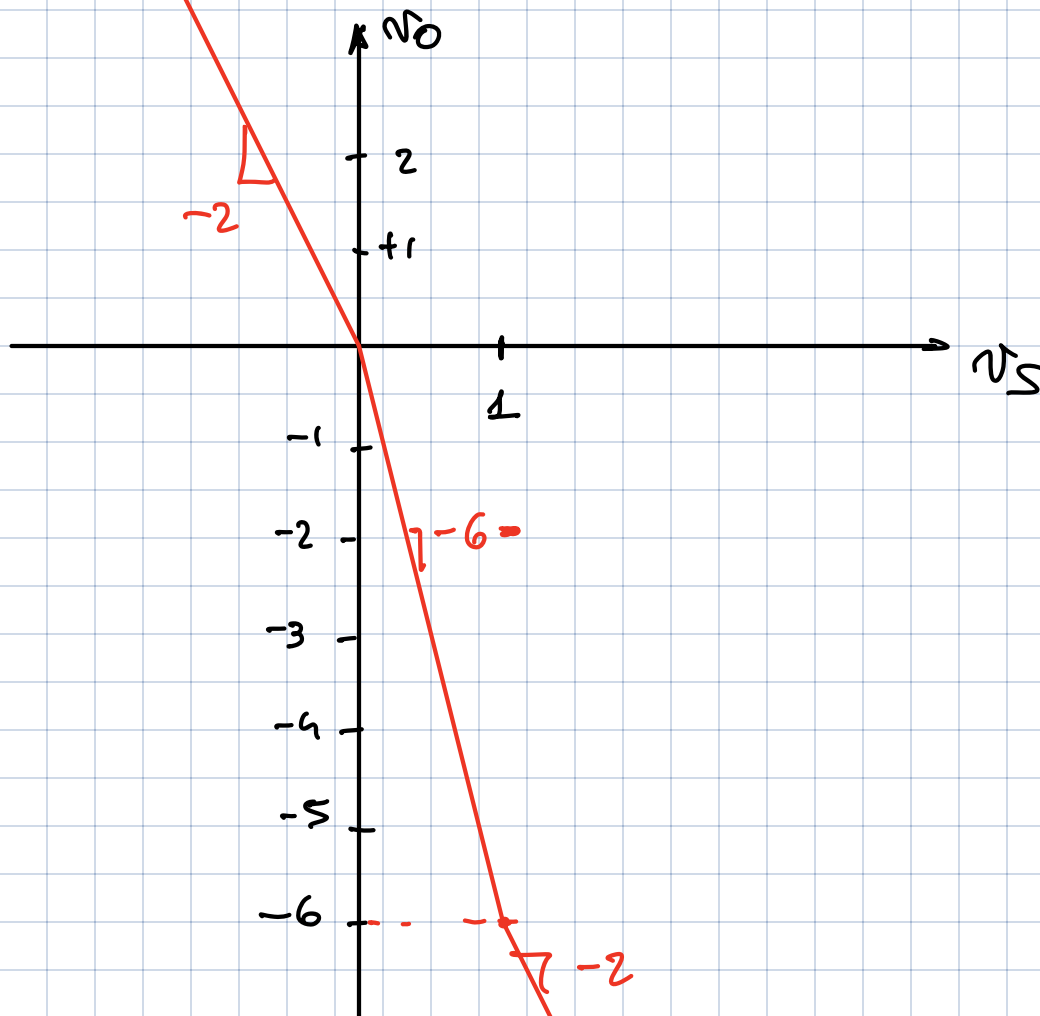
$$\frac{V_S}{R} \left(1 - \frac{1}{3}\right) \geq + \frac{4V}{6R}$$

$$V_S > \frac{+4V}{2 \cancel{R}} \cdot R \cdot \frac{3}{2} = \underline{+1V}$$

$$\Rightarrow V_S < 0 \quad DZ = ON \quad V_O = -2V_S$$

$$V_S > 1V \quad DZ = BREAK \quad V_O = -2V_S - 4V$$

$$0 \leq V_S \leq 1 \quad DZ = OFF \quad V_O = -6V_S$$



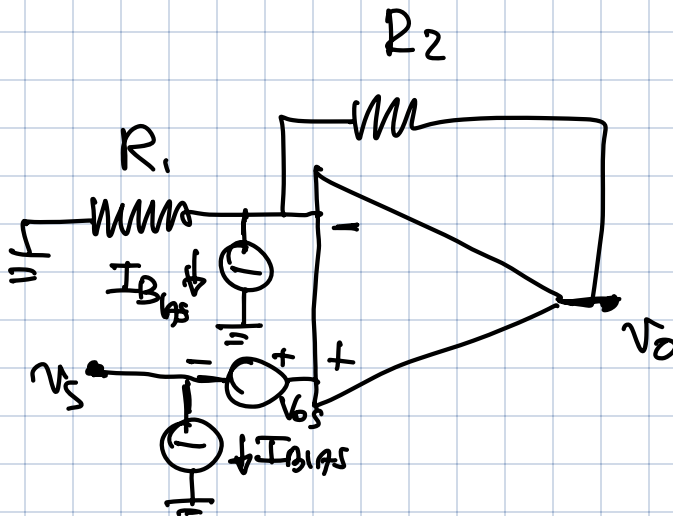
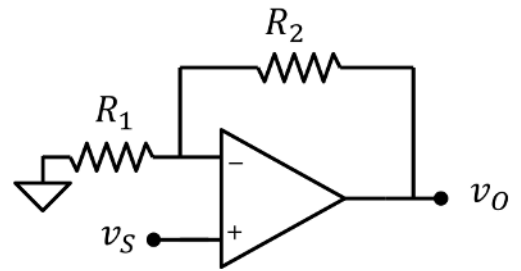


### Esercizio Q2

L'amplificatore in figura è realizzato usando un amplificatore operazionale reale con,  $I_{BIAS} = 500\text{nA}$  (con verso entrante negli ingressi dell'amplificatore),  $V_{OS} = 0.1\text{mV}$ .

Sapendo che  $R_2 = 100\text{k}\Omega$  e  $R_1 = 20\text{k}\Omega$ .

Calcolare la tensione di uscita con  $v_S = -3\text{V}$ ,



Sovrapp. Effetti

$$V_S \rightarrow v_O' = v_S \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_{OS} \rightarrow v_O'' = V_{OS} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$I_{BIAS} \quad v_f = 0$$

$$I_{BIAS} \quad v_O''' = R_2 I_{BIAS}$$

$$\Rightarrow v_O = v_S \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + V_{OS} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + R_2 I_{BIAS}$$

$$\left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 6$$

$$v_S \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = -18\text{V}$$

$$V_{OS} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 0.6\text{V}$$

$$R_2 I_{BIAS} = 0.05\text{V}$$

$$\Rightarrow \boxed{v_O = -17.35\text{V}}$$

### PROBLEMA Q3

Data la seguente mappa di Karnaugh

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

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

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

$\bar{A}D$

$A\bar{D}$

$A\bar{B}$

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

