Simulazione compito n.1

Domande a risposta multipla

1)	B	6)	A	11)	B
2)	B	7)	C	12)	A
3)	C	8)	B	13)	B
4)	B	9)	B	14)	A
5)	A	10)	A	15)	B

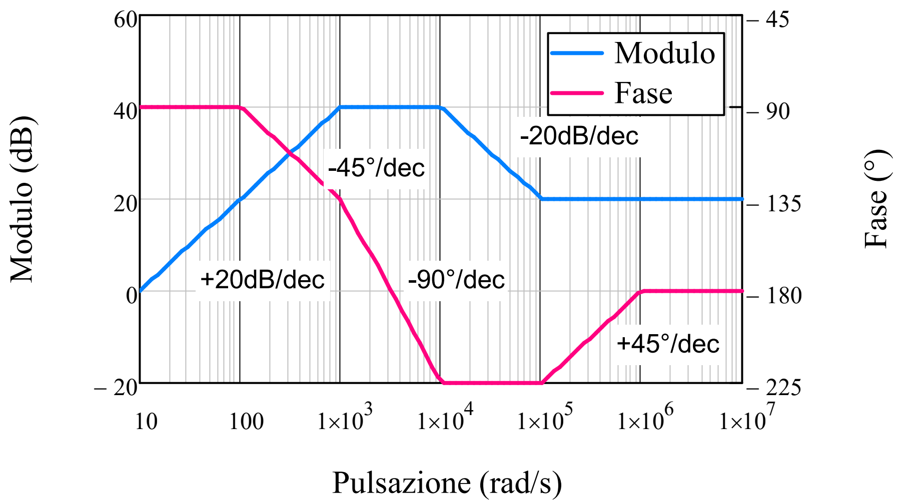
Risultati dei problemi

Problema 1

1. $k_{n3} = 2.5\ mA/V^2$
2. M1: $V_{GS1} = -1V$, $V_{DS1} = 4.5V$
   M2: $V_{GS2} = 3.8V$, $V_{DS2} = 3.8V$
   M3: $V_{GS3} = 3.8V$, $V_{DS3} = 6.5V$
3. $R_{IN} = 100k\Omega$, $R_{OUT} = 208\Omega$
4. $A_V = 0.968V$

Problema 2

1. $W(s) = \frac{-R_3}{R_2} \cdot \frac{s \cdot C_2 \cdot R_2 \cdot (1 + s \cdot R_1 \cdot C_1)}{(1 + s \cdot R_2 \cdot C_2) \cdot (1 + s \cdot R_3 \cdot C_3)}$
2. $C_1 = 10nF$
3. Diagramma di Bode



Problema 3

1. $V_{OUT} = 1.8V$,
2. $V_{OUT} = 5.25V$,
3. $V_{OUT} = 2.45V$

Problema 1

DATI:

$V_{DD} = 11V;$

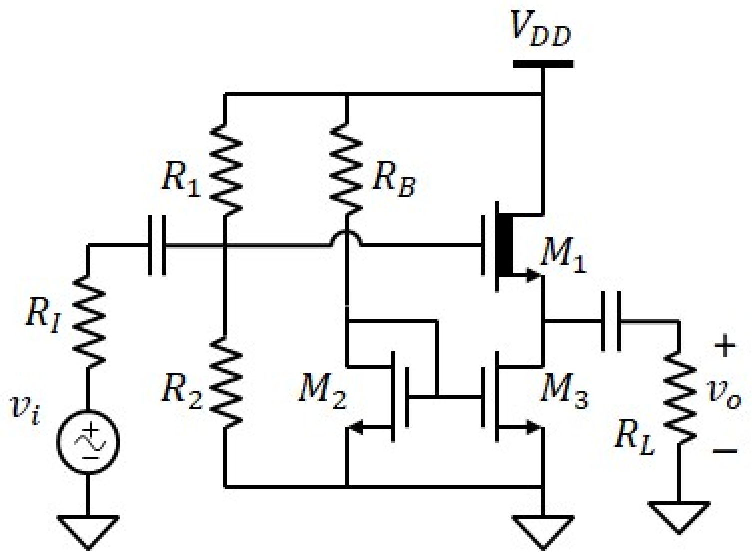
$R_1 = 200k\Omega,\ R_2 = 200k\Omega,\ R_B = 50k\Omega,$

$R_L = 10k\Omega,\ R_I = 1k\Omega;$

M1: $k_{n1} = 1.6mA\cdot V^{-2},\ V_{TN1} = -4V,\ \lambda_{n1} = 0$

M2: $k_{n2} = 0.05mA\cdot V^{-2},\ V_{TN2} = 1.4V,\ \lambda_{n2} = 0$

M3: $V_{TN3} = 1.4V,\ \lambda_{n3} = 0.001V^{-1}$



1) parametro k_{n3} per ottenere $I_{DS1} = 7.2mA$

(trascuriamo λ nell'analisi DC)

$$\frac{k_{n2}}{2}\left(V_{GS2} - V_{TN2}\right)^2 = \frac{V_{DD} - V_{GS2}}{R_B}$$

Poniamo $x = V_{GS2} - V_{TN2}$

$$\frac{R_B\cdot k_{n2}}{2}x^2 = V_{DD} - V_{TN2} - x$$

$$a = \frac{R_B\cdot k_{n2}}{2} = 1.25\cdot V^{-1} \qquad c = -V_{DD} + V_{TN2} = -9.6\,V \qquad a\cdot x^2 + x + c = 0$$

Soluzioni: $x_1 = \dfrac{-1 + \sqrt{1 - 4\cdot a\cdot c}}{2a} = 2.4\,V$ Accettabile

$x_2 = \dfrac{-1 - \sqrt{1 - 4\cdot a\cdot c}}{2a} = -3.2\,V$ Non accettabile

$$V_{GS2} = V_{TN2} + x_1 = 3.8\,V$$

$$I_{DS2} = \frac{k_{n2}}{2}\left(V_{GS2} - V_{TN2}\right)^2 = 0.144\cdot mA$$

$I_{DS3} = I_{DS1} = 7.2\cdot mA$ $\boxed{k_{n3} = k_{n2}\cdot\frac{I_{DS3}}{I_{DS2}} = 2.5\cdot\frac{mA}{V^2}}$

2) Punto di lavoro dei transistor

M1: $\boxed{V_{GS1} = V_{TN1} + \sqrt{\frac{2\cdot I_{DS1}}{k_{n1}}} = -1\,V}$ $\boxed{I_{DS1} = 7.2\cdot mA}$ $V_{G1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\cdot V_{DD} = 5.5\,V$

$V_{S1} = V_{G1} - V_{GS1} = 6.5\,V$ $\boxed{V_{DS1} = V_{DD} - V_{S1} = 4.5\,V}$ $V_{GS1} - V_{TN1} = 3\,V$ OK Saturazione

M2: $\boxed{V_{GS2} = 3.8\,V}$ $\boxed{V_{DS2} = V_{GS2} = 3.8\,V}$ $\boxed{I_{DS2} = 0.144\cdot mA}$

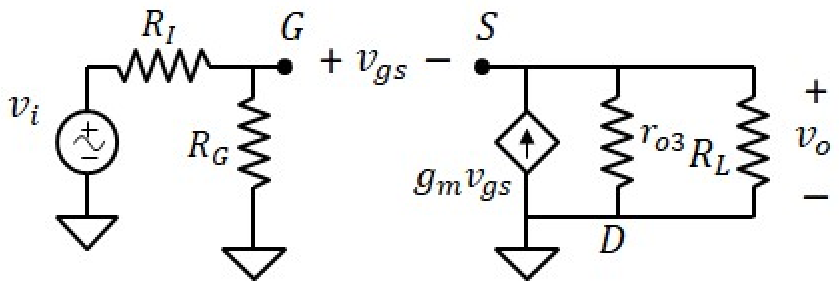
M3: $\boxed{V_{GS3} = V_{GS2} = 3.8\,V}$ $\boxed{V_{DS3} = V_{S1} - 0 = 6.5\,V}$ $\boxed{I_{DS3} = 7.2\cdot mA}$

$V_{GS3} - V_{TN3} = 2.4\,V$ OK Saturazione

3) Resistenza di ingresso e di uscita

Modello ai piccoli segnali (configurazione a drain comune):

M3: $$r_{o3} = \frac{2}{k_{n3}\cdot(V_{GS3} - V_{TN3})^2\cdot\lambda_{n3}} = 138.9\cdot k\Omega$$



$R_I = 1\cdot k\Omega$

$$R_g = \frac{R_1\cdot R_2}{R_1 + R_2} = 100\cdot k\Omega$$

$r_{o3} = 138.889\cdot k\Omega$

$g_m = k_{n1}\cdot(V_{GS1} - V_{TN1}) = 4.8\cdot mS$

$$\boxed{R_{IN} = R_g = 100\cdot k\Omega}$$

$$\boxed{R_{OUT} = \frac{r_{o3}}{1 + g_m\cdot r_{o3}} = 208\cdot\Omega}$$

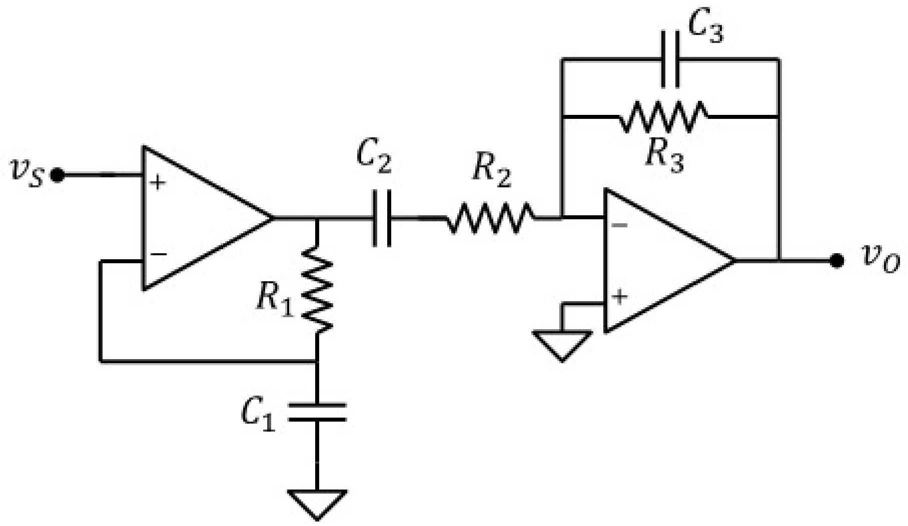
4) Guadagno di tensione

$$A_{vo} = \frac{g_m\cdot r_{o3}}{1 + g_m\cdot r_{o3}} = 0.999$$

$$\boxed{A_v = \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_I}\cdot A_{vo}\cdot\frac{R_L}{R_L + R_{OUT}} = 0.968}$$

Problema 2

DATI: $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 1k\Omega$, $R_3 = 100k\Omega$, $C_2 = 1\mu F$, $C_3 = 1nF$



1) Funzione di trasferimento

Primo stadio

$$v_{O1} = v_S \cdot (1 + R_1 \cdot j\omega \cdot C_1)$$

Secondo stadio (filtro passa-banda)

$$v_O = \frac{-R_3}{R_2} \cdot \frac{j\omega \cdot C_2 \cdot R_2}{(1 + j\omega \cdot R_2 \cdot C_2) \cdot (1 + j\omega \cdot R_3 \cdot C_3)} \cdot v_{O1} = \frac{-R_3}{R_2} \cdot \frac{j\omega \cdot C_2 \cdot R_2}{(1 + j\omega \cdot R_2 \cdot C_2) \cdot (1 + j\omega \cdot R_3 \cdot C_3)} \cdot (1 + R_1 \cdot j\omega \cdot C_1) \cdot v_S$$

La funzione ha uno zero singolo nell'origine, uno zero in: $\omega_{Z_1} = \frac{1}{R_1 \cdot C_1}$ e due poli in: $\omega_{P_1} = \frac{1}{R_2 \cdot C_2} = 1 \times 10^3 \cdot s^{-1}$

$$\omega_{P_2} = \frac{1}{R_3 \cdot C_3} = 1 \times 10^4 \cdot s^{-1}$$

$$\boxed{W(s) = \frac{-R_3}{R_2} \cdot \frac{\frac{s}{\omega_{P_1}} \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_{Z_1}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{P_1}}\right) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_{P_2}}\right)}}$$

2) valore di C_1 affinché i guadagno in alta frequenza abbia modulo $Wo = 10$

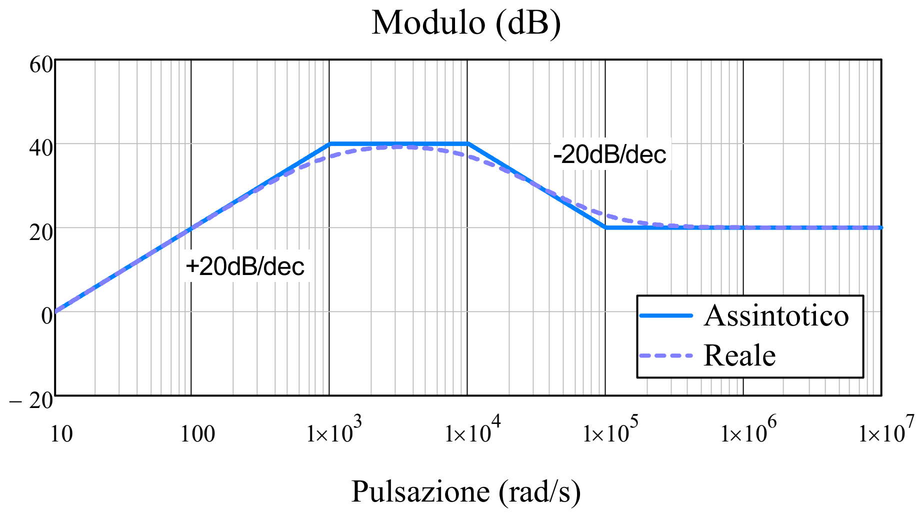
$$\lim_{w \to \infty} |W(\omega)| = \frac{R_1 \cdot C_1}{R_2 \cdot C_3} \qquad \boxed{C_1 = Wo \cdot \frac{R_2 \cdot C_3}{R_1} = 10 \cdot nF} \qquad \omega_{Z_1} = \frac{1}{R_1 \cdot C_1} = 1 \times 10^5 \cdot s^{-1}$$

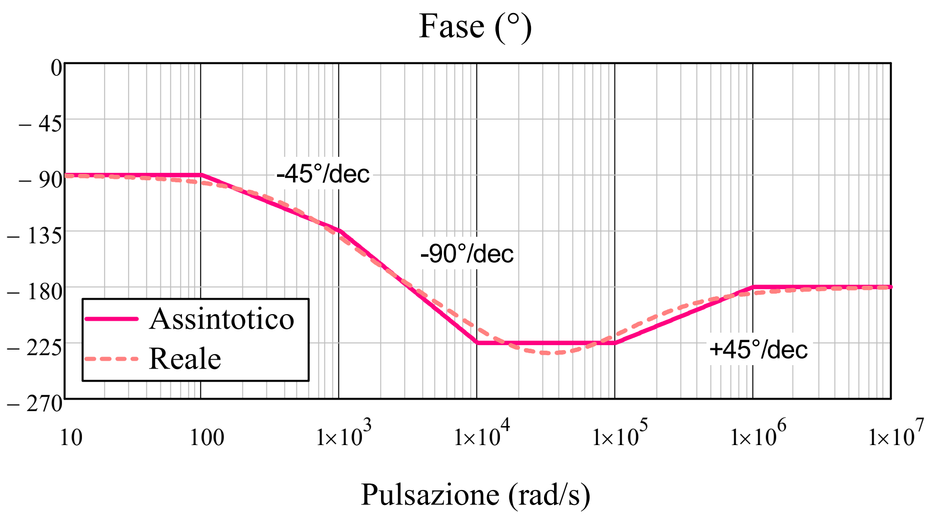
3) diagramma di Bode asintotico del modulo e della fase

$$W(s) = A \cdot \frac{\frac{s}{\omega_{P_1}} \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_{Z_1}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{P_1}}\right) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_{P_2}}\right)}$$

$$A = \frac{-R_3}{R_2} = -100$$

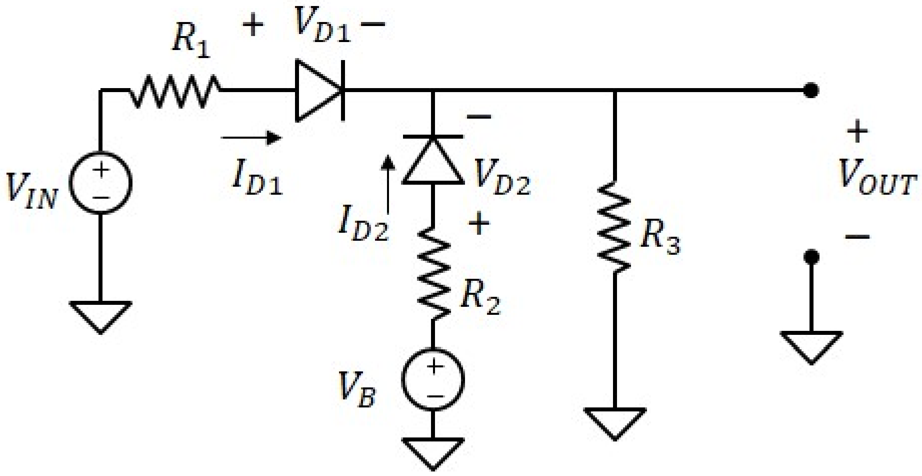
$$\omega_{P_1} = 1 \times 10^3 \cdot s^{-1} \qquad \omega_{P_2} = 1 \times 10^4 \cdot s^{-1} \qquad \omega_{Z_1} = 1 \times 10^5 \cdot s^{-1}$$





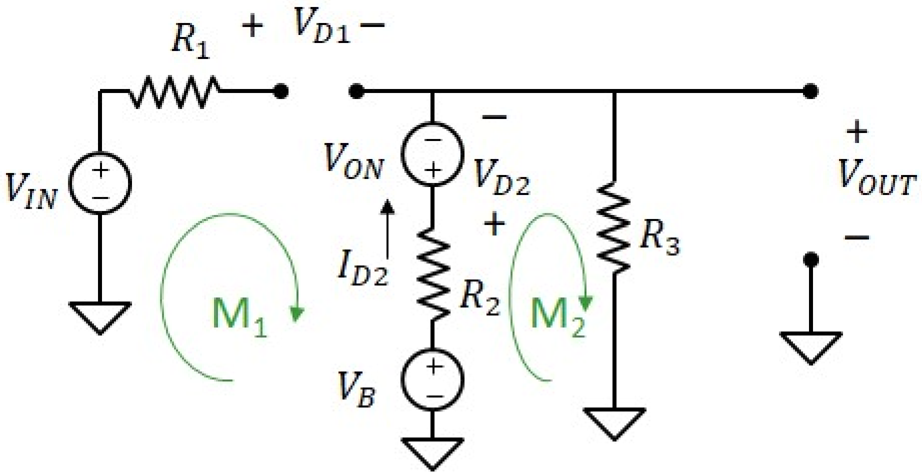
Problema 3

DATI: $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$, $R_3 = 3k\Omega$, $V_B = 4V$, $V_{ON} = 1V$



Calcolare la tensione di uscita V_{OUT} con $V_{IN} = 0$

Poichè $V_{IN} < V_B$ è plausibile che la corrente scorra in verso concorde con D2 e opposto a D1. Quindi ipotiziamo D1 OFF e D2 ON (condizione che deve essere verificata a posteriori)



<u>*Supponiamo:*</u> <u>*D1 OFF - D2 ON*</u>

La maglia M_1 è aperta
La maglia M_2 è chiusa

LdK a M_2:

$$V_B - R_2 \cdot I_{D2} - V_{ON} - R_3 \cdot I_{D2} = 0$$

$$I_{D2} = \frac{(V_B - V_{ON})}{R_2 + R_3} = 0.6 \cdot mA$$

Legge di Ohm su R_3:

$$V_{OUT} = \frac{(V_B - V_{ON})}{R_2 + R_3} \cdot R_3 = 1.8\,V$$

Verifichiamo le condizioni di polarizzazione:

$V_{D1} = V_{IN} - V_{OUT} = -1.8\,V$ < V_{ON} --> verificata l'ipotesi che D1 sia OFF

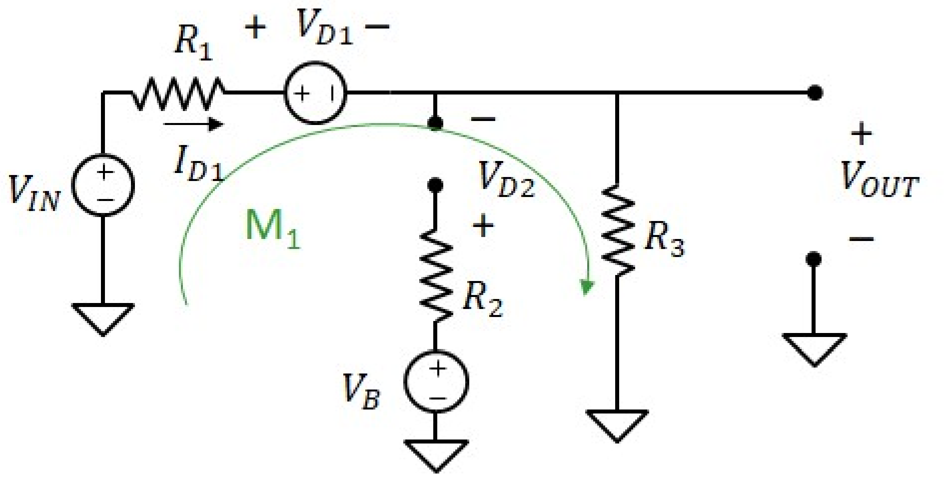
$I_{D2} > 0$ OK, verificata l'ipotesi che D2 sia ON

$$\boxed{V_{OUT} = 1.8\,V}$$

Calcolare la tensione di uscita V_{OUT} con $V_{IN} = 8V$

Poichè $V_{IN} > V_B$ è plausibile che la corrente scorra in verso concorde con D1 e opposto a D2. Quindi ipotiziamo D1 ON e D2 OFF (condizione che deve essere verificata a posteriori)

<u>*Supponiamo:*</u> <u>*D1 ON - D2 OFF*</u>



Legge di kirchhoff alla maglia M_1:

$$V_{IN} - R_1 \cdot I_{D1} - V_{ON} - R_3 \cdot I_{D1} = 0$$

$$I_{D1} = \frac{V_{IN} - V_{ON}}{R_1 + R_3} = 1.75 \cdot mA$$

$$V_{OUT} = R_3 \cdot I_{D1} = 5.25\,V$$

Vericfica della polarizzazione dei diodi:

D1: acceso. $I_{D1} > 0$ OK, verificata l'ipotesi che D1 sia ON

D2: spento. $V_{D2} = V_B - V_{OUT} = -1.25V$ $< V_{ON}$ --> verificata l'ipotesi che D2 sia OFF

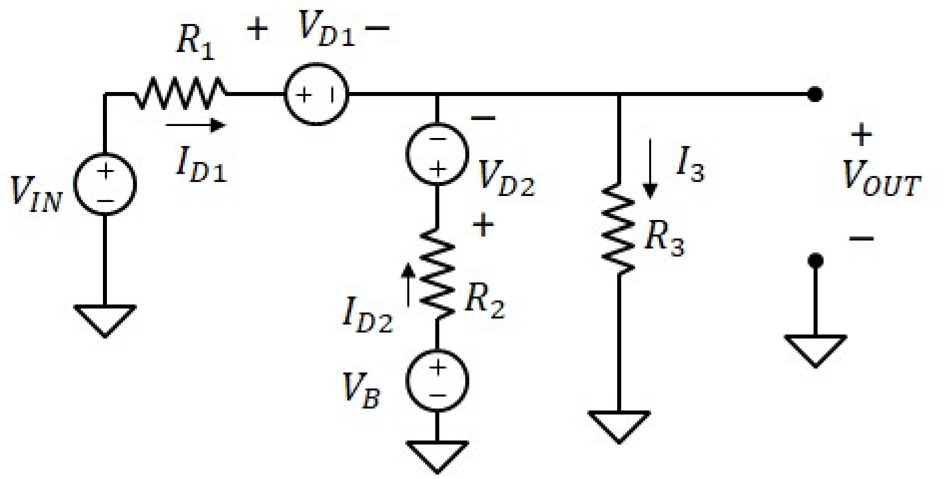
$$\boxed{V_{OUT} = 5.25\,V}$$

Calcolare la tensione di uscita V_{OUT} con $V_{IN} = 4V$

<u>*Supponiamo:*</u> <u>*D1 ON - D2 ON*</u>

Calcoliamo la tensione di uscita mediante la legge di kirchhoff al nodo di uscita usando come incognita V_{OUT}

$$I_{D1} + I_{D2} - I_3 = 0$$



Legge di Ohm su R_1: $$I_{D1} = \frac{V_{IN} - V_{ON} - V_{OUT}}{R_1}$$

Legge di Ohm su R_2: $$I_{D2} = \frac{V_B - V_{ON} - V_{OUT}}{R_2}$$

Legge di Ohm su R_3: $$I_3 = \frac{V_{OUT}}{R_3}$$

$$\frac{V_{IN} - V_{ON} - V_{OUT}}{R_1} + \frac{V_B - V_{ON} - V_{OUT}}{R_2} - \frac{V_{OUT}}{R_3} = 0$$

$$V_{OUT} = \left(\frac{V_{IN} - V_{ON}}{R_1} + \frac{V_B - V_{ON}}{R_2}\right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right)^{-1} = 2.45\,V$$

Vericfica della polarizzazione dei diodi:

$$I_{D1} = \frac{V_{IN} - V_{ON} - V_{OUT}}{R_1} = 0.545 \cdot mA \qquad I_{D1} > 0$$

OK, verificata l'ipotesi che D1 sia ON

$$I_{D2} = \frac{V_B - V_{ON} - V_{OUT}}{R_2} = 0.273 \cdot mA \qquad I_{D2} > 0$$

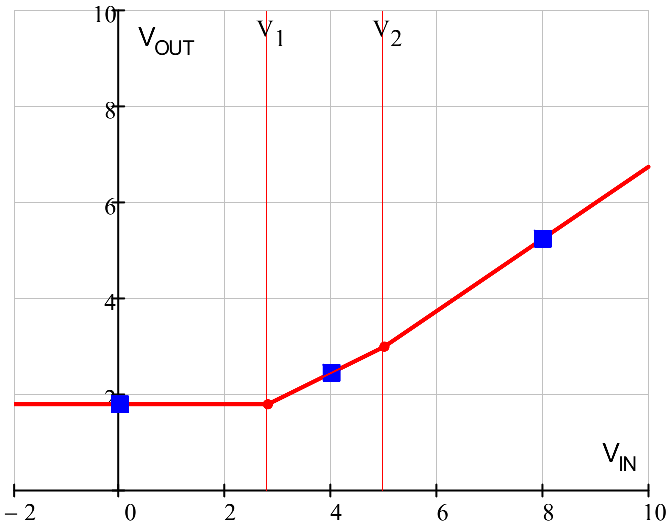
OK, verificata l'ipotesi che D2 sia ON

$$\boxed{V_{OUT} = 2.45\,V}$$

Tracciamo la transcaratteristica di V_{OUT} in funzione di V_{IN} (non richiesto dal problema)

Definiamo: $$V_1 = \frac{(V_B - V_{ON})}{R_2 + R_3} \cdot R_3 + V_{ON} = 2.8\,V \qquad V_2 = V_B \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_3}\right) - V_{ON} \cdot \frac{R_1}{R_3} = 5\,V$$

V_1 e V_2 sono i due valori di V_{IN} per i quali cambia il punto di lavoro dei diodi



$$V_{OUT}(0) = 1.8\,V$$

$$V_{OUT}(4V) = 2.455\,V$$

$$V_{OUT}(8V) = 5.25\,V$$

$$V_{OUT}(2.8V) = 1.8\,V$$

$$V_{OUT}(5V) = 3\,V$$

Simulazione compito n.2

Domande a risposta multipla

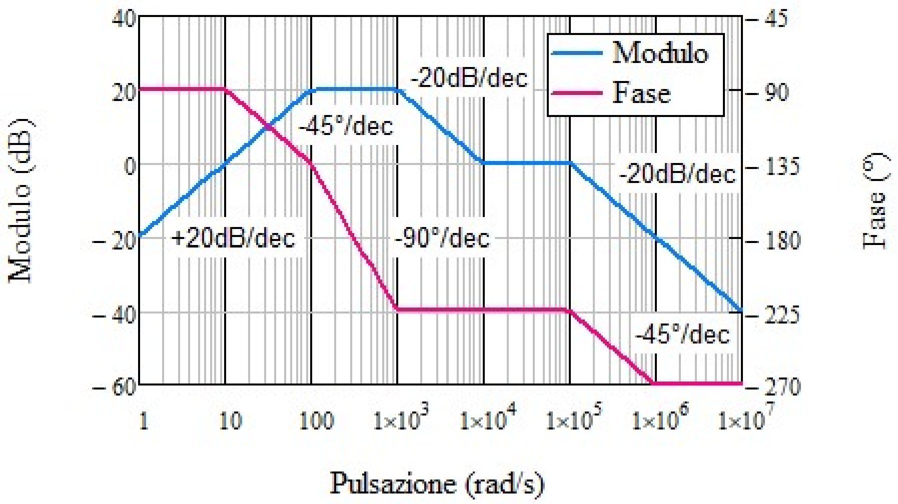
1)	C	6)	A	11)	A
2)	B	7)	A	12)	B
3)	B	8)	B	13)	A
4)	C	9)	C	14)	A
5)	B	10)	B	15)	B

Problema 1

1. $V_{GS1} = 4V$, $V_{DS1} = 8V$
   $V_{GS2} = 4.5V$, $V_{DS2} = 9V$
   $V_{GS3} = 3V$, $V_{DS3} = 11V$
   $V_{GS4} = 3V$, $V_{DS4} = 18V$
2. $g_{m1} = 1mS$, $g_{m2} = 4mS$
3. $R_{IN} = 889\Omega$, $R_{OUT} = 247\Omega$
4. $A_V = 4.79$

Problema 2

1. $$W(\omega) = -\left(\frac{R_2 + R_3}{R_1}\right)\cdot\frac{i\omega\cdot R_4\cdot C_4\cdot\left[1 + j\omega\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}\cdot\left(C_2 + C_3\right)\right]}{\left(1 + j\omega\cdot R_2\cdot C_2\right)\cdot\left(1 + j\omega\cdot R_3\cdot C_3\right)\cdot\left(1 + i\omega\cdot R_4\cdot C_4\right)}$$
2. Diagramma di Bode



3. $v_O(t) = 5V\cdot\sin\left(\omega_1\cdot t + -153°\right) + 0.5V\cdot\sin\left(\omega_2\cdot t - 225°\right)$

Problema 3

1. $I_O = 5mA$
2. $V_O = 5.5V$

Problema 1

DATI:

$V_{DD} = 12V,\ V_{SS} = -15V,$

$V_B = 3V,$

$R_1 = 8k\Omega,\ R_2 = 200k\Omega,\ R_3 = 200k\Omega,$

$R_I = 200\Omega,\ R_L = 1k\Omega$

M1: $k_{n1} = 0.5mA\cdot V^{-2},\ V_{TN1} = 2V$

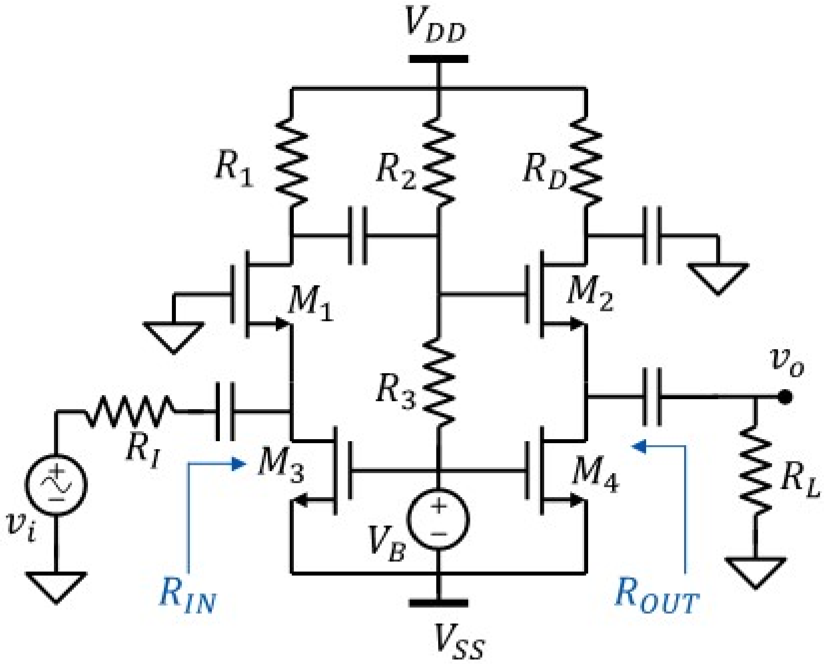
M2: $k_{n2} = 1.6mA\cdot V^{-2},\ V_{TN2} = 2V$

M3: $k_{n3} = 2mA\cdot V^{-2},\ V_{TN3} = 2V$

M4: $k_{n4} = 10mA\cdot V^{-2},\ V_{TN4} = 2V$

$\lambda_{n1} = \lambda_{n2} = 0$

$\lambda_{n3} = 0.01V^{-1},\ \lambda_{n4} = 0.01V^{-1}$



1) La polarizzazione di tutti i transistor in condizioni DC

MOSFET M3: $\boxed{V_{GS3} = V_B = 3\,V}$ $\quad I_{DS3} = \frac{k_{n3}}{2}\cdot(V_{GS3} - V_{TN3})^2 = 1\cdot mA$

MOSFET M4: $\boxed{V_{GS4} = V_B = 3\,V}$ $\quad I_{DS4} = \frac{k_{n4}}{2}\cdot(V_{GS4} - V_{TN4})^2 = 5\cdot mA$

MOSFET M1: $I_{DS1} = I_{DS3}$ $\quad \boxed{V_{GS1} = V_{TN1} + \sqrt{\frac{2\cdot I_{DS1}}{k_{n1}}} = 4\,V}$ $\quad V_{S1} = 0 - V_{GS1} = -4\,V$

$V_{D1} = V_{DD} - R_1\cdot I_{DS1} = 4\,V$ $\quad \boxed{V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = 8\,V}$ Saturazione

MOSFET M2: $I_{DS2} = I_{DS4}$ $\quad \boxed{V_{GS2} = V_{TN2} + \sqrt{\frac{2\cdot I_{DS2}}{k_{n2}}} = 4.5\,V}$

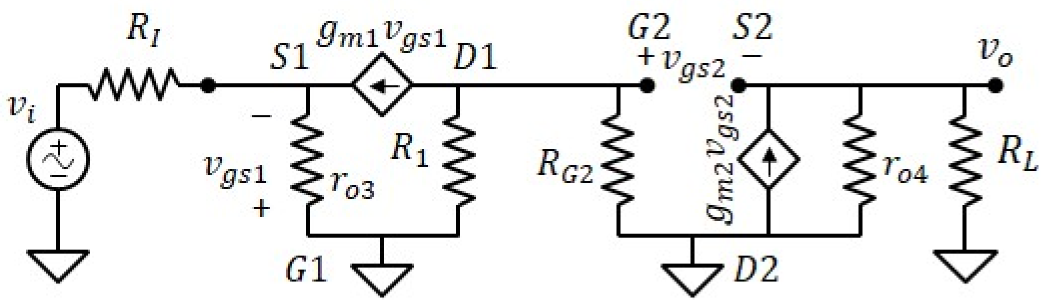
$V_{G2} = V_B + \frac{R_3}{R_2 + R_3}\cdot(V_{DD} - V_B) = 7.5\,V$ $\quad V_{S2} = V_{G2} - V_{GS2} = 3\,V$

$\boxed{V_{DS2} = V_{DD} - V_{S2} = 9\,V}$ Saturazione

$\boxed{V_{DS3} = V_{S1} - V_{SS} = 11\,V}$ Saturazione

$\boxed{V_{DS4} = V_{S2} - V_{SS} = 18\,V}$ Saturazione

2) Modello ai piccoli segnali



$$\boxed{g_{m1} = k_{n1}\cdot\left(V_{GS1} - V_{TN1}\right) = 1\cdot mS}$$

$$\boxed{g_{m2} = k_{n2}\cdot\left(V_{GS2} - V_{TN2}\right) = 4\cdot mS}$$

$$r_{o3} = \frac{2}{k_{n3}\cdot\left(V_{GS3} - V_{TN3}\right)^2\cdot\lambda_{n3}} = 100\cdot k\Omega$$

$$r_{o4} = \frac{2}{k_{n4}\cdot\left(V_{GS4} - V_{TN4}\right)^2\cdot\lambda_{n4}} = 20\cdot k\Omega$$

$$R_{G2} = \frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3} = 100\cdot k\Omega$$

3) resistenze di ingresso e uscita

Resistenza di ingresso dell'amplificatore:

$$\boxed{R_{IN} = \frac{R_1}{1 + R_1\cdot g_{m1}} = 0.889\cdot k\Omega}$$

Resistenza di ingresso del primo stadio (Gate Comune)

Resistenza di uscita dell'amplificatore:

$$\boxed{R_{OUT} = \frac{r_{o4}}{1 + r_{o4}\cdot g_{m2}} = 0.247\cdot k\Omega}$$

Resistenza di uscita del secondo stadio (Drain Comune)

4) Guadagno di tensione

1° Stadio: $A_{vo1} = R_1\cdot g_{m1} = 8$ $\quad R_{OUT1} = R_1 = 8\cdot k\Omega$

2° Stadio: $A_{vo2} = \dfrac{r_{o4}\cdot g_{m2}}{1 + r_{o4}\cdot g_{m2}} = 0.988$ $\quad R_{IN2} = R_{G2} = 100\cdot k\Omega$

$$A_{vo} = A_{vo1}\cdot\frac{R_{IN2}}{R_{IN2} + R_{OUT1}}\cdot A_{vo2} = 7.32$$

$$\frac{R_{IN2}}{R_{IN2} + R_{OUT1}} = 0.926$$

$$\boxed{A_v = \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_I}\cdot A_{vo}\cdot\frac{R_L}{R_{OUT} + R_L} = 4.79}$$

$$\frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_I} = 0.82 \qquad \frac{R_L}{R_{OUT} + R_L} = 0.8$$

Problema 2

DATI:

$R_1 = 1.1k\Omega$

$R_2 = 1k\Omega$

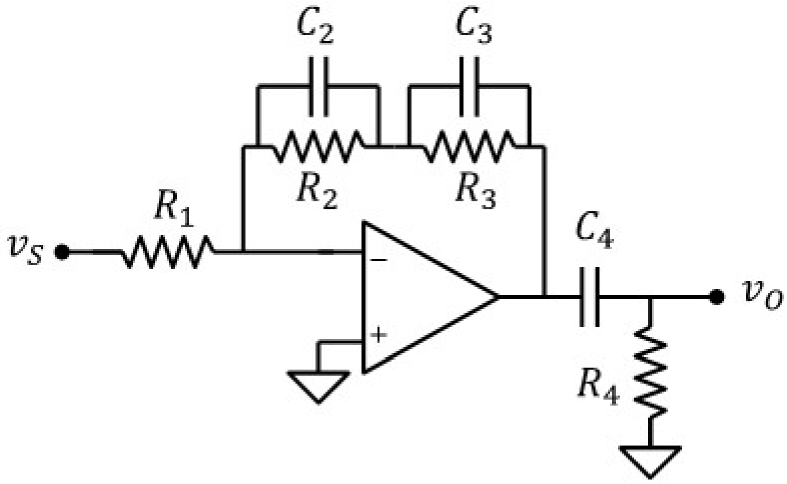
$C_2 = 10nF$

$R_3 = 10k\Omega$

$C_3 = 100nF$

$R_4 = 100k\Omega$

$C_4 = 100nF$



1) Funzione di trasferimento

Tensione di uscita dell'operazionale: $$v_{AO} = -\frac{Z_{23}}{R_1}\cdot v_S$$

con: $Z_{23} = Z_2 + Z_3$ $\quad Z_2 = \dfrac{R_2}{1 + j\omega\cdot R_2\cdot C_2}$ $\quad Z_3 = \dfrac{R_3}{1 + j\omega\cdot R_3\cdot C_3}$

$$Z_{23} = \frac{R_2}{1 + j\omega\cdot R_2\cdot C_2} + \frac{R_3}{1 + j\omega\cdot R_3\cdot C_3} = \left(R_2 + R_3\right)\cdot\frac{1 + j\omega\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}\cdot\left(C_2 + C_3\right)}{\left(1 + j\omega\cdot R_2\cdot C_2\right)\cdot\left(1 + j\omega\cdot R_3\cdot C_3\right)}$$

$$v_{AO} = -\left(\frac{R_2 + R_3}{R_1}\right)\cdot\frac{1 + j\omega\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}\cdot\left(C_2 + C_3\right)}{\left(1 + j\omega\cdot R_2\cdot C_2\right)\cdot\left(1 + j\omega\cdot R_3\cdot C_3\right)}\cdot v_S$$

Tensione di uscita (regola del partitore):

$$v_O = v_{AO}\cdot\frac{R_4}{R_4 + \frac{1}{i\omega\cdot C_4}} = -\left(\frac{R_2 + R_3}{R_1}\right)\cdot\frac{1 + j\omega\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}\cdot\left(C_2 + C_3\right)}{\left(1 + j\omega\cdot R_2\cdot C_2\right)\cdot\left(1 + j\omega\cdot R_3\cdot C_3\right)}\cdot\frac{i\omega\cdot R_4\cdot C_4}{1 + i\omega\cdot R_4\cdot C_4}\cdot v_S$$

$$\frac{v_O}{v_S} = -\left(\frac{R_2 + R_3}{R_1}\right)\cdot\frac{i\omega\cdot R_4\cdot C_4\cdot\left[1 + j\omega\cdot\frac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}\cdot\left(C_2 + C_3\right)\right]}{\left(1 + j\omega\cdot R_2\cdot C_2\right)\cdot\left(1 + j\omega\cdot R_3\cdot C_3\right)\cdot\left(1 + i\omega\cdot R_4\cdot C_4\right)}$$

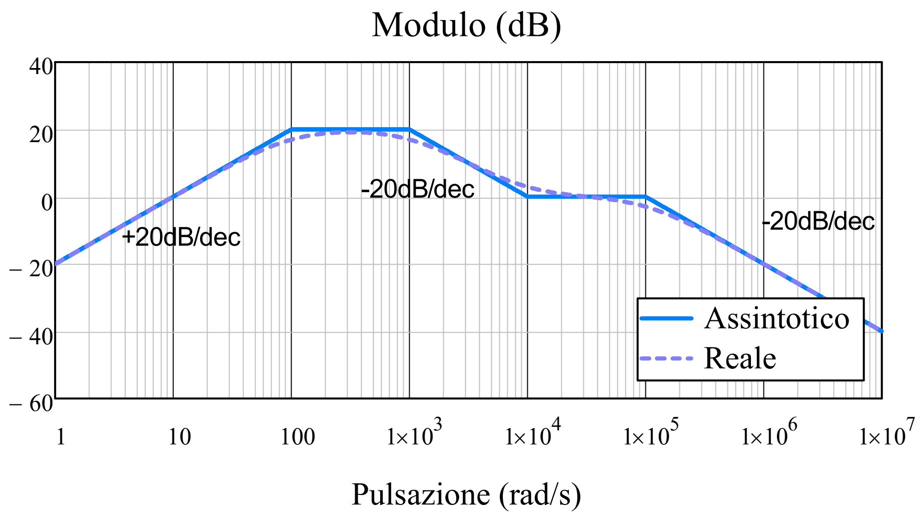
Poli reali: $\omega_{P_1} = \left(R_4\cdot C_4\right)^{-1} = 100\cdot s^{-1}$ $\quad \omega_{P_2} = \left(R_3\cdot C_3\right)^{-1} = 1\times 10^3\cdot s^{-1}$ $\quad \omega_{P_3} = \left(R_2\cdot C_2\right)^{-1} = 1\times 10^5\cdot s^{-1}$

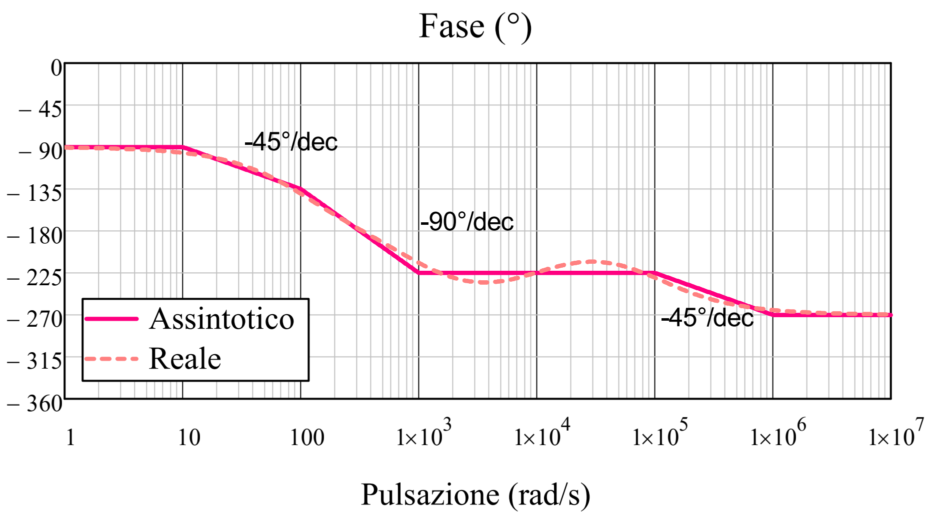
Zeri reali: $\omega_{Z_1} = \left[\dfrac{R_2\cdot R_3}{R_2 + R_3}\cdot\left(C_2 + C_3\right)\right]^{-1} = 1\times 10^4\cdot s^{-1}$

$$\boxed{W(s) = A\cdot\frac{\frac{s}{\omega_{P_1}}\cdot\left(1 + \frac{s}{\omega_{Z_1}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{P_1}}\right)\cdot\left(1 + \frac{s}{\omega_{P_2}}\right)\cdot\left(1 + \frac{s}{\omega_{P_3}}\right)}}$$

$$A = -\left(\frac{R_2 + R_3}{R_1}\right) = -10$$

2) diagramma di Bode asintotico del modulo e della fase





3) Ampiezza e fase del segnale di uscita, con segnale di ingresso:

$V_{S1} = 0.5V, \quad \omega_1 = 500s^{-1}, \quad \varphi_1 = 45°$

$V_{S2} = 0.5V, \quad \omega_2 = 5\cdot 10^4 s^{-1}, \quad \varphi_2 = 0$

$v_S(t) = V_{S1}\cdot\sin(\omega_1\cdot t + \varphi_1) + V_{S2}\cdot\sin(\omega_2\cdot t + \varphi_2)$

Guadagno in ω_1 $\qquad W_1 = 20dB \qquad A_1 = 10^{\frac{W_1}{20}} = 10 \qquad \boxed{V_{O1} = A_1\cdot V_{S1} = 5\,V}$

Fase in ω_1: $\qquad \Delta\varphi_1 = -135° - 90°\cdot\log\left(\frac{\omega_1}{100s^{-1}}\right) = -198\cdot° \qquad \boxed{\varphi_{O1} = \varphi_1 + \Delta\varphi_1 = -153\cdot°}$

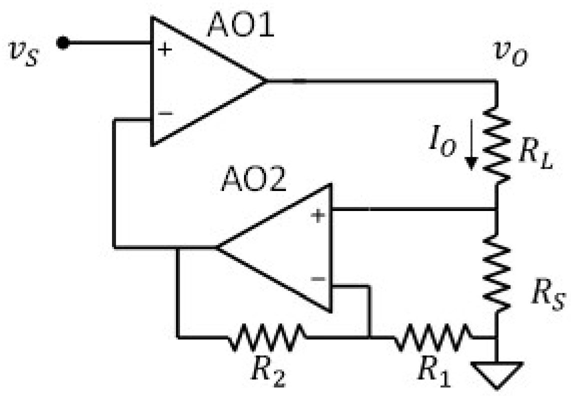
Guadagno in ω_2 $\qquad W_2 = 0dB \qquad A_2 = 10^{\frac{W_2}{20}} = 1 \qquad \boxed{V_{O2} = A_2\cdot V_{S2} = 0.5\,V}$

Fase in ω_2: $\qquad \Delta\varphi_2 = -225° \qquad \boxed{\varphi_{O2} = \varphi_2 + \Delta\varphi_2 = -225\cdot°}$

$$\boxed{v_O(t) = V_{O1}\cdot\sin(\omega_1\cdot t + \varphi_{O1}) + V_{O2}\cdot\sin(\omega_2\cdot t + \varphi_{O2})}$$

Problema 3

DATI:
$R_1 = 1k\Omega,\ R_2 = 9k\Omega,\ R_S = 100\Omega,\ R_L = 1k\Omega,\ v_S = 5V$



1) Corrente I_O .

AO2 è in configurazione non invertente:
Per il principio del cortocircuito virtuale

$$v_{O2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot R_S \cdot I_O = v_S$$

$$\boxed{I_O = \frac{v_S}{R_S} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 5 \cdot mA}$$

(Non dipende dal valore di R_L)

2) Tensione v_O

$$\boxed{v_O = \left(R_L + R_S\right) \cdot I_O = 5.5\,V}$$

Simulazione compito n.3

Domande a risposta multipla

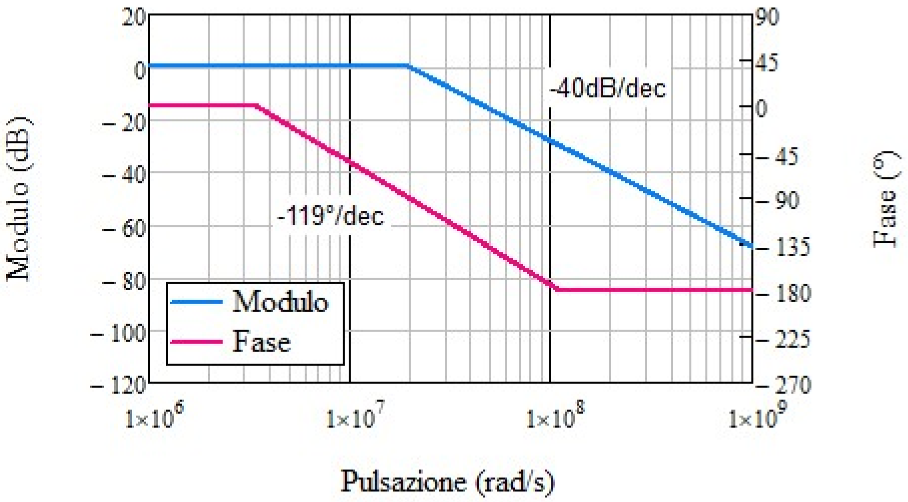
1)	B	6)	C	11)	B
2)	B	7)	A	12)	C
3)	B	8)	A	13)	B
4)	A	9)	B	14)	C
5)	B	10)	A	15)	B

Problema 1

1. $V_{GS1} = 1.5V$, $V_{DS1} = 2.5V$
   $V_{GS2} = 1.5V$, $V_{DS2} = 2.5V$
   $V_{GS3} = 2V$, $V_{DS3} = 3.5V$
2. $A_d = 8$
3. $A_c = -0.04$
4. $CMRR = 200$
5. $R_{OUT} = 8k\Omega$

Problema 2

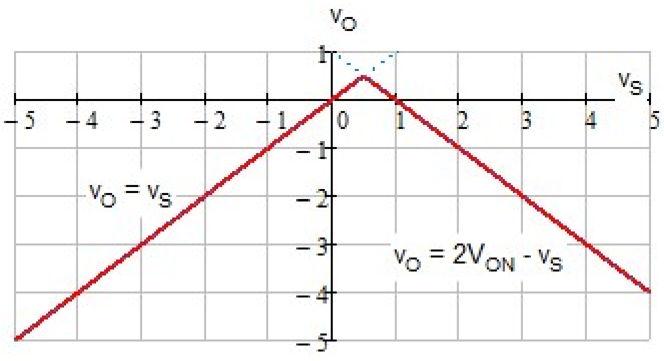
1. $W(s) = \dfrac{1}{\left(1 + 2C_1 \cdot R_1 \cdot s + s^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_1^2\right)}$
2. Diagramma di Bode



Problema 3

$v_O = v_S$ se $v_S < V_{ON}$

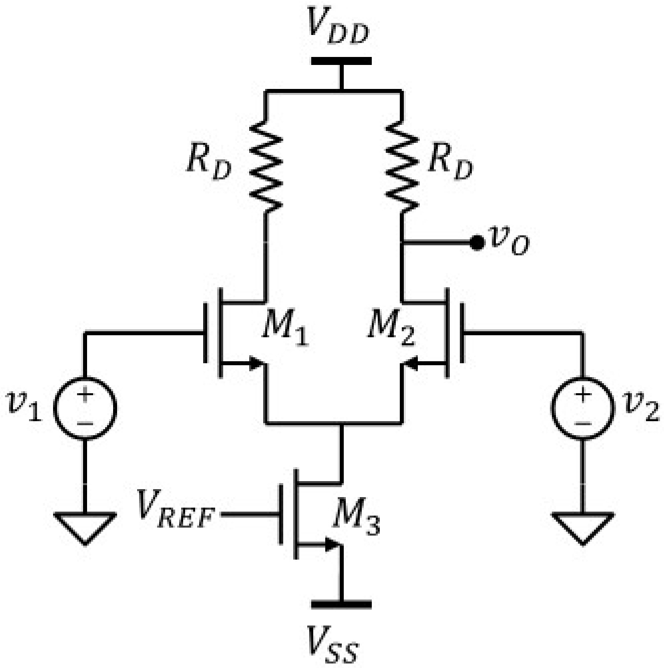
$v_O = 2V_{ON} - v_S$ se $v_S > V_{ON}$



Problema 4

1. $v_O = -13mV$
2. $v_S = 1.18mV$

Problema 1



DATI:

$V_{DD} = 5V,\ V_{SS} = -5V,\ V_{REF} = -3V,\ R_D = 8k\Omega;$

M1 e M2: $k_{n1} = 4mA \cdot V^{-2},\ k_{n2} = 4mA \cdot V^{-2},\ V_{TN} = 1V$

M3: $k_{n3} = 2mA \cdot V^{-2};\ \lambda_{n3} = 0.01V^{-1}$

1) Punto di polarizzazione dei MOSFET con $v_1 = v_2 = 0V$

Corrente attraverso il MOSEFT M_3

$$\boxed{V_{GS3} = V_{REF} - V_{SS} = 2\,V}$$

$$\boxed{I_{DS3} = \frac{k_{n3}}{2} \cdot (V_{GS3} - V_{TN})^2 = 1 \cdot mA}$$

$$\boxed{I_{DS1} = \frac{I_{DS3}}{2} = 0.5 \cdot mA} \quad \boxed{I_{DS2} = I_{DS1} = 0.5 \cdot mA}$$

$$\boxed{V_{GS1} = V_{TN} + \sqrt{\frac{2 \cdot I_{DS1}}{k_{n1}}} = 1.5\,V} \quad \boxed{V_{GS2} = V_{GS1} = 1.5\,V}$$

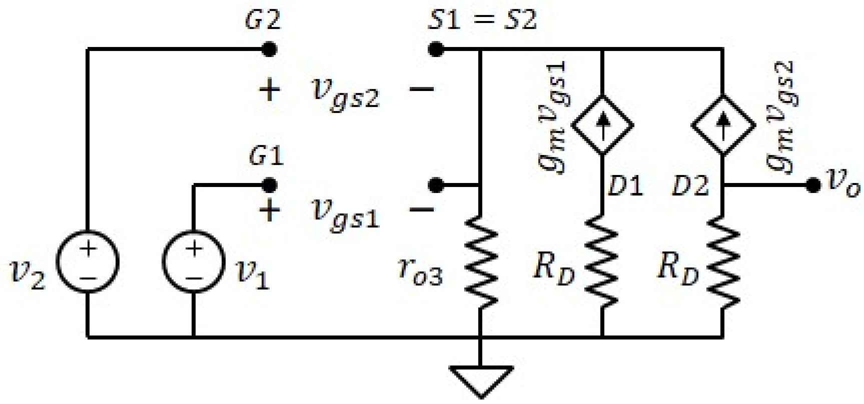
$$V_{G1} = 0 \quad V_{S1} = V_{G1} - V_{GS1} = -1.5\,V \quad V_{D1} = V_{DD} - I_{DS1} \cdot R_D = 1\,V$$

$\boxed{V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = 2.5\,V}$ $\quad V_{GS1} - V_{TN} = 0.5\,V$ $\quad$ OK, M1 Saturazione $\quad \boxed{V_{DS2} = V_{DS1} = 2.5\,V}$

$\boxed{V_{DS3} = V_{S1} - V_{SS} = 3.5\,V}$ $\quad V_{GS3} - V_{TN} = 1\,V$ $\quad$ OK, M3 Saturazione

2) Guadagno differenziale

Modello ai piccoli segnali



$$r_{o3} = \frac{2}{k_{n3} \cdot (V_{GS3} - V_{TN})^2 \cdot \lambda_{n3}} = 100 \cdot k\Omega$$

$$R_D = 8 \cdot k\Omega$$

$$g_m = k_{n1} \cdot (V_{GS1} - V_{TN}) = 2 \cdot mS$$

Solo modo differenziale $\quad v_1 = \frac{v_d}{2} \quad v_2 = -\frac{v_d}{2}$

legge di kirchhoff in S1=S2: $\quad g_m \cdot \left(\frac{v_d}{2} - v_s\right) + g_m \left(\frac{-v_d}{2} - v_s\right) = \frac{v_s}{r_{o3}} \quad v_s = 0 \quad v_{gs2} = v_2 = \frac{-v_d}{2}$

$$v_o = -g_m \cdot v_{gs2} \cdot R_D = -R_D \cdot g_m \cdot \left(-\frac{v_d}{2}\right) \quad \boxed{A_d = \frac{R_D \cdot g_m}{2} = 8}$$

3) Guadagno di modo comune

Solo modo comune $v_1 = v_2 = v_c$

legge di kirchhoff in S1=S2: $g_m \cdot (v_c - v_s) + g_m (v_c - v_s) = \frac{v_s}{r_{o3}}$ $\quad v_s = \frac{2 \cdot g_m \cdot r_{o3}}{1 + 2 \cdot g_m \cdot r_{o3}} \cdot v_c$

$$v_{gs1} = v_c - v_s = \frac{1}{1 + 2 \cdot g_m \cdot r_{o3}} \cdot v_c$$

$$v_o = -g_m \cdot v_{gs1} \cdot R_D = -R_D \cdot g_m \cdot \frac{1}{1 + 2 \cdot g_m \cdot r_{o3}} \cdot v_c$$

$$\boxed{A_c = \frac{-R_D \cdot g_m}{1 + 2 \cdot g_m \cdot r_{o3}} = -0.04}$$

4) CMRR

$$\boxed{CMRR = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| = 200}$$

5) resistenza di uscita

$$\boxed{R_{OUT} = R_D = 8 \cdot k\Omega}$$

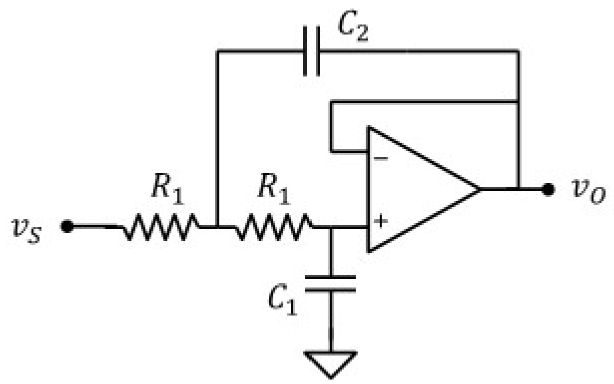
Problema 2

DATI:

$R_1 = 10\Omega$

$C_1 = 3.9\text{nF},$

$C_2 = 6.8\text{nF}$



1) Funzione di trasferimento

$$v_O = v_P = v_N \cdot \frac{1}{1 + i\omega \cdot C_1 \cdot R_1} \qquad v_P = \left(1 + i\omega \cdot C_1 \cdot R_1\right) \cdot v_O$$

Dalla legge di kirchhoff:
$$v_A = \frac{\dfrac{v_S}{R_1} + v_O \cdot i\omega \cdot C_2}{\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{i\omega \cdot C_1}{1 + i\omega \cdot R_1 \cdot C_1} + i\omega \cdot C_2} = \frac{v_S + v_O \cdot i\omega \cdot R_1 \cdot C_2}{1 + \dfrac{i\omega \cdot R_1 \cdot C_1}{1 + i\omega \cdot R_1 \cdot C_1} + i\omega \cdot R_1 \cdot C_2}$$

$$\left(1 + i\omega \cdot C_1 \cdot R_1\right) \cdot v_O = \frac{v_S + v_O \cdot i\omega \cdot R_1 \cdot C_2}{1 + \dfrac{i\omega \cdot R_1 \cdot C_1}{1 + i\omega \cdot R_1 \cdot C_1} + i\omega \cdot R_1 \cdot C_2}$$

$$\left[1 + i\omega \cdot R_1 \cdot C_1 + i\omega \cdot R_1 \cdot C_1 + i\omega \cdot R_1 \cdot C_2 + (i\omega)^2 \cdot R_1{}^2 \cdot C_2 \cdot C_1\right] \cdot v_O = v_S + v_O \cdot i\omega \cdot R_1 \cdot C_2$$

$$\left[1 + 2i\omega \cdot R_1 \cdot C_1 + (i\omega)^2 \cdot R_1{}^2 \cdot C_2 \cdot C_1\right] \cdot v_O = v_S$$

$$v_O = \frac{v_S}{\left[1 + 2 \cdot i\omega \cdot C_1 \cdot R_1 + (i\omega)^2 \cdot C_2 \cdot C_1 \cdot R_1{}^2\right]}$$

Poniamo:
$$\omega_P = \frac{1}{R_1 \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2}} = 1.94 \times 10^7 \cdot s^{-1} \qquad \delta = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} = 0.757$$

$$v_O = \frac{v_S}{\left[1 + \dfrac{i\omega}{\omega_P} \cdot 2 \cdot \delta + \left(\dfrac{i\omega}{\omega_P}\right)^2\right]}$$

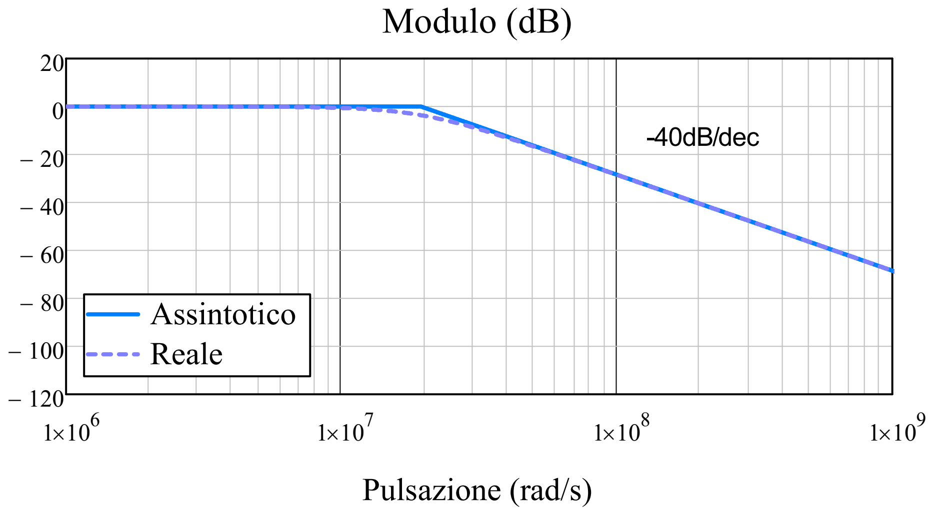
Funzione di trasferimento

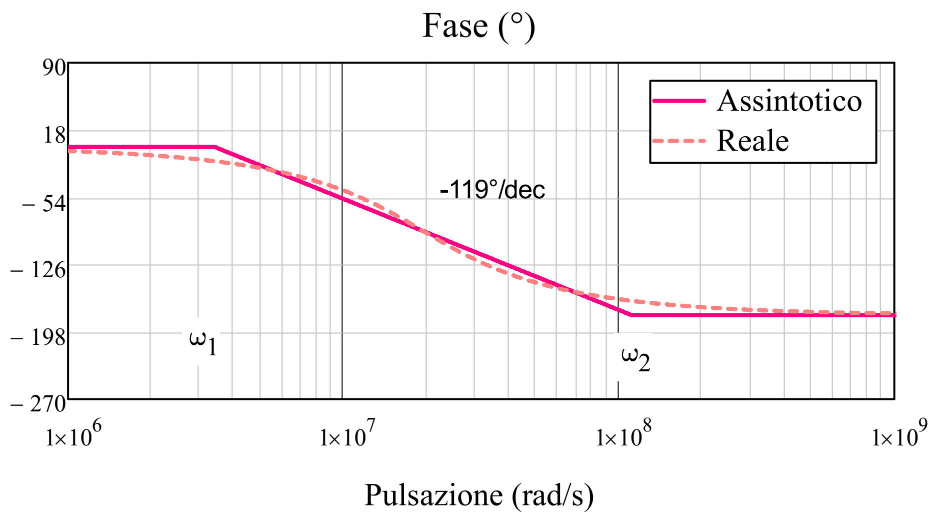
$$W(s) = \frac{A}{\left[1 + \frac{s}{\omega_P}\cdot 2\cdot\delta + \left(\frac{s}{\omega_P}\right)^2\right]}$$

$A = 1$ $\qquad \omega_P = 1.94 \times 10^7 \cdot s^{-1}$

$\delta = 0.76$

2) diagramma di Bode asintotico del modulo e della fase



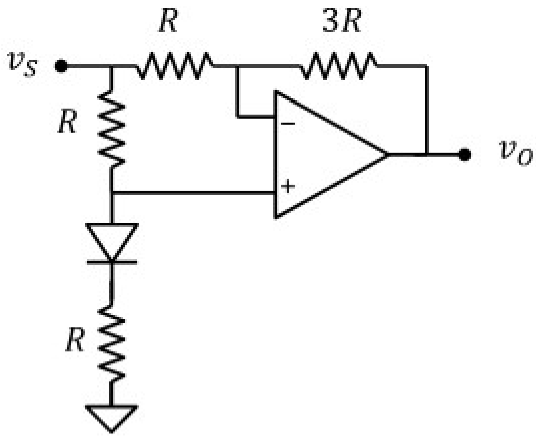


$\omega_1 = \omega_P \cdot 10^{-\delta} = 3.4 \times 10^6 \cdot s^{-1}$

$\omega_2 = \omega_P \cdot 10^{\delta} = 1.11 \times 10^8 \cdot s^{-1}$

Problema 3

DATI: $V_{ON} = 0.5V$



Transcaratteristica

Supponiamo il diodo ON

Corrente attraverso il diodo: $i_D = \dfrac{v_S - V_{ON}}{2R}$

Potenziale del terminale non invertente:

$$v_P = V_{ON} + R \cdot i_D = V_{ON} + \frac{v_S - V_{ON}}{2} = \frac{V_{ON}}{2} + \frac{v_S}{2}$$

Potenziale del terminale invertente (cortocircuito virtuale): $v_N = v_P$

tensione di uscita: $v_O = v_N - 3R \cdot \left(\dfrac{v_S - v_N}{R}\right) = 4 \cdot v_N - 3v_S = 4 \cdot \left(\dfrac{V_{ON}}{2} + \dfrac{v_S}{2}\right) - 3v_S$ $\boxed{v_O = 2V_{ON} - v_S}$

Condizione di validità: $i_D > 0$ $\boxed{v_S > V_{ON}}$

Supponiamo il diodo OFF

Potenziale del terminale non invertente:

$$v_P = v_N = v_S$$

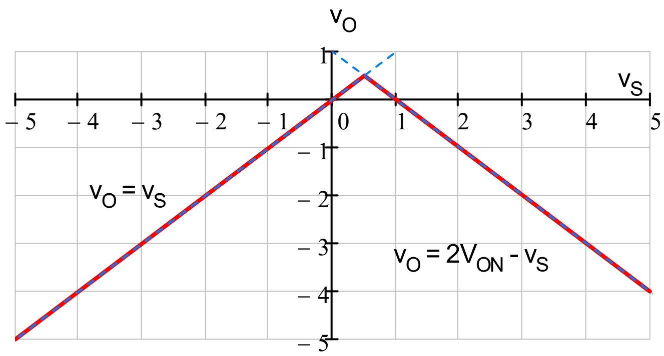
tensione di uscita:

$$v_O = 4v_S - 3v_S = v_S$$

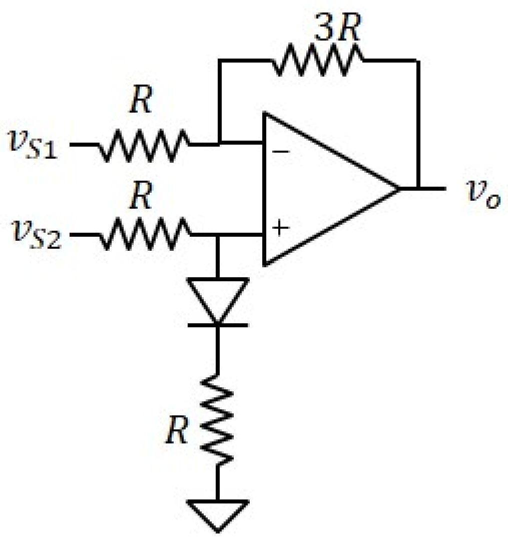
Condizione di validità: $v_D < V_{ON}$

$$v_D = v_S - 0$$

$$\boxed{v_S < V_{ON}}$$



Metodo alternativo: usare la sovrapposizione degli effetti con il seguente circuito e imponendo $v_{S1} = v_{S2} = v_S$ alla fine dei conti:



La regione di funzionamento del diodo e il potenziale v_P dipendono solo dal generatore v_{S2}:

Diodo ON: $i_D = \dfrac{v_{S2} - V_{ON}}{2R}$ $i_D > 0$ se $v_{S2} > V_{ON}$

$$v_P = V_{ON} + R \cdot i_D = \frac{V_{ON} + v_{S2}}{2}$$

Dalla sovrapposizione degli effetti:

$$v_O = v_P \cdot \left(1 + \frac{3R}{R}\right) - \frac{3R}{R} \cdot v_{S1} = 4 \frac{V_{ON} + v_S}{2} - 3v_S = 2V_{ON} - v_S$$

Diodo OFF: $v_p = v_{S2}$ valida se $v_{S2} < V_{ON}$

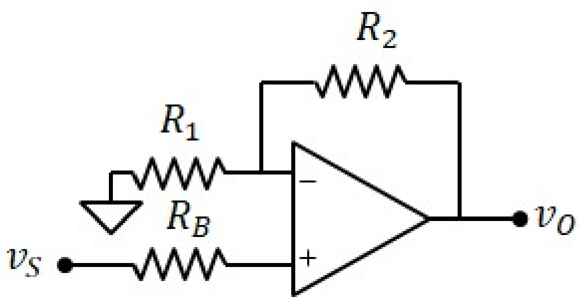
Dalla sovrapposizione degli effetti:

$$v_O = v_P \cdot \left(1 + \frac{3R}{R}\right) - \frac{3R}{R} \cdot v_{S1} = 4v_S - 3v_S = v_S$$

Problema 4

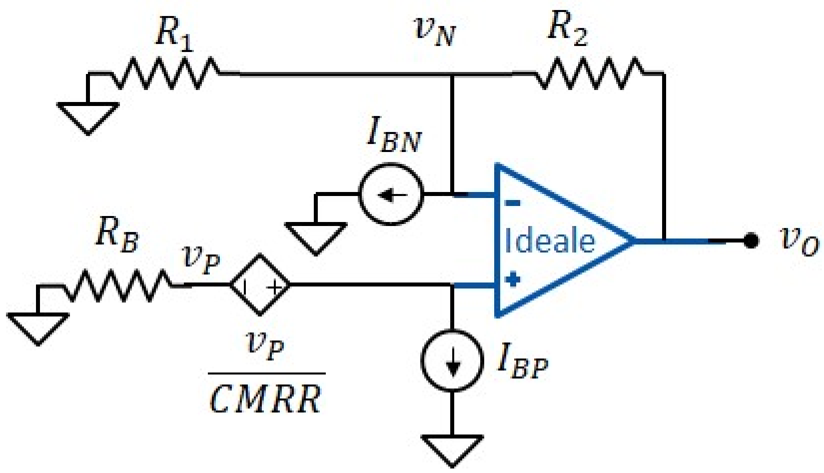
DATI: $R_B = 10k\Omega$, $R_1 = 10k\Omega$, $R_2 = 90k\Omega$ $v_S = 0V$

AO: $I_{BP} = 110nA$, $I_{BN} = 110nA$, $CMRR = 10$



1. Tensione di uscita con $v_s = 0$

Configurazione non invertente: $A_V = 1 + \dfrac{R_2}{R_1} = 10$



Usiamo la sovrapposizione degli effetti:

1) solo corrente I_{BP}

$$v_P = 0 - R_B \cdot I_{BP} = -1.1 \cdot mV \qquad v_{O1} = A_V \cdot \left(\frac{v_P}{CMRR} + v_P\right) = -12.1 \cdot mV$$

2) solo corrente I_{BN}

$$v_{O2} = R_2 \cdot I_{BN} = 9.9 \cdot mV$$

$$\boxed{v_O = v_{O1} + v_{O2} = -2.2 \cdot mV}$$

2. Quanto deve valere v_s per ottenere $v_o = 0$

Contributo della sola tensione v_s:

$$v_P = v_S$$

$$v_{O3} = \left(v_S + \frac{v_S}{CMRR}\right) \cdot A_V = v_S \cdot \left(1 + \frac{1}{CMRR}\right) \cdot A_V$$

$$v_{O1} + v_{O2} + v_{O3} = 0 \qquad v_{O1} + v_{O2} + v_S \cdot \left(1 + \frac{1}{CMRR}\right) \cdot A_V = 0$$

$$\boxed{v_S = \frac{-(v_{O1} + v_{O2})}{\left(1 + \frac{1}{CMRR}\right) \cdot A_V} = 0.2 \cdot mV}$$