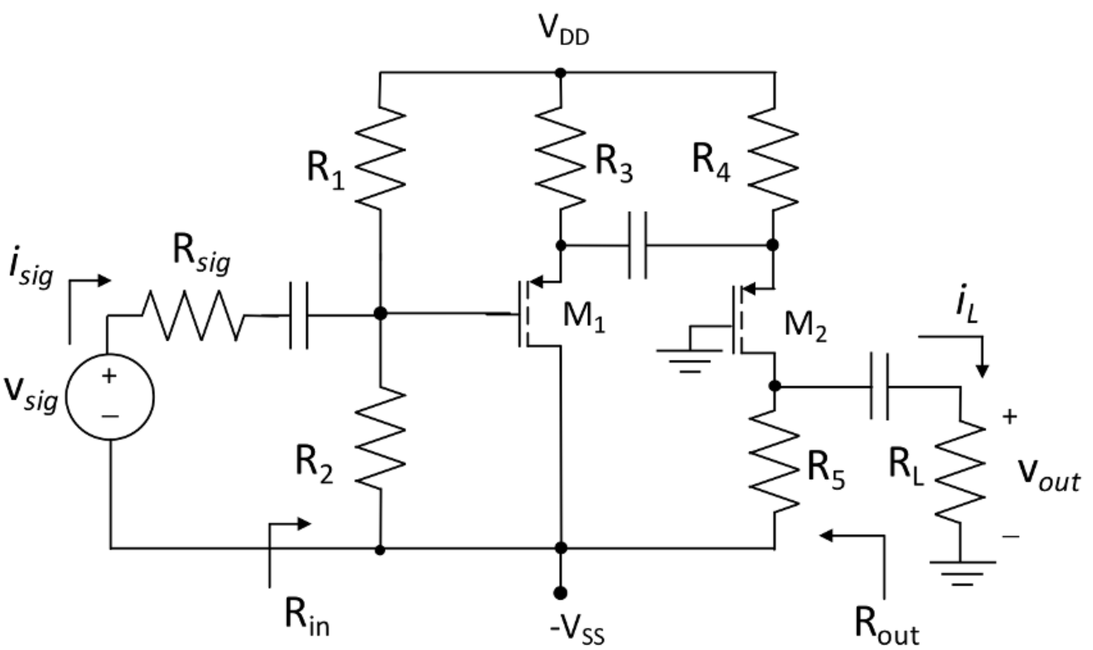
PROBLEMA P1

Dato il circuito riportato nella figura sottostante, determinare:

1) il valore della resistenza R_3 in modo che la corrente di drain di M_1 valga $I_{D1} = 10$ mA;
2) il punto di lavoro dei transistor M_1, M_2,
3) il guadagno di tensione ai piccoli segnali ac $A_v = v_{out}/v_{sig}$;
4) Il guadagno di corrente $A_i = i_L/i_{sig}$;
5) le resistenze di ingresso e uscita ai piccoli segnali ac R_{in} e R_{out}.

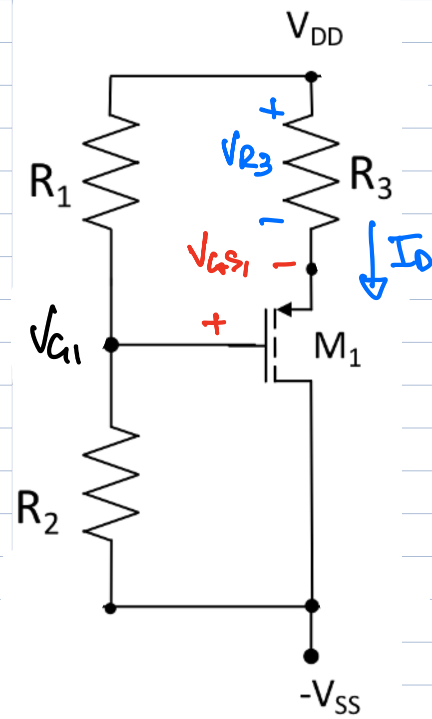


Dati:
V_{DD}=15 V
V_{SS}=15 V
R_1=200 kΩ,
R_2=200 kΩ,
R_4=1 kΩ,
R_5=1.0 kΩ,
R_L=1.0 kΩ,
R_{sig}= 1.0 kΩ,

M_1: k_{p1}=10 mA/V^2,
V_{TP1} = -1 V,
λ_{p1}=0 V^{-1};

M_2: k_{p2}=5 mA/V^2,
V_{TP2} = -2 V,
λ_{p2}=0 V^{-1};

POLARIZZAZIONE.



$$V_{G1} = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} - V_{SS} \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$= \frac{V_{DD}}{2} - \frac{V_{SS}}{2} = 0\,V$$

$$I_{D1} = \frac{K_{P1}}{2}\left(V_{GS1} - V_{TP1}\right)^2$$

$$\Rightarrow V_{GS1} = V_{TP_2} - \sqrt{\frac{2I_{D1}}{K_P}} = -1V - \sqrt{2}V = -2{,}414$$

$$V_{GS1} = V_{G1} - V_{S1} = -V_{S1} \quad (V_{G1} = 0)$$

$$\Rightarrow V_{S1} = -V_{GS1} = 2{,}414$$

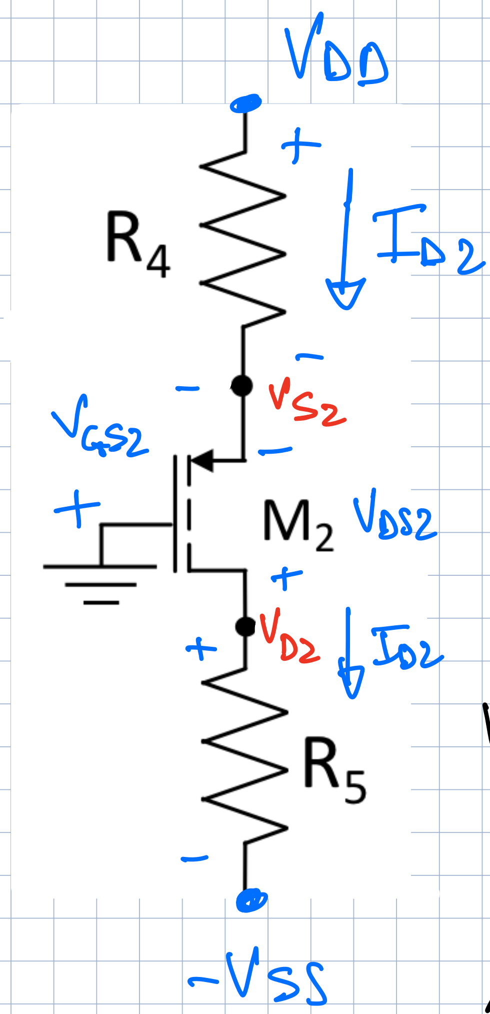
$$V_{S1} = V_{DD} - V_{R3} = V_{DD} - R_3 I_{D1} \Rightarrow \boxed{R_3 = \frac{V_{DD} - V_{S1}}{I_{D1}} = \frac{10V}{5mA} = 1{,}26K\Omega}$$

$$\boxed{V_{DS_1} = -V_{SS} - V_{S_1} = -17{,}414\,V}$$

$V_{DS_1} < V_{GS_1} - V_{TP_1}$?

$-17{,}41\,V < -1\,V$ OK

M1 IN SATURAZ.



$V_{DD} = R_4 I_{D2} - V_{GS2}$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_{D2} = \dfrac{V_{DD} + V_{GS2}}{R_4} \\[2ex] I_{D2} = \dfrac{K_{P_2}}{2}\left(V_{GS2} - V_{TP_2}\right)^2 \end{cases}$$

$$\frac{2(V_{DD} + V_{GS2})}{R_4 K_P} = V_{GS_2}^2 + V_{TP_2}^2 - 2V_{GS_2}V_{TP_2}$$

$$V_{GS_2}^2 + V_{GS_2}\left(-\frac{2}{R_4 K_{P_2}} - 2V_{TP_2}\right) + V_{TP_2}^2 - \frac{2V_{DD}}{R_4 K_{P_2}} = 0$$

$a = 1 \qquad b = 3{,}6 \qquad c = -2$

$$\Delta = (3{,}6)^2 - 4 \times (-2) = 20{,}96$$

$$\boxed{V_{GS_2} = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-3{,}6 - 4{,}59}{2}\,V = -4{,}09\,V}$$

$$\boxed{I_{D2} = \frac{K_{P_2}}{2}\left(V_{GS_2} - V_{TP_2}\right)^2 = 10{,}91\,mA}$$

$$V_{S2} = V_{DD} - R_4 I_{D2} = 4{,}09\,V$$

$$V_{D2} = -V_{SS} + R_5 I_{D2} = -4{,}08\,V$$

$$\boxed{V_{DS2} = V_{D2} - V_{S2} = -8{,}18} < V_{GS_2} - V_{TP_2} \text{ ?}$$

$-8{,}18 < -1{,}32\,V$

OK M2 IN SATURAZ.

M_1: $I_{D1} = 10\ mA$, $V_{DS1} = -17{,}41\ V$, $V_{GS1} = -2{,}41\ V$.

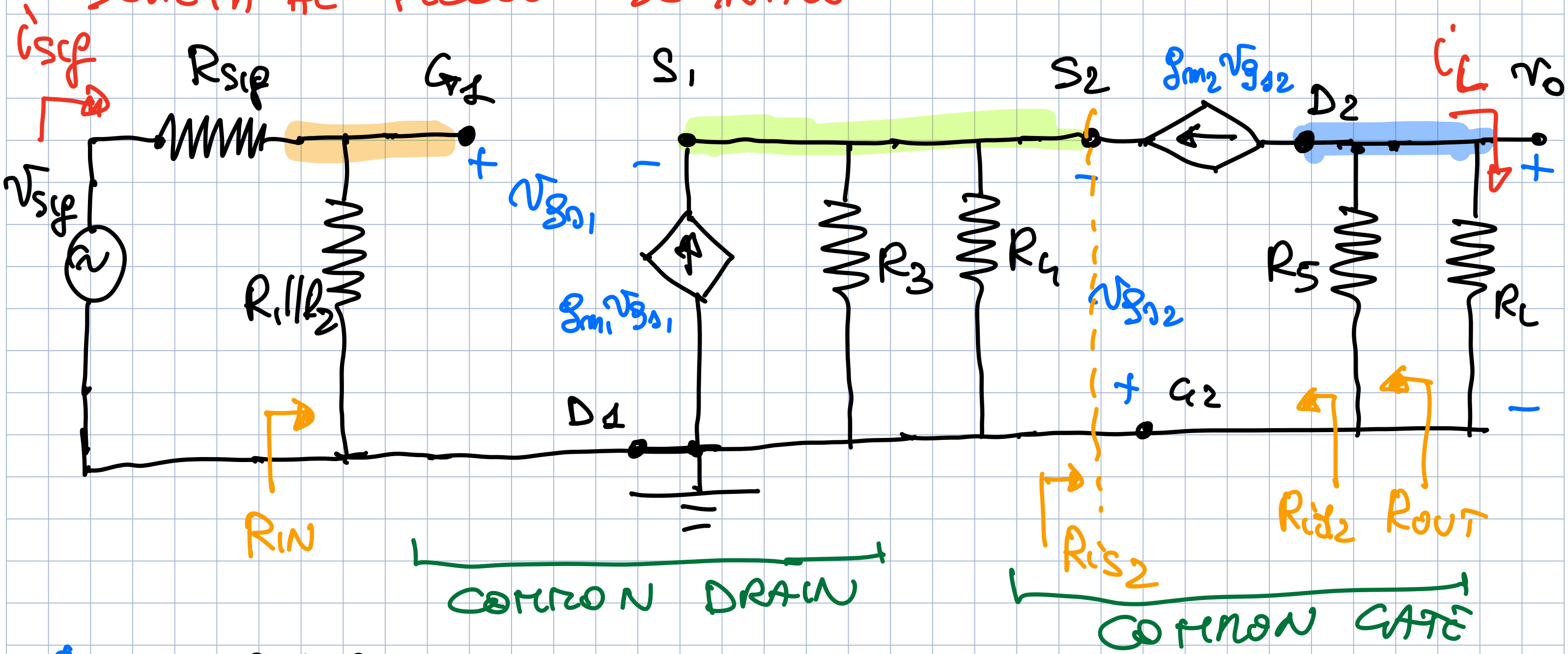
M_2: $I_{D2} = 10{,}81\ mA$, $V_{DS2} = -8{,}18\ V$, $V_{GS2} = -4{,}09\ V$.

ANALISI AL PICCOLO SEGNALE

$$g_{m1} = \frac{2I_{D1}}{V_{GS1} - V_{TP1}} = \sqrt{2 I_{D1} K_{P1}} = 14{,}14\ mS \ ; \quad r_{01} = \infty$$

$$g_m = \frac{2I_{D2}}{V_{GS2} - V_{TP2}} = \sqrt{2 I_{D2} K_{P2}} = 10{,}45\ mS \ ; \quad r_{02} = \infty$$

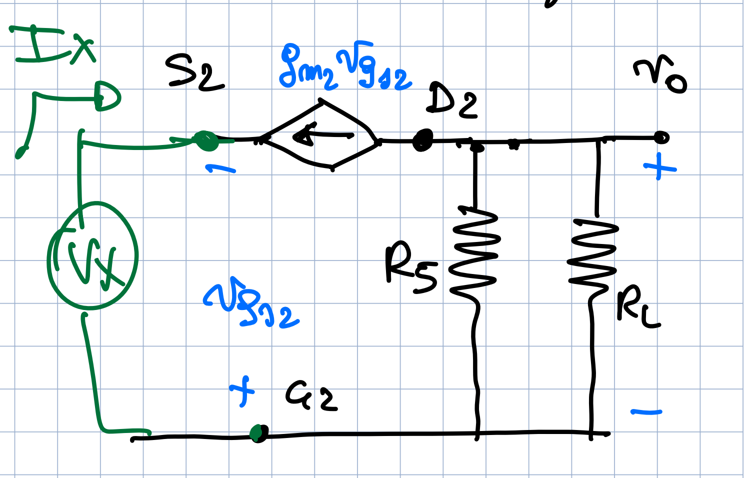
SCHEMA AL PICCOLO SEGNALE



$R_{IN} = R_1 // R_2$

$R_{OUT} = R_5$ (IN QUANTO $R_{id2} = \infty$ con $r_0 \infty$)

$R_{is2} = 1/g_{m2}$



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

$$V_x = -v_{gs2}$$

$$\frac{V_x}{I_x} = \frac{1}{g_{m2}}$$

$$R_{L1} = R_3 // R_4 // R_{is2} = R_3 // R_4 // \frac{1}{g_{m2}} = 81{,}7 \ \Omega$$

$$R_{L2} = R_5 // R_L = 0{,}5 \, k\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{v_{D2}}{v_{S2}} \cdot \frac{v_{S2}}{v_{G1}} \cdot \frac{v_{G1}}{v_{sig}} \qquad v_{S2} = v_{S1}$$

$$= A_v^{CG} \cdot A_v^{CD} \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{R_1 // R_2}{R_{sig} + R_1 // R_2} = 0{,}99$$

$$A_v^{CD} = ? \qquad v_{S2} = g_{m1} v_{gs1} R_{L1}$$

$$v_{G1} = v_{gs1} + g_{m1} v_{gs1} R_{L1}$$

$$\Rightarrow A_v^{CD} = \frac{v_{S2}}{v_{G1}} = \frac{g_{m1} R_{L1}}{1 + g_{m1} R_{L1}} = 0{,}536$$

$$A_v^{CG} = ? \qquad v_{D2} = - g_{m2} v_{gs2} R_{L2}$$

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

$$\Rightarrow A_v^{CG} = \frac{v_{D2}}{v_{S2}} = g_{m2} R_{L2} = 5{,}223$$

$$\Rightarrow \boxed{A_v = A_v^{CG} \cdot A_v^{CD} \cdot \alpha = 2{,}77}$$

$$A_i = \frac{i_L}{i_{sig}} = \frac{\frac{v_o}{R_L}}{\frac{v_{sig}}{R_{sig}+R_1 // R_2}} = A_v \cdot \frac{\overbrace{R_{sig}+R_1//R_2}^{=101}}{R_L} = 280$$

IN ALTERNATIVA:

$$i_L = -g_{m2} v_{gs2} \frac{R_5}{R_5+R_L}$$

$$v_{gs2} = -g_{m1} v_{gs1} \cdot R_{L1}$$

$$v_{gs1} = i_{sig} \cdot R_1//R_2 - g_{m1} v_{gs1} R_{L1}$$

$$v_{gs1}(1+g_{m1}R_{L1}) = i_{sig} R_1//R_2$$

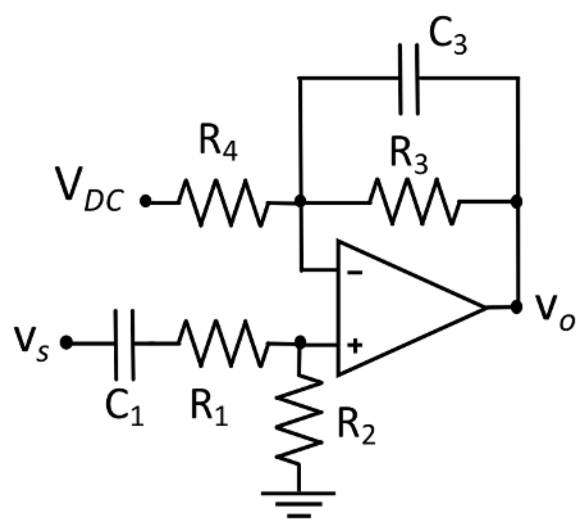
$$v_{gs1} = \frac{i_{sig} R_1//R_2}{1+g_{m1}R_{L1}}$$

$$\frac{i_L}{i_{sig}} = R_1//R_2 \cdot \frac{g_{m1}R_{L1}}{1+g_{m1}R_{L1}} \cdot g_{m2} \frac{R_5}{R_5+R_L} = 280$$

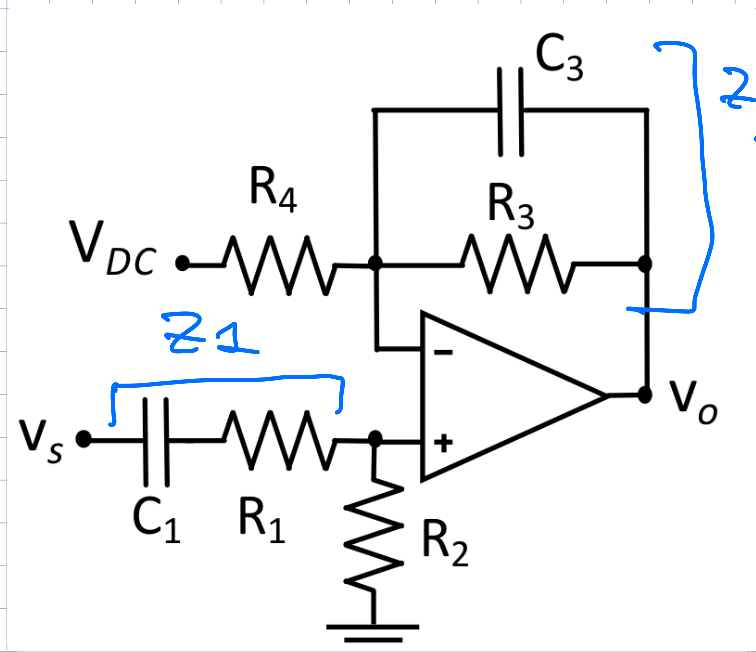
PROBLEMA P2

Sia dato il circuito in figura che usa un amplificatore operazionale ideale. Le resistenze hanno valore $R_1 = 99\ k\Omega$, $R_2 = 1\ k\Omega$, $R_3 = 990\ \Omega$, $R_4 = 10\ \Omega$. Le capacità valgono: $C_1 = 10\mu F$, $C_3 = 101nF$. $V_{DC} = 2$ V.

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, (per la fase non usare l'approssimazione a gradino).
3) Calcolare $v_o(t)$ sapendo che $v_s = 4V + 5V*\sin(\omega_o t)$ con $\omega_o = 10^4$ rad/s.



1) $W(s) = \dfrac{v_o}{v_s}$ (non si considera V_{DC} !)



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

$$Z_3 = \frac{R_3 \cdot \frac{1}{sC_3}}{R_3 + \frac{1}{sC_3}} = \frac{R_3}{1+sC_3R_3}$$

$$v_+ = v_s \cdot \frac{R_2}{R_2 + Z_1} = \frac{R_2}{R_2 + \frac{1+sC_1R_1}{sC_1}}\, v_s = \frac{sC_1R_2}{1+sC_1(R_1+R_2)}\, v_s$$

$$v_o = v_+\left(1 + \frac{Z_3}{R_4}\right) = v_+\left(\frac{R_4 + Z_3}{R_4}\right) = \frac{R_4 + \frac{R_3}{1+sC_3R_3}}{R_4}\, v_+$$

$$= \frac{R_4 + sC_3R_3R_4 + R_3}{R_4(1+sC_3R_3)}\, v_+ = \frac{R_3+R_4}{R_4} \cdot \frac{1+sC_3\, R_3//R_4}{1+sC_3R_3}\, v_+$$

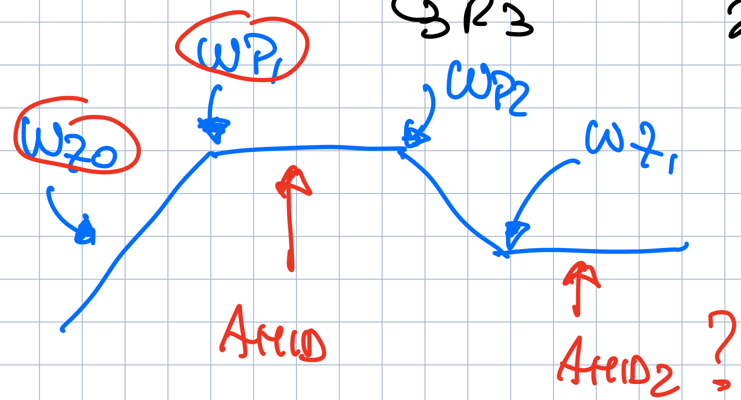
$$\Rightarrow \boxed{W(s) = \frac{v_o}{v_s} = \frac{R_3+R_4}{R_4} \cdot \frac{sC_1R_2}{1+sC_1(R_1+R_2)} \cdot \frac{1+sC_3\, R_3/\!/R_4}{1+sC_3R_3}}$$

$$\omega_{Z0} = \frac{1}{C_1R_2} = 10^2 \text{ rad/sec} \qquad \omega_{P1} = \frac{1}{C_1(R_1+R_2)} = 1 \ \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$\omega_{Z1} = \frac{1}{C_3\, R_3/\!/R_4} = 10^6 \text{ rad/sec} \qquad \omega_{P2} = \frac{1}{C_3R_3} = 10^4 \ \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

$$\underbrace{\frac{R_3+R_4}{R_4} = 100 = 40\,\text{dB}}$$

NON è $W(0)$
NON è A_{MID}

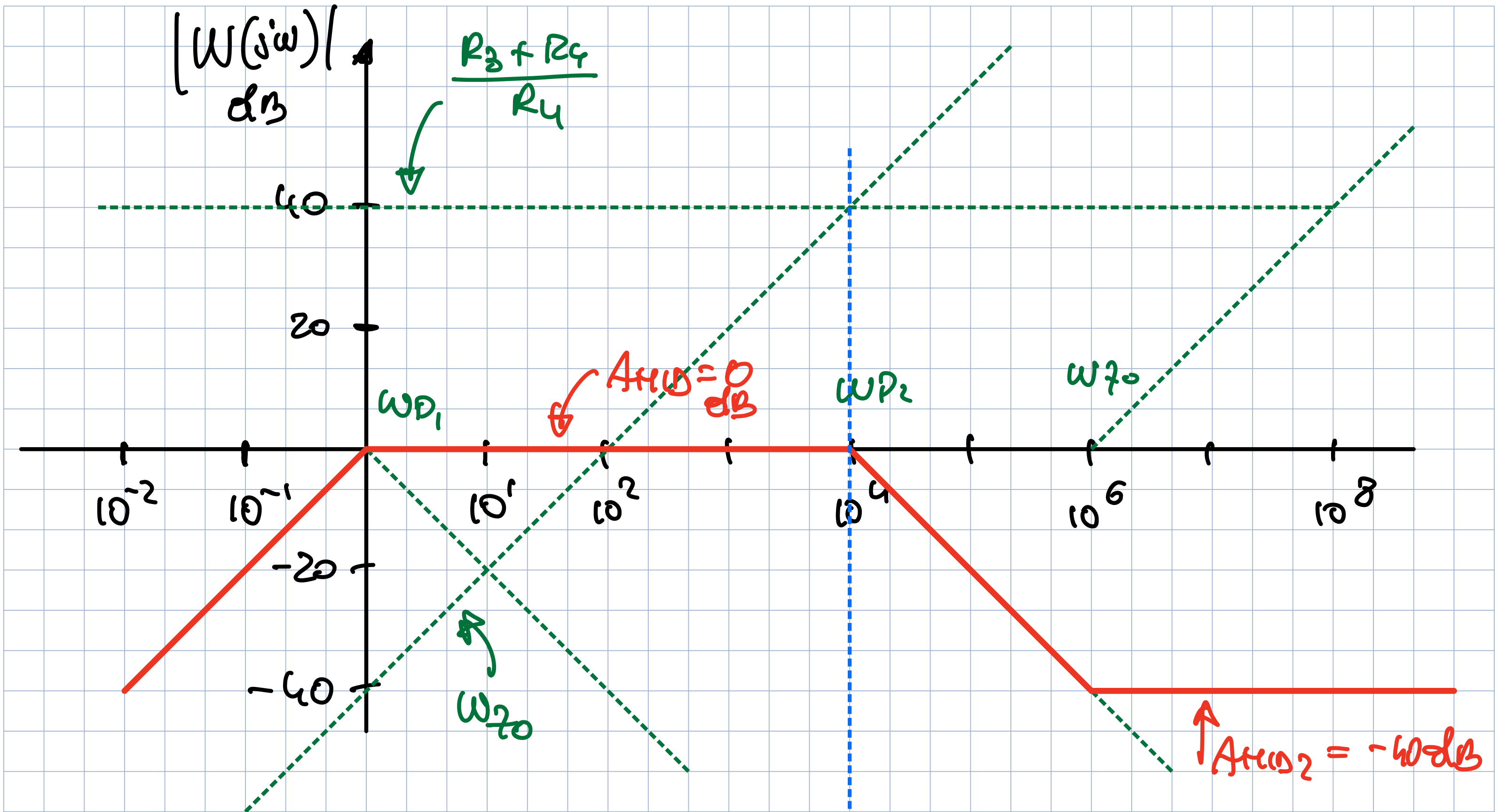


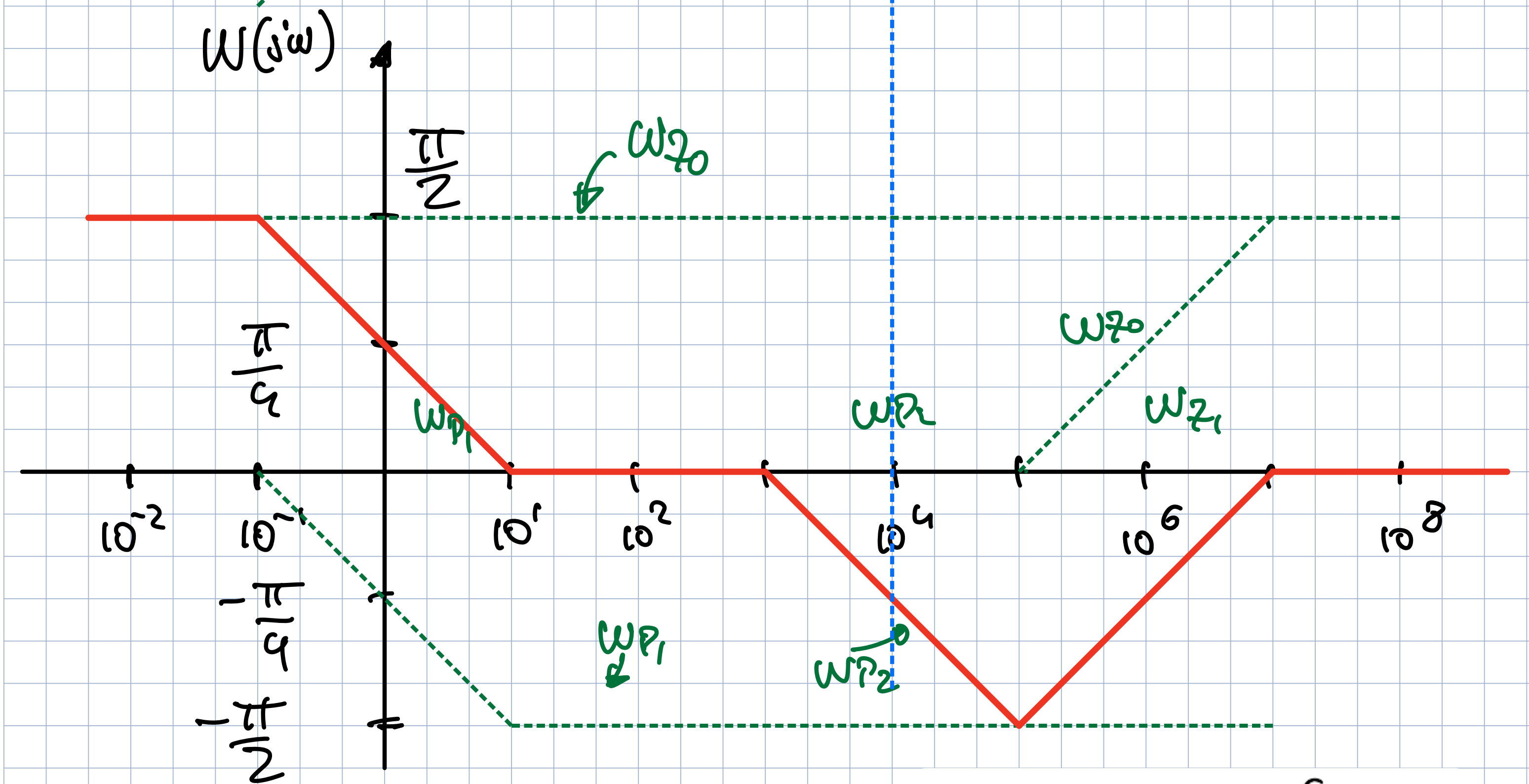
PER A_{MID} "RACCOLGO" ω_{Z0} e ω_{P1} e li scrivo come $(s+\omega)$ invece che $1+\frac{s}{\omega}$

$$W(s) = \underbrace{\frac{R_3+R_4}{R_4} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}}_{A_{MID}} \cdot \underbrace{\frac{s}{\frac{1}{C_1(R_1+R_2)}+s}}_{F_L(s)} \cdot \underbrace{\frac{1+sC_3\, R_3/\!/R_4}{1+sC_3R_3}}_{F_H(s)}$$

$$A_{MID} = 1 = 0\,\text{dB}$$

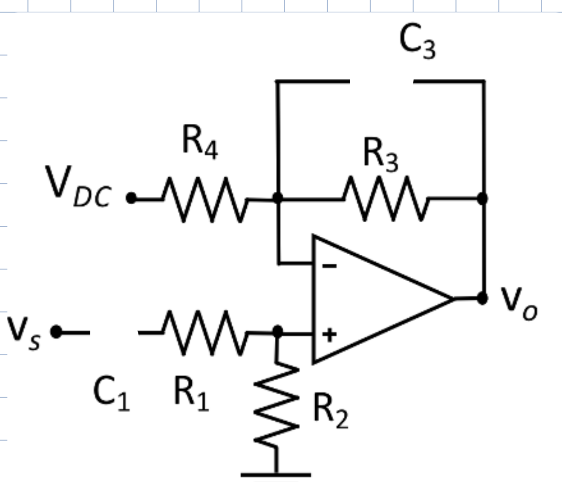
$$A_{MID2} = \frac{R_3+R_4}{R_4} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \frac{R_3/\!/R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1+R_2} = 0{,}01 = -40\,\text{dB}$$





CALCOLO DELLA Vo

CONSIDERO ORA LA VDC!
IN CONTINUA i "C"
SONO CIRCUITI APERTI



v_S viene annullato (sovrapp. effetti)

Comunque il fatto che C_1 è "open" v_S non avrebbe avuto nessun effetto!

$v_+ =$ MASSA (NON CIRCOLA CORRENTE SU R_1 E R_2)

$$V_o = V_{DC}\left(-\frac{R_3}{R_4}\right) = -99 V_{DC} = -99V = v_{ODC}$$

PER $\omega_0 = 10$ rad/sec

$$|W(j\omega_0)| = 0\,dB = 1$$

(VISTO CHE SONO NELLO SPEZZAMENTO POSSO DIRE $|A(j\omega_0)| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$)

$$\angle W(j\omega_0) = -\frac{\pi}{4}$$

$$W(0) = 0$$

NOTA BENE, C'È ZERO NELL'ORIGINE!

$$v_S = 2V + 5V \sin(\omega_0 t)$$

$$v_O = v_{ODC} + 2V \cdot W(0) + 5V \cdot |W(j\omega_0)| \sin\left(\omega_0 t + \angle W(j\omega_0)\right)$$

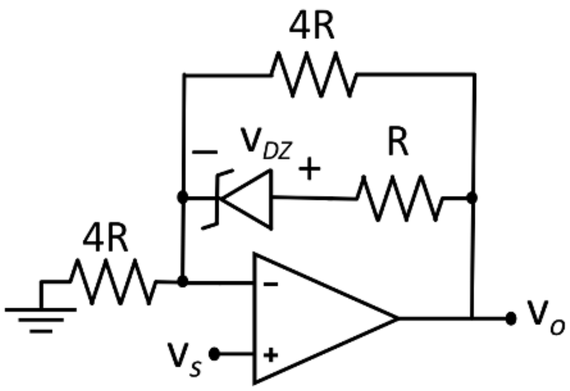
$$= -99V + 5\,V \sin\left(\omega_0 t - \frac{\pi}{4}\right)$$

OPPURE $\frac{5\,V}{\sqrt{2}} = 3{,}535V$

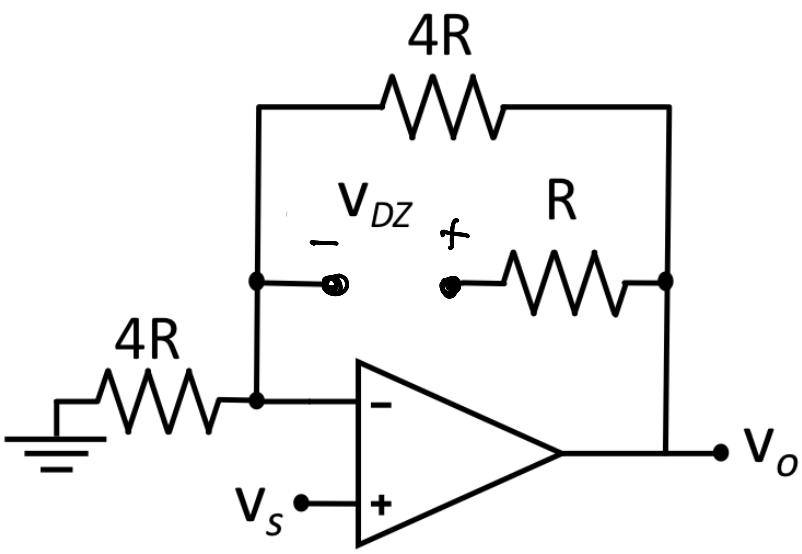
PROBLEMA Q1

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

1) Determinare i valori della tensione di ingresso per la quale il diodo è ON, OFF e in Breakdown.
2) Determinare v_o quando $v_s = +5$ V.
3) (*facoltativo*) tracciare la transcaratteristica del circuito.



Dati: $R_1 = 1\ k\Omega$, $V_{ON} = 0$, $V_Z = 5V$



Hp $D_Z = OFF$

$$\boxed{v_o = v_s\left(1 + \frac{4R}{4R}\right) = 2v_s}$$

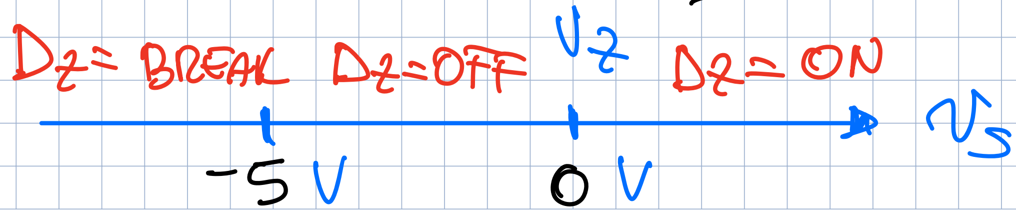
$$v_{DZ} = v_o - v_- = 2v_s - v_s = +v_s$$

DIODO ON $\quad v_{DZ} > 0 \Rightarrow v_s > 0$

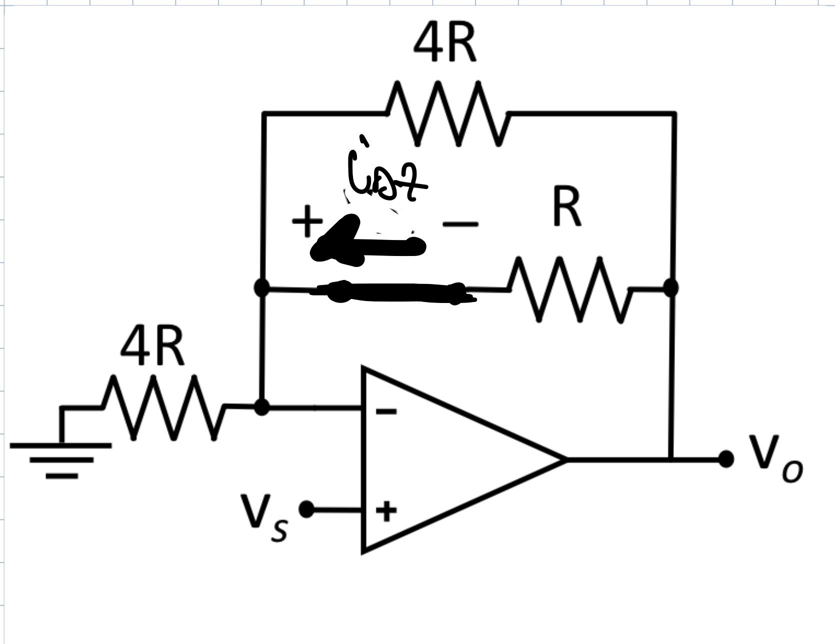
DIODO BREAK. $\quad v_{DZ} < -V_Z \quad v_s < -V_Z$

DIODO OFF $\quad -V_Z \leq v_{DZ} \leq 0 \quad V_{DZ} \leq v_s \leq 0$

$\Rightarrow$



2) CON $v_S = +5V \Rightarrow DZ =$ "ON"



$$4R//R = \frac{4R^2}{5R} = \frac{4}{5}R$$

$$v_o = v_S\left(1 + \frac{\frac{4}{5}R}{4R}\right) = v_S\left(1 + \frac{1}{5}\right)$$

$$\boxed{v_O = \frac{6}{5} v_S} = \underline{\underline{+6V}}$$

PER VERIFICA, PROVARE CHE $i_{DZ} > 0$

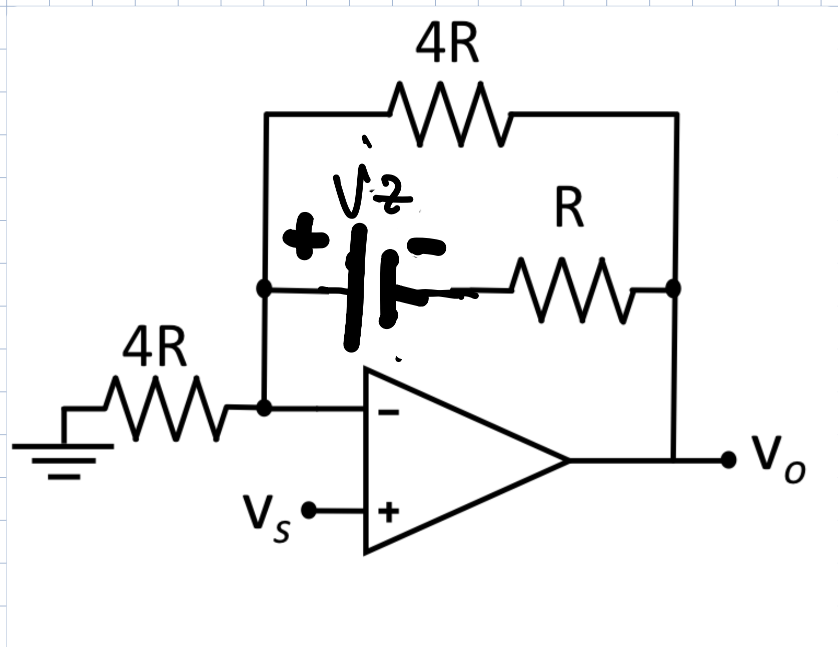
FACOLTATIVO

HO GIÀ CALCOLATO!

a) DIODO OFF $v_o = 2v_S$ $\quad -5V \leq v_S \leq 0V$

b) DIODO ON $v_o = \frac{6}{5} V_S = 1{,}2 V_S$ $\quad v_S > 0V$

c) DIODO BREAKDOWN $\quad v_S < -5V$

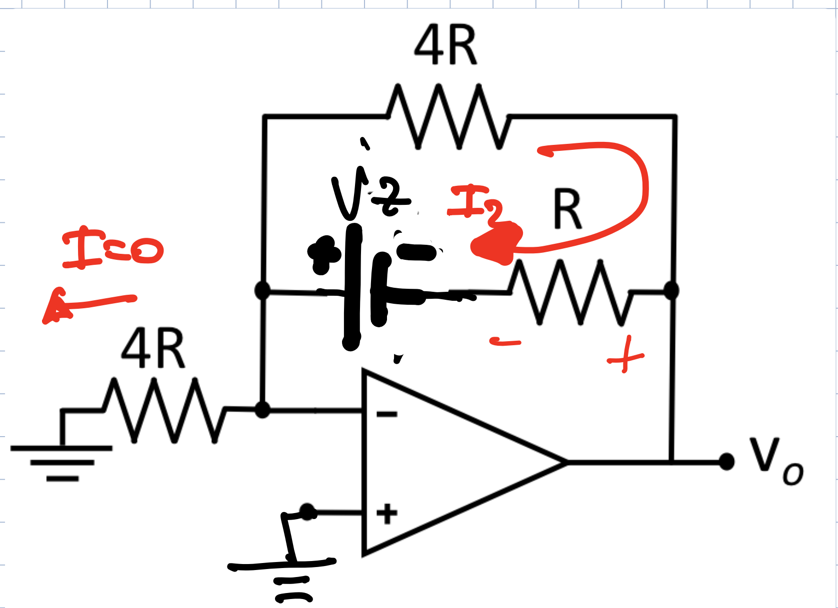


CONVIENE USARE SOVRAPP. EFFETTI

1) CON v_s e $V_Z = 0$ HO LA CONDIZIONE DIODO "ON"

$$\Rightarrow v_o' = \frac{6}{5} v_s$$

2) CON $v_s = 0$ e V_Z ATTIVO



$$I_2 = \frac{V_Z}{R+4R} = \frac{5V}{5R} = 1\,mA$$

$$v_o'' = -V_Z + I_2 R = -V_Z + \frac{V_Z}{5} = -\frac{4}{5} V_Z = -4V$$

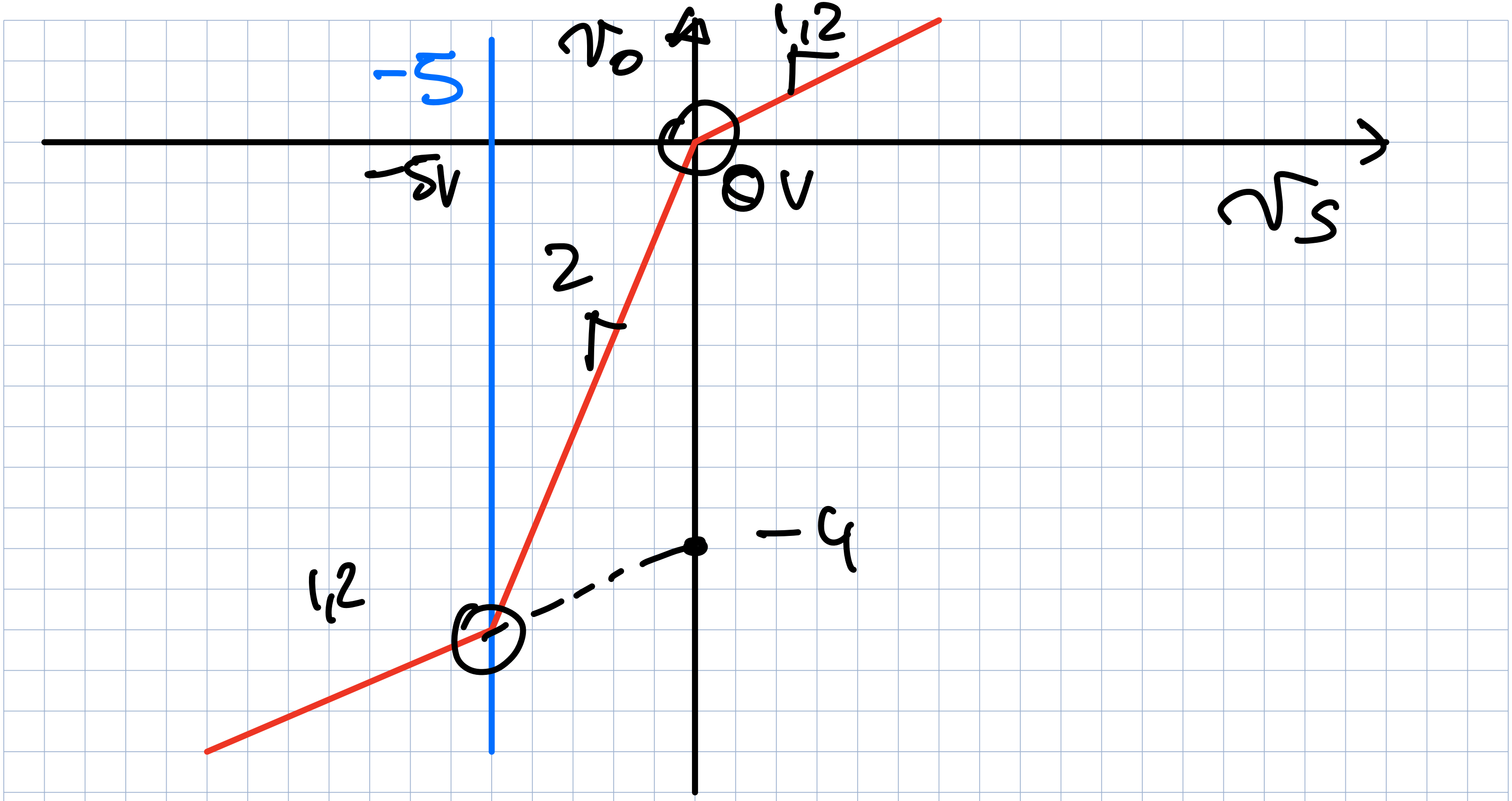
CON DIODO BREAK!

$$\Rightarrow v_o = \frac{6}{5} v_s - 4V$$

RACCORDI:

$v_s = 0$ → $2v_s = 0$; $\frac{6}{5} v_s = 0$ OK

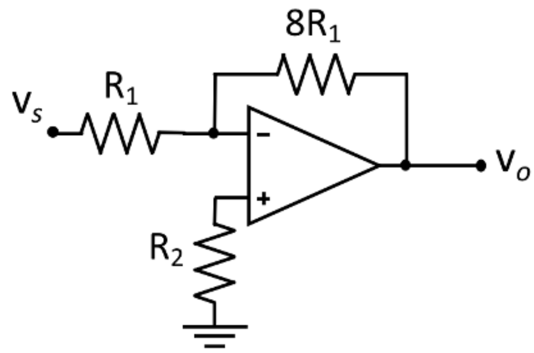
$v_s = -5$ → $v_o = 2v_s = -10V$; $v_o = -\frac{6}{5} 5 - 4V = -10V$



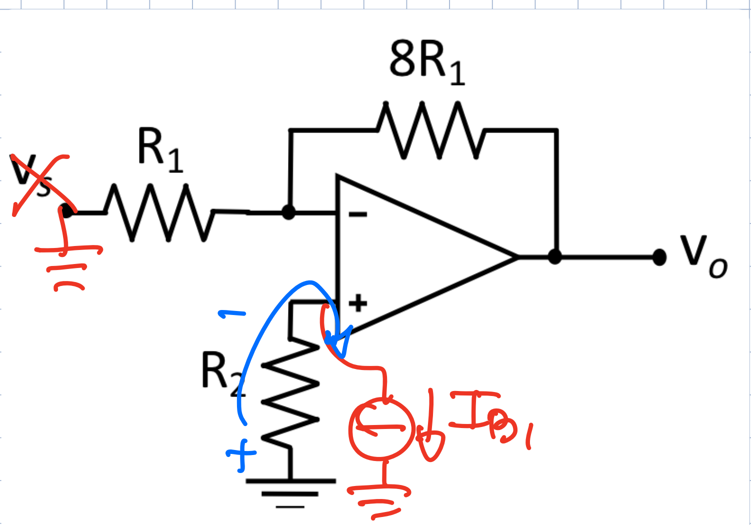
PROBLEMA Q2

Il circuito di figura impiega un AO quasi ideale con correnti di polarizzazione pari a I_{B1}=100nA (morsetto non invertente), I_{B2}=60nA (morsetto invertente).

1) Calcolare v_o considerando l'effetto delle sole correnti di polarizzazione (v_s=0). Trovare il valore di R_2 che annulla l'effetto delle correnti di BIAS.
2) Calcolare il valore di v_o considerando la sola tensione v_s = +3 V sapendo che l'AO è alimentato con +/- Vcc e determinare il valore della tensione del morsetto invertente, v_-.



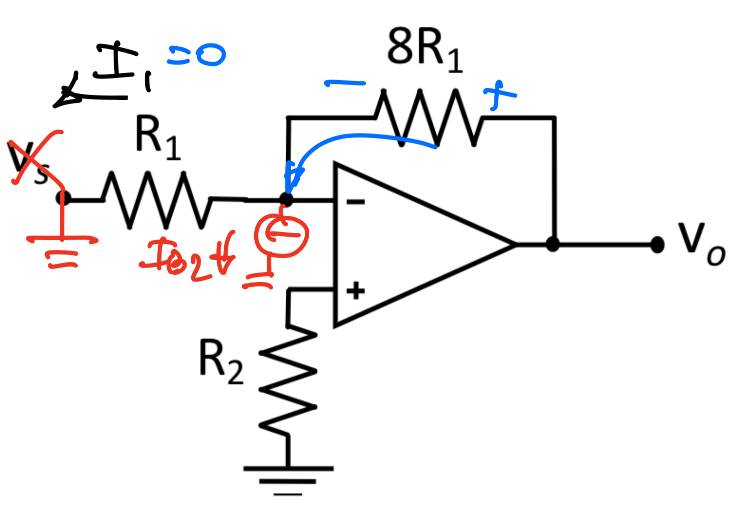
Dati: R_1 = 1 kΩ, R_2 = 1 kΩ v_s = +2 V, Vcc= 15V.



EFFETTO DI I_{B1}

$$v_+ = -I_{B1} R_2$$

$$v_o' = v_+\left(1 + \frac{8R_1}{R_1}\right) = -9 I_{B1} R_2 = 0,9\,mV$$



$v_o'' = 8R_1 I_{B2} = 0{,}48\ mV$

$\Rightarrow v_o = v_o' + v_o'' = -0{,}42\ mV$

X ANNULLARE EFFETTO $I_{B1,2}$:

$8R_1 I_{B2} - 9 I_{B1} R_2 = 0 \Rightarrow R_{2_{new}} = \frac{8}{9} \frac{I_{B2}}{I_{B1}} R_1 = 533{,}3\Omega$

2) Con $v_s = 3V$

$v_o = v_s \left(- \frac{8R_1}{R_1} \right) = -8 v_s = -24V$

VISTO CHE AO è ALIMENTATO A $\pm 15V$

$\Rightarrow v_o$ SATURA A $-15V$

$\Rightarrow v_o = -15V$

QUANDO A.O. SATURA $\Rightarrow v_{id}$ NON è PIù TRASCURABILE e NON VALE PIù LA MASSA VIRTUALE

$v_- = v_s \cdot \frac{8R_1}{R_1 + 8R_1} - V_{cc} \cdot \frac{R_1}{R_1 + 8R_1} = 1V$

PROBLEMA Q3

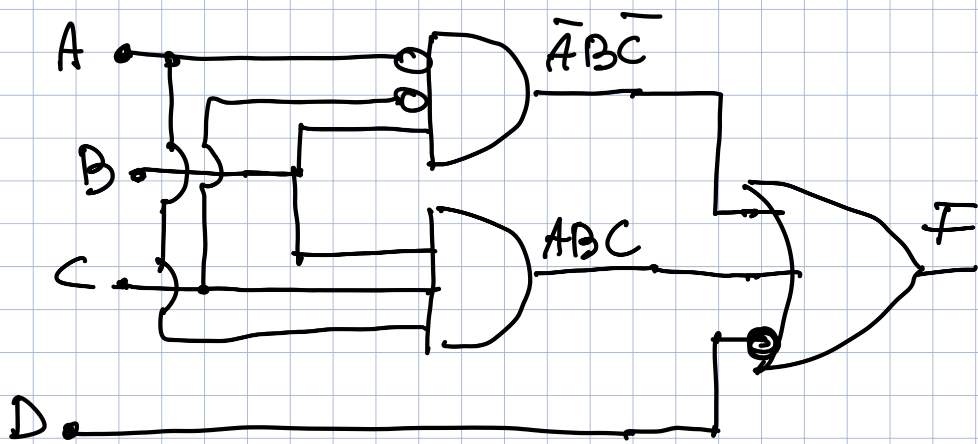
Data la seguente mappa di Karnaugh

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

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

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

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



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

$\boxed{\text{N.B. } \bar{A}\bar{C} \neq \overline{AC}}$

$(\overline{AC} + AC = 1)$