

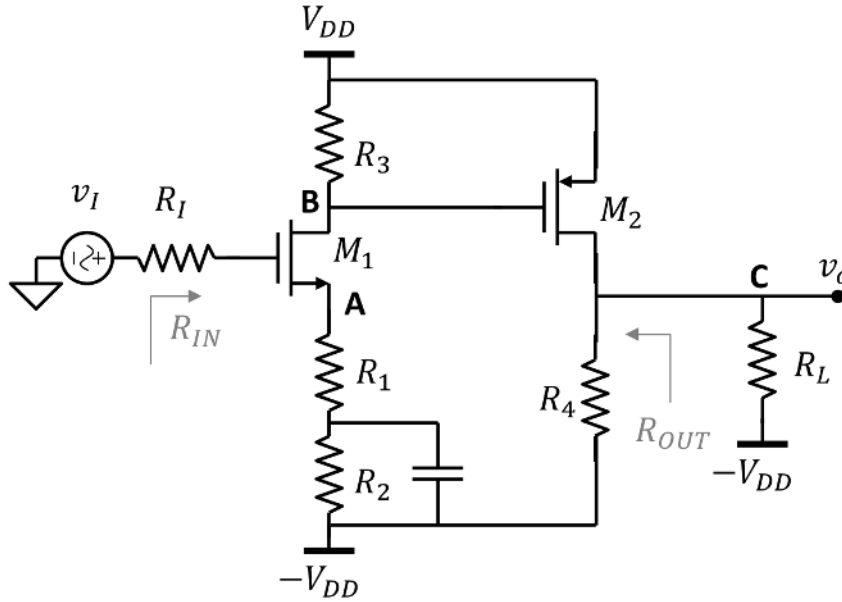
COMPITO FDE - BIO DEL 5/9/2024

3 APPELLO

Problema 1

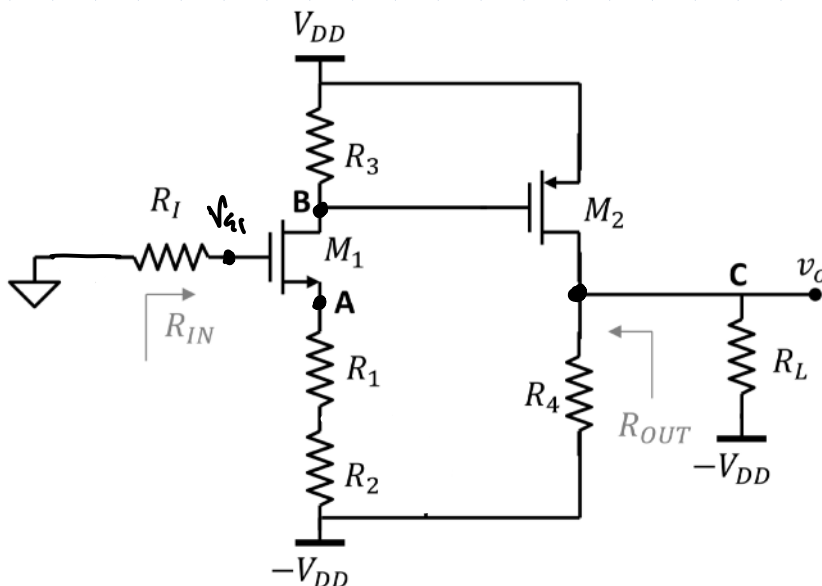
Dato il circuito amplificatore in figura di cui sono noti:

- I parametri dei MOSFET:
 - M_1 : $k_1 = 2 \text{ mA/V}^2$, $V_{TN} = 1 \text{ V}$
 - M_2 : $k_2 = 5 \text{ mA/V}^2$, $V_{TP} = -1 \text{ V}$
- I valori delle resistenze: $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 500 \Omega$, $R_i = 5 \text{ k}\Omega$, $R_L = 4.5 \text{ k}\Omega$.
- La tensione di alimentazione: $V_{DD} = 5 \text{ V}$



- 1) Trovare il valore di R_1 sapendo che la corrente attraverso M_1 è $I_{D5} = 1 \text{ mA}$.
 - 2) Trovare la polarizzazione di M_1 e M_2 in condizioni DC.
 - 3) Determinare i potenziali dei nodo A, B e C
 - 4) Disegnare il modello ai piccoli segnali del circuito e calcolare le transconduttanze di M_1 e M_2 .
- Dall'analisi ai piccoli segnali, calcolare:
- 5) La resistenza di ingresso e di uscita dell'amplificatore, come mostrato in figura
 - 6) Il guadagno dall'ingresso v_i all'uscita v_o .

POLARIZZAZIONE



CON $I_{D1} = 1 \text{ mA}$

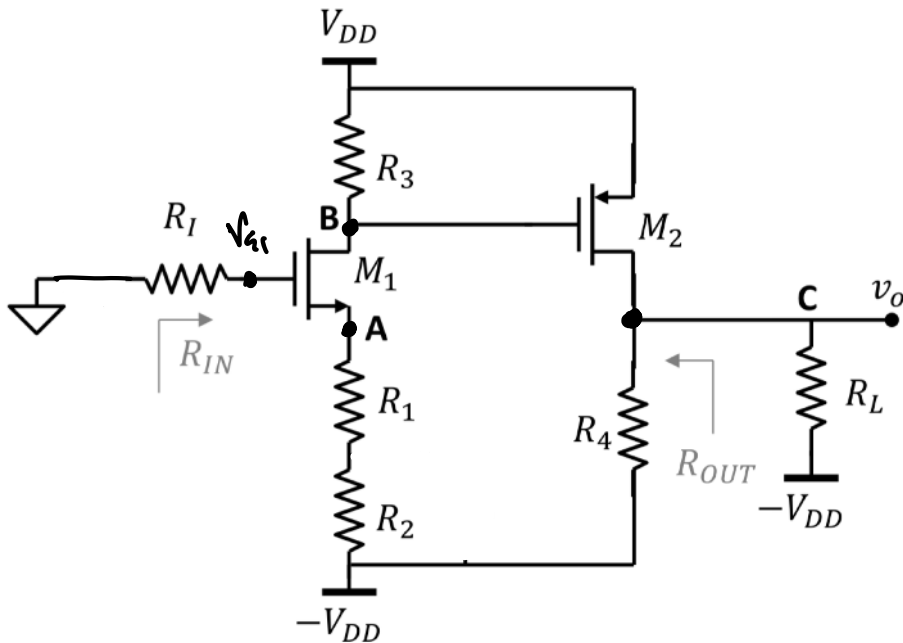
$$V_{GS1} = V_{TN1} + \sqrt{\frac{2I_{D1}}{K_{M1}}} = 2 \text{ V}$$

$$V_A = -V_{GS1} = -2 \text{ V}$$

$$V_A - (-V_{DD}) = (R_1 + R_2)I_{D1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_A + V_{DD}}{I_{D1}} - R_2 = R_1 = 1 \text{ K}\Omega$$

SE INVECE AVESSI' DATO R_1 , E SI DOVEVA CALCOLARE I_{D1} e V_{GS1} :



$$V_{Gi} = 0$$

$$V_{GS1} + I_{D1}(R_1 + R_2) - V_{DD} = 0$$

$$\begin{cases} I_{D1} = \frac{V_{DD} - V_{GS1}}{R_1 + R_2} \\ I_{D1} = \frac{K_{M1}}{2} (V_{GS1} - V_{TN1})^2 \end{cases}$$

$$\frac{2V_{DD}}{K_{M1}(R_1 + R_2)} - \frac{2V_{GS1}}{K_{M1}(R_1 + R_2)} = V_{GS1}^2 + V_{TN1}^2 - 2V_{GS1}V_{TN1}$$

$$V_{GS1}^2 + V_{GS1} \left[\frac{2}{K_{M1}(R_1 + R_2)} - 2V_{TN1} \right] + V_{TN1}^2 - \frac{2V_{DD}}{K_{M1}(R_1 + R_2)} = 0$$

$$a = 1$$

$$b = -1,667 \text{ V}$$

$$c = -0,667 \text{ V}^2$$

$$\Delta = b^2 - 4ac = 5,444 \text{ V}^2$$

$$V_{GS1} = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = 2 \text{ V}$$

$$I_{DS1} = \frac{K_{M1}}{2} (V_{GS1} - V_{TN1})^2 = 1 \text{ mA}$$

FINE PARTE NON RICHIESTA

$$V_A = -V_{DD} + I_{DS1}(R_1 + R_L) = -2V$$

$$V_B = V_{DD} - I_{DS1} R_3 = 2V$$

$$V_{DS1} = V_B - V_A = 4V$$

$$V_{DS1} > V_{GS1} - V_{TN1} = 1V$$

OK SATURAZ.

$$V_{GS2} = V_B - V_{DD} = -3V$$

$$I_{DS2} = \frac{K_{P2}}{2} (V_{GS2} - V_{TP2})^2 = 10mA$$

$$R_4 || R_L = 0,45k\Omega$$

$$V_C = -V_{DD} + I_{DS2}(R_4 || R_L) = -0,5V$$

$$V_{DS2} = V_C - V_{DD} = -5,5V$$

$$V_{DS2} < V_{GS2} - V_{TP2} = -2V$$

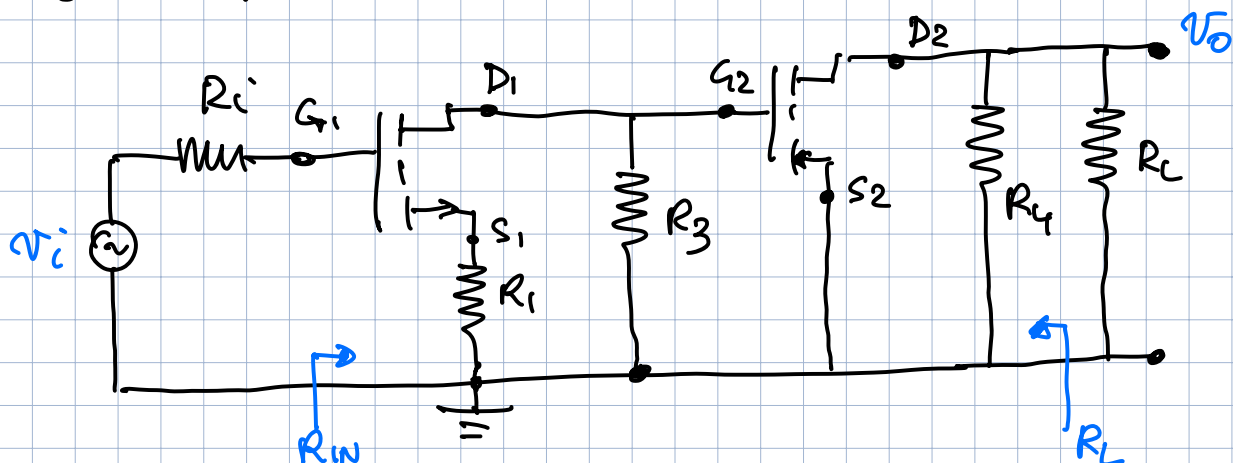
OK SATURAZIONE

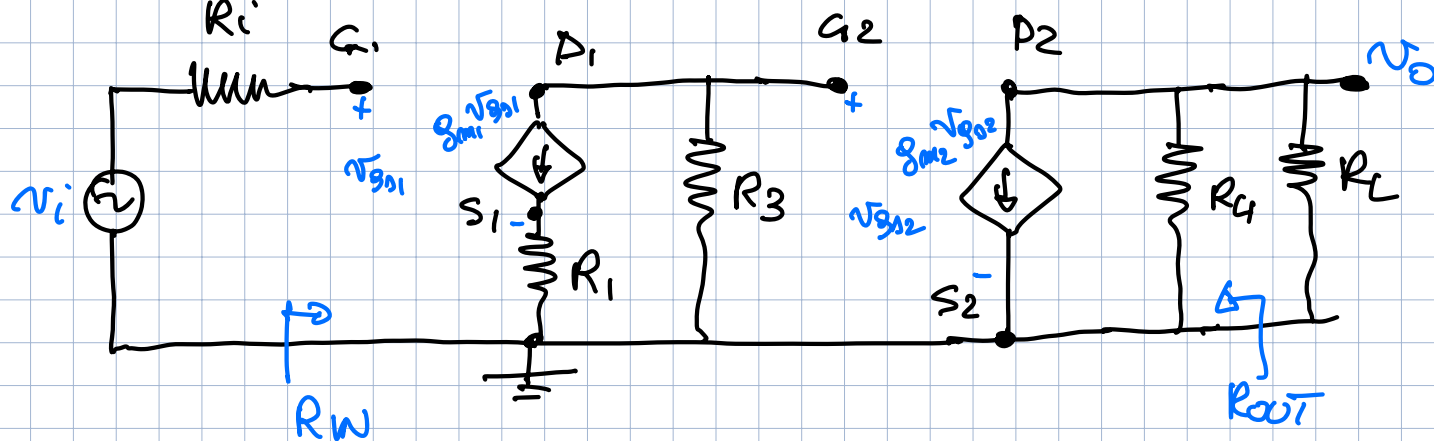
$$\begin{cases} M_1: I_{DS1} = 1mA & V_{DS1} = 4V & V_{GS1} = 2V \\ M_2: I_{DS2} = 10mA & V_{DS2} = -5,5V & V_{GS2} = -3V \end{cases}$$

2) ANALISI AL PICCOLO SEGNALE

$$g_{m1} = \sqrt{2 K_n I_{D1}} = \sqrt{4} mS = 2mS$$

$$g_{m2} = \sqrt{2 K_p I_{D2}} = \sqrt{100} mS = 10mS$$





$$R_W = \infty$$

$$R_{out} = R_4$$

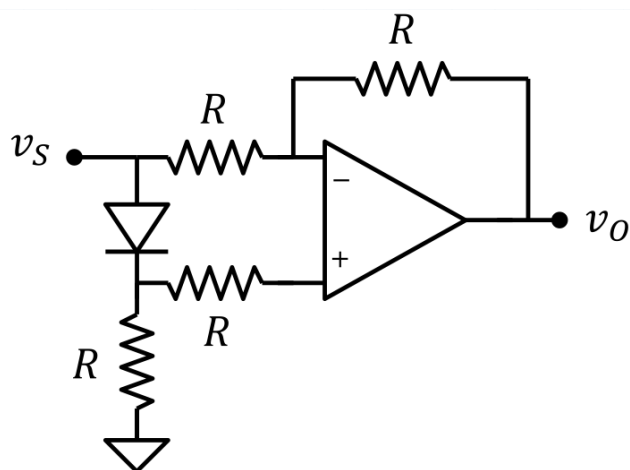
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{g2}} \cdot \frac{v_{g2}}{v_i} = 9$$

$$-g_{m2} R_4 \parallel R_L = -4.5$$

$$-\frac{g_{m1} R_3}{1 + g_{m1} R_1} = -2$$

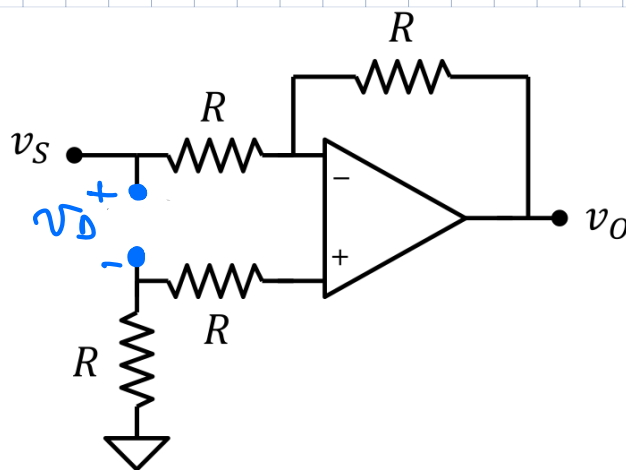
Problema 2

Dato il circuito in figura, realizzato con un amplificatore operazionale ideale, un diodo con $V_{ON} = 1V$ e resistenze di valore $R = 1k\Omega$. Tracciare la transcaratteristica di v_o in funzione di v_s . Disegnare il grafico usando il diagramma a pagina seguente. (A fianco di ciascun punto di spezzamento indicare i valori di tensione v_s e v_o corrispondenti. A fianco di ciascun segmento indicare il valore della pendenza (dv_o/dv_s) e la regione di funzionamento del diodo)



$$v_D = v_s$$

HP DIODO "OFF"



$$\Rightarrow v_D < v_{ON} \Rightarrow \text{Diode "OFF"}$$

$$\hookrightarrow v_S < v_{ON} = 1V$$

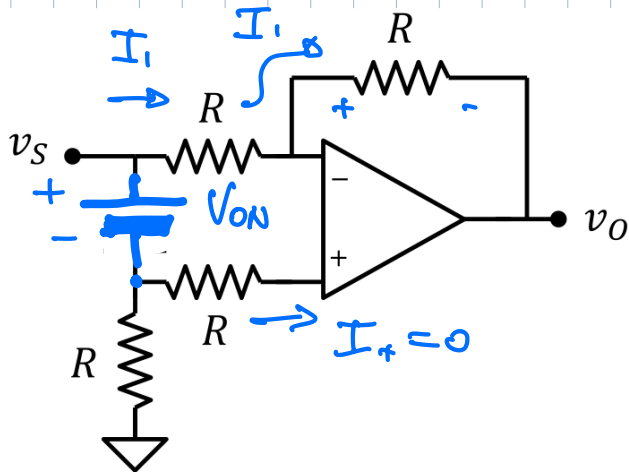
$$\Rightarrow v_O = v_S \left(-\frac{R}{R} \right) = -v_S$$

$$v_O(v_{ON}) = -v_{ON}$$

$$\Rightarrow v_D > v_{ON} \Rightarrow \text{Diode "ON"}$$

$$\hookrightarrow v_S > v_{ON} = 1V$$

Diode "ON"



$$I_1 = \frac{v_{ON}}{R}$$

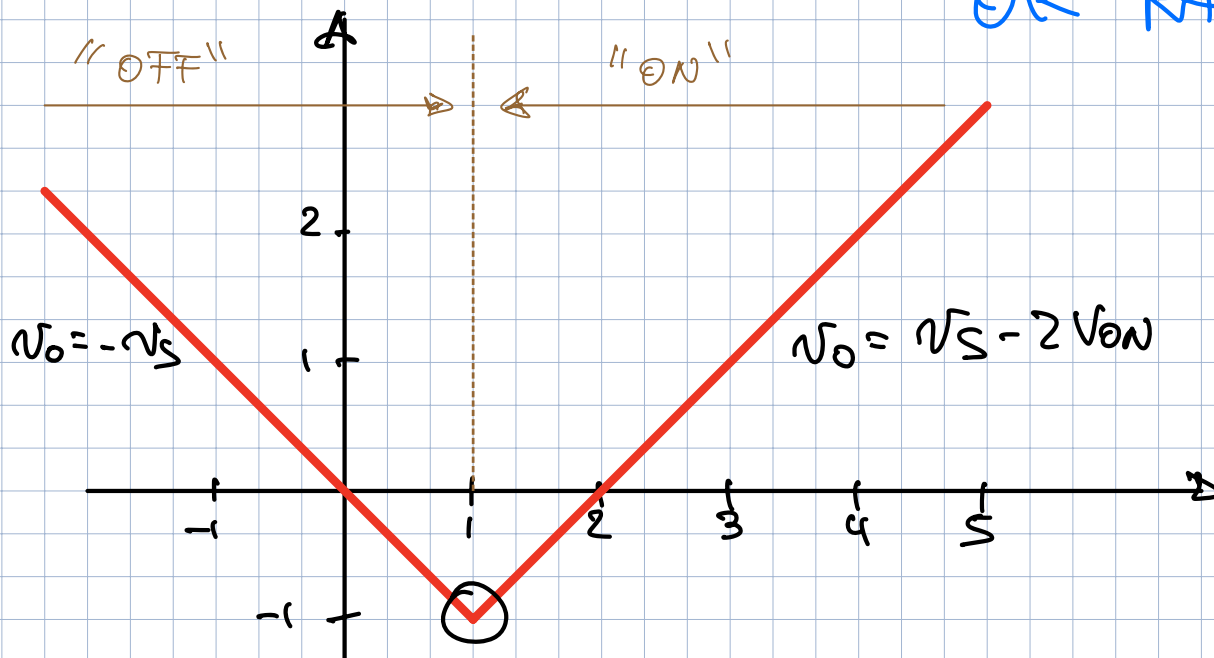
$$v_+ = v_S - v_{ON}$$

$$v_O = v_S - v_{ON} - I_1 \cdot R$$

$$= v_S - 2v_{ON}$$

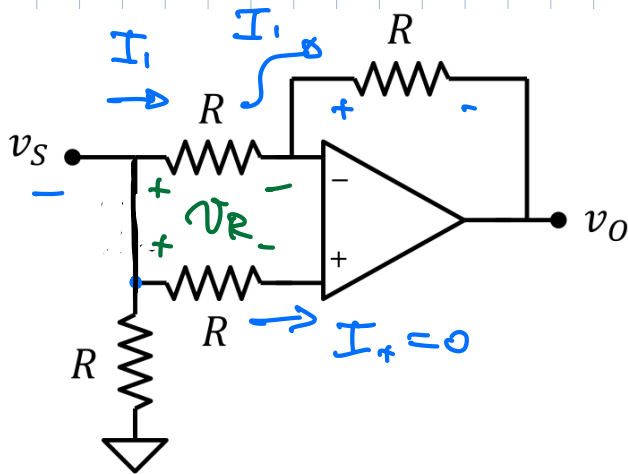
$$v_O(v_{ON}) = v_{ON} - 2v_{ON} = -v_{ON}$$

OK RACCORDO



IN ALTERNATIVA, PER DIODO "ON" POSSO
USARE SOVRAPP. EFFETTI'

DIODO "ON"

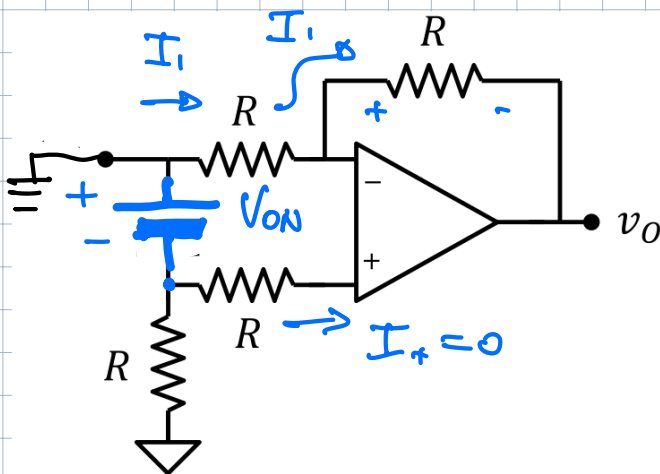


ATTIVO v_s e SPENGO V_{ON}

IN QUESTO CASO, $I_+ = 0$

$$\Rightarrow v_R = 0 \Rightarrow I_i = 0$$

$$\Rightarrow v_o' = v_s$$



$$v_+ = -V_{ON}$$

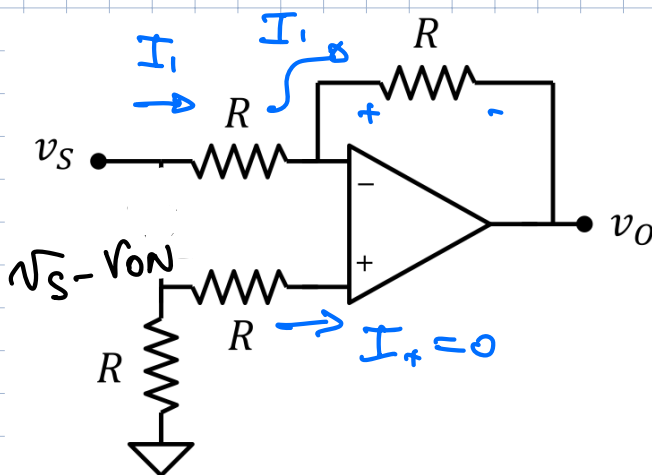
$$\Rightarrow v_o'' = v_+ \left(1 + \frac{R}{R} \right) = -2V_{ON}$$

OPPURE

$$I_i = \frac{V_{ON}}{R} \Rightarrow v_o'' = I_i \cdot 2R = -2V_{ON}$$

$$\text{QUINDI } v_o = v_o' + v_o'' = v_s - 2V_{ON}$$

OPPURE 2°



SOVRAPP. EFFETTI'

$$v_o = v_s \left(-\frac{R}{R} \right) + (v_s - V_{ON}) \left(1 + \frac{R}{R} \right)$$

$$= -v_s + 2v_s - 2V_{ON}$$

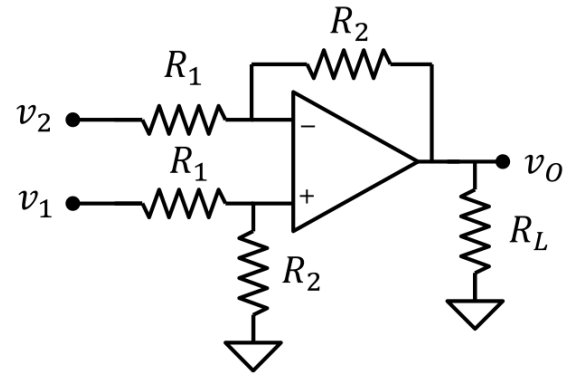
$$= v_s - 2V_{ON}$$

Problema 3

DATI: $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 4\text{k}\Omega$, $R_L = 10\text{k}\Omega$

Dato il circuito in figura realizzato con un amplificatore operazionale reale. Sapendo che la tensione di uscita dell'amplificatore operazionale ha limiti -5V e $+5\text{V}$ e che la massima corrente erogata o assorbita dal terminale di uscita è 2mA , calcolare la tensione v_o con:

1. $v_1 = 5\text{V}$, $v_2 = 3\text{V}$
2. $v_1 = -2\text{V}$, $v_2 = -4\text{V}$



$$v_o = (v_1 - v_2) \frac{R_2}{R_1}$$

$$\begin{aligned} v_o' &= v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \\ &= +v_1 \frac{R_2}{R_1} \end{aligned}$$

$$v_o'' = v_2 \left(-\frac{R_2}{R_1} \right)$$

1) $v_1 = 5\text{V}$, $v_2 = 3\text{V}$

$$v_{o1} = \frac{4\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} (2\text{V}) = 8\text{V} \quad \text{MA} \quad v_{o1} > 5\text{V}$$

$$\Rightarrow v_{o1} = 5\text{V} \quad (\text{SATURATION})$$

I_o ?

$$I_o = \frac{v_o}{R_L} + \frac{v_o - v_2}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{5\text{V}}{10\text{k}\Omega} + \frac{2\text{V}}{5\text{k}\Omega} = 0,9 \text{ mA} < I_{o\text{MAX}}$$

OK

2) $v_1 = -2$, $v_2 = -4$

$$v_{o2} = \frac{4\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} (2\text{V}) = 8\text{V} \quad \text{MA} \quad v_{o2} > 5\text{V}$$

$$\Rightarrow v_{o2} = 5\text{V}$$

$$I_O = \frac{V_{O2}}{R_L} + \frac{V_{O2} - V_2}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{5V}{10k\Omega} + \frac{9V}{5k\Omega} = 2.3 \text{ mA} > \underline{\underline{I_{Omax}}}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{O2}}{R_L} + \frac{V_{O2} - V_2}{R_1 + R_2} = I_{Omax}$$

$$V_{O2} \left(\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1 + R_2} \right) = I_{Omax} + \frac{V_2}{R_1 + R_2}$$

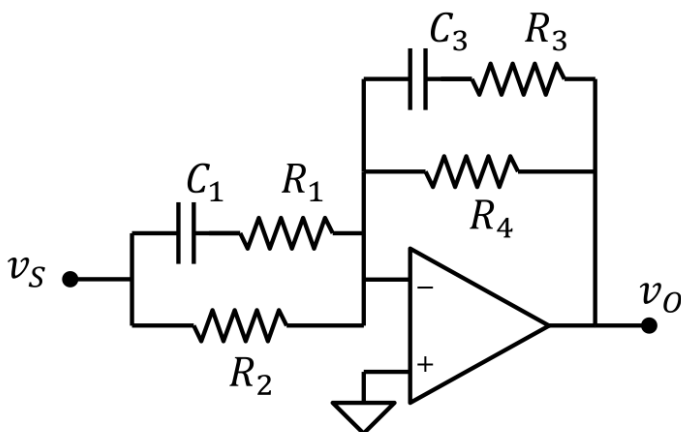
$$V_{O2} = \frac{I_{Omax} + \frac{V_2}{R_1 + R_2}}{\frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_1 + R_2}} = 4V$$

Problema 4

DATI: $R_1 = 0.5k\Omega$, $C_1 = 200nF$, $R_2 = 4.5k\Omega$, $R_3 = 1k\Omega$, $C_3 = 1\mu F$, $R_4 = 99k\Omega$

Dato il filtro in figure.

1. Calcolare il guadagno a bassa frequenza ($\omega \rightarrow 0$)
2. Calcolare il guadagno ad alta frequenza ($\omega \rightarrow \infty$)
3. Trovare la funzione di trasferimento (riportare l'espressione della funzione di trasferimento nella scheda della quarta pagina)
4. Tracciare i diagrammi di bode asintotici di modulo e fase (usando i grafici in quarta pagina).



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

$$Z_{in} = \frac{Z_1 \cdot R_2}{Z_1 + R_2}$$

$$= \frac{\frac{1 + sC_1 R_1}{sC_1} \cdot R_2}{\frac{1 + sC_1 R_1}{sC_1} + R_2}$$

$$Z_N = \frac{R_2 \frac{1 + SC_1 R_1}{SC_1}}{\frac{1 + SC_1 (R_1 + R_2)}{SC_1}} = \frac{R_2 (1 + SC_1 R_1)}{1 + SC_1 (R_1 + R_2)}$$

$$Z_2 = \frac{1 + SC_2 R_2}{SC_2}$$

$$Z_F = \frac{R_4 (1 + SC_3 R_3)}{1 + SC_3 (R_3 + R_4)}$$

$$W(s) = - \frac{Z_F}{Z_N} = \frac{R_4}{R_2} \frac{(1 + SC_3 R_3) [1 + SC_1 (R_1 + R_2)]}{[1 + SC_3 (R_3 + R_4)] (1 + SC_1 R_1)}$$

$$Z_1 = \frac{1}{C_3 R_3} = 10^3 \text{ } \cancel{\Omega} / \cancel{\Omega} \quad Z_2 = \frac{1}{C_1 (R_1 + R_2)} = 10^3 \text{ } \cancel{\Omega} / \cancel{\Omega}$$

$$P_1 = \frac{1}{C_3 (R_3 + R_4)} = 10 \text{ } \cancel{\Omega} / \cancel{\Omega} \quad P_2 = \frac{1}{R_1 C_1} = 10^4 \text{ } \cancel{\Omega} / \cancel{\Omega}$$

$$W(0) = \frac{R_4}{R_2} = 22 \rightarrow 26,85 \text{ dB}$$

$$W(\infty) = \frac{R_3 R_4}{(R_3 + R_4)} \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = 2,2 \rightarrow 6,85 \text{ dB}$$

