

Esercizio 3

Si consideri il circuito a MOSFET riportato nella Fig. 2, in cui v_{in} e' un generatore di tensione di piccolo segnale

- Determinare la tensione V_B necessaria perche' la corrente nei transistori sia 1 mA . Determinare, quindi, la polarizzazione del circuito (tensioni a tutti i nodi e correnti in tutti i rami) e l'intervallo di tensioni ammesse per il nodo di uscita.
- Determinare l'espressione ed il valore del guadagno di piccolo segnale v_{out}/v_{in} ad alta frequenza (tutte le capacita' circuito chiuso).
- Determinare l'espressione ed il valore del guadagno di piccolo segnale v_{out}/v_{in} ad alta frequenza (tutte le capacita' circuito chiuso), assumendo che i transistori siano caratterizzati da una resistenza di uscita $r_0 = 50\text{ k}\Omega$.
- Tracciare il diagramma di Bode del modulo del trasferimento di piccolo segnale v_{out}/v_{in} , assumendo che il solo transistoro $M2$ sia caratterizzato da una resistenza di uscita $r_0 = 50\text{ k}\Omega$.

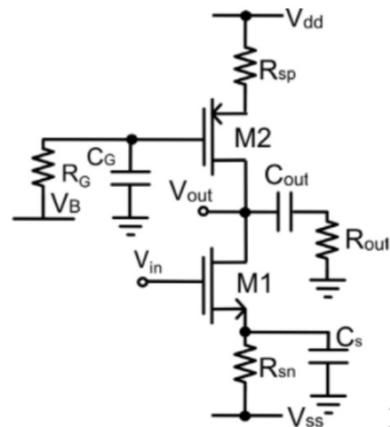
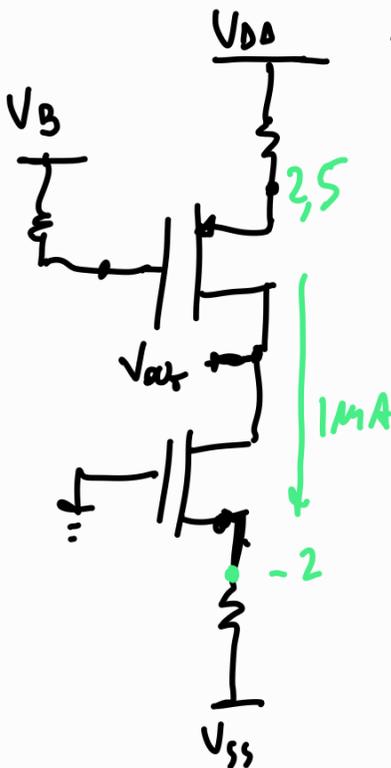


Fig. 2

$$\begin{aligned}
 k_n &= \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} (W/L) = 1\text{ mA/V}^2 & V_{Tn} &= 1\text{ V} \\
 |k_p| &= \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} (W/L) = 1\text{ mA/V}^2 & |V_{Tp}| &= 1\text{ V} \\
 V_{dd} &= -V_{ss} = 5\text{ V} & R_{sp} &= 2.5\text{ k}\Omega \\
 R_{out} &= 10\text{ k}\Omega & R_{sn} &= 3\text{ k}\Omega & R_G &= 100\text{ k}\Omega \\
 C_{out} &= 47\text{ nF} & C_{sn} &= 470\text{ nF} & C_G &= 47\text{ }\mu\text{F}
 \end{aligned}$$

2)



$$I_{pol} = 1\text{ mA}$$

$$V_{Sp} = V_{DD} - R_{Sp} I_{pol} = 2.5\text{ V}$$

$$I_{Dp} = K_p (V_{GSp} - V_{Tp})^2 = I_{pol}$$

$$-\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_p (V_B - V_{Sp} - V_{Tp})^2 = I_{pol}$$

$$-1\text{ mA/V}^2 (V_B - 2.5\text{ V} + 1)^2 = 1\text{ }\mu\text{A}$$

$$(V_B - 1.5)^2 = 1$$

$$V_B^2 - 3V_B + 1.25 = 0 \quad \left(\begin{array}{l} 2.5\text{ V} \\ 0.5\text{ V} \end{array} \right)$$

$$V_{Sm} = V_{SS} + I_{pol} \cdot R_{Sm} = -2\text{ V}$$

$$I_{Dm} = K_n (V_{GSm} - V_{Tn})^2 = 1\text{ }\mu\text{A/V}^2 (0 + 2 - 1)^2 = 1\text{ mA} \checkmark$$

PMOS SATURO

$$V_{GS_P} > V_{TP} \rightarrow V_B - V_{OUT} > V_{TP} \rightarrow V_{OUT} < V_B - V_{TP} = 1,5V$$

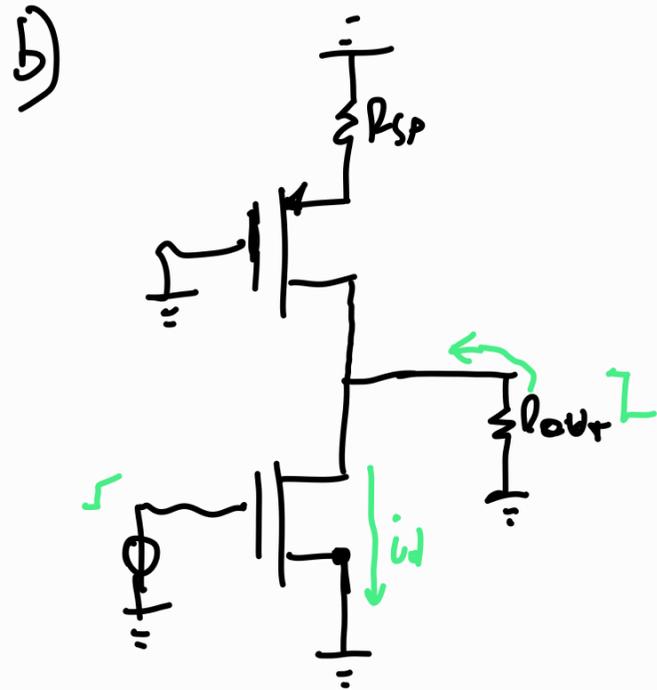
NMOS SATURO

$$V_{GS_N} < V_{TN} \rightarrow 0 - V_{OUT} < V_{TN} \rightarrow V_{OUT} > -V_{TN} = -1V$$

$$-1V < V_{OUT} < 1,5V$$

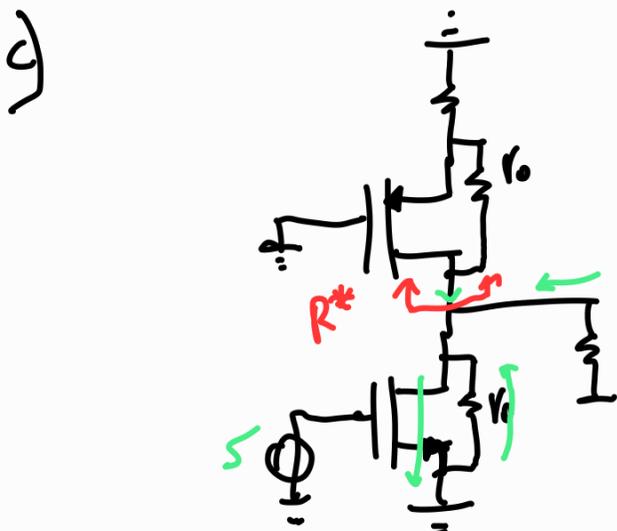
$$g_{m_n} = 2K_n (V_{GS_n} - V_{TN}) = 2 \text{ mA/V} \rightarrow \frac{1}{g_{m_n}} = 500 \Omega$$

$$g_{m_p} = 2K_p (V_{GS_p} - V_{TP}) = 2 \text{ mA/V} \rightarrow \frac{1}{g_{m_p}} = 500 \Omega$$



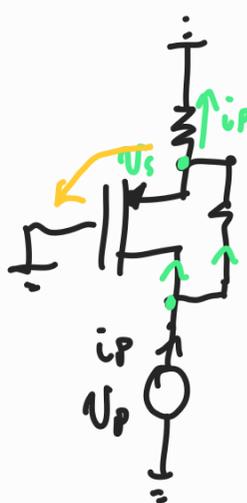
$$V_{OUT} = -R_{OUT} \cdot g_m V_{IN}$$

$$G \Big|_{4F} = -R_{OUT} \cdot g_m = -20$$



CALCOLO R^*

$$\begin{cases} i_P = \frac{V_P - V_S}{r_o} + g_m V_{GS} \\ V_S = R_S \cdot i_P \end{cases}$$

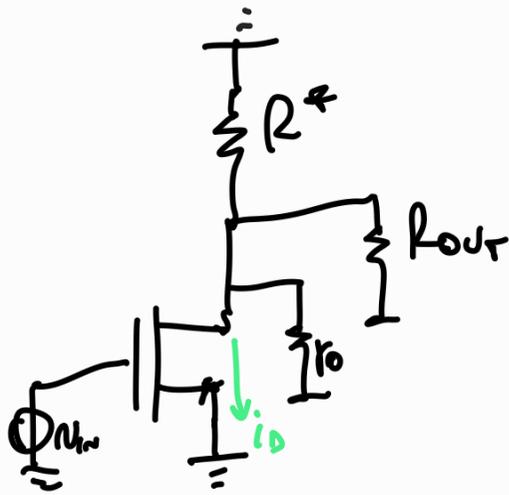


$$i_S = g_m V_{GS}$$

$$i_P = \frac{U_P}{r_o} - \frac{U_S}{r_o} - g_m U_S \stackrel{\downarrow}{=} \frac{U_P}{r_o} - \frac{R_S}{r_o} i_P - g_m R_S i_P$$

$$U_P = r_o \left(i_P + \frac{R_S}{r_o} i_P + g_m R_S i_P \right)$$

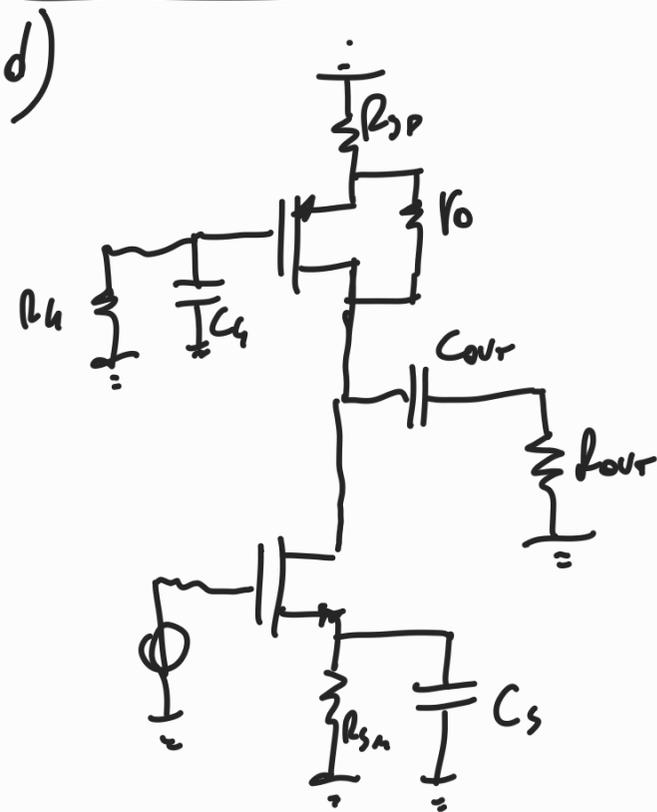
$$R^* = \frac{U_P}{i_P} = r_o + R_S + g_m r_o R_S = 302,5 \text{ k}\Omega$$



$$i_D = g_m U_{in}$$

$$U_{out} = -g_m U_{in} \underbrace{r_o // R_{out} // R^*}_{8,1 \text{ k}\Omega}$$

$$G = -g_m r_o // R_{out} // R^* = -16,2$$



$$G_{LF} \quad i_D = U_{in} \cdot \frac{g_m}{1 + g_m R_{S_n}}$$

$$U_{out} = -R^* i_D$$

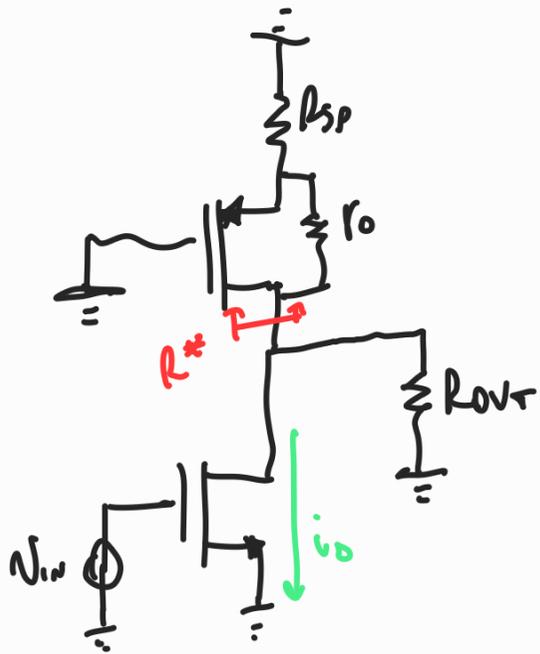
$$G_{LF} = -\frac{R^* g_m}{1 + g_m R_{S_n}}$$

$$= -86,4$$

$$U_{GS} = U_{in} \cdot \frac{1/g_m}{1/g_m + R_S}$$

$$i_D = g_m U_{GS} = \frac{g_m \cdot 1/g_m}{1/g_m + R_S} \cdot U_{in}$$

G_{HF} TUNE LE CAPACITÀ COLTO CIRCUITO



$$i_D = g_m V_{in}$$

$$V_{out} = -i_D \cdot (R_{out} // R^*)$$

$$G_{HF} = -(R_{out} // R^*) \cdot g_m = -19,4$$

C_G NON INTRODUCHE SINGOLARITÀ

POLI

- $C_S \rightarrow Z_{P_S} = C_S \cdot (R_{S_m} // 1/g_m) = 201 \mu s$
 $f_{P_S} = 792 \text{ Hz}$

- $C_{out} \rightarrow Z_{P_{out}} = C_{out} \cdot (R_{out} + R^*)$
 $f_{P_{out}} = 10,8 \text{ Hz} = 14,7 \text{ ms}$

ZERI

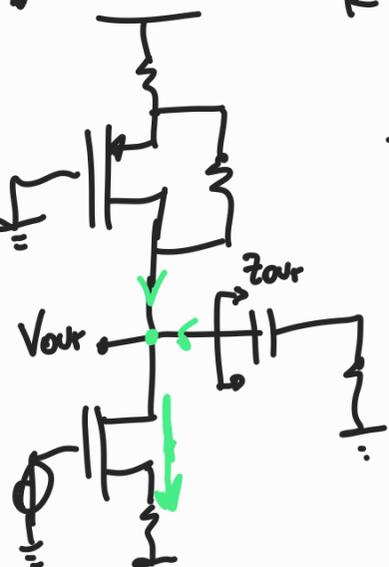
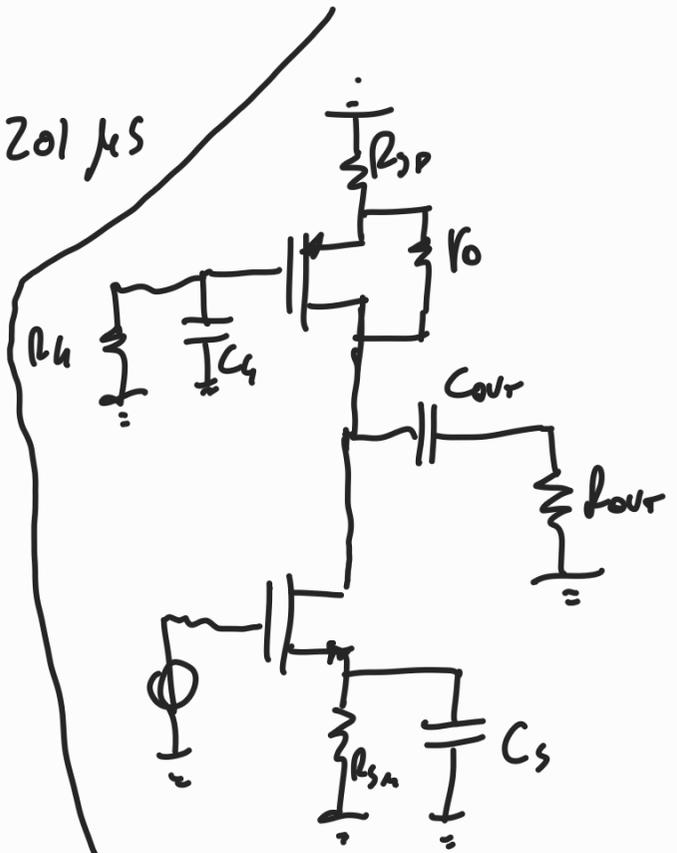
- $R^* // Z_{out} = 0$

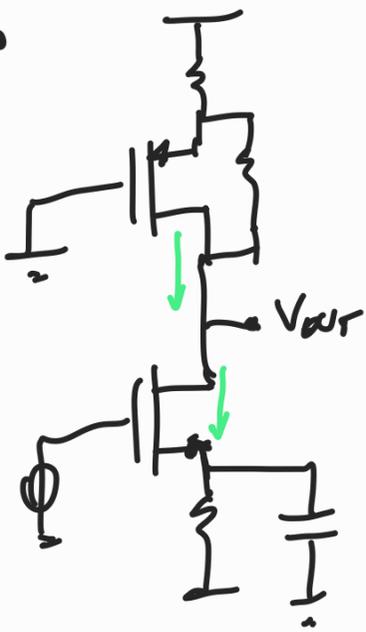
$$\frac{1}{s C_{out}} + R_{out} = 0$$

$$s = -\frac{1}{R_{out} C_{out}}$$

$$\tau_{Z_{out}} = R_{out} C_{out} = 470 \mu s$$

$$f_{Z_{out}} = 338,6 \text{ Hz}$$





$$i_D = 0 \quad s \approx \quad v_g = v_s \rightarrow \text{IMPEDENZA VISTA DALLA SOURCE \bar{E} INFINITA}$$

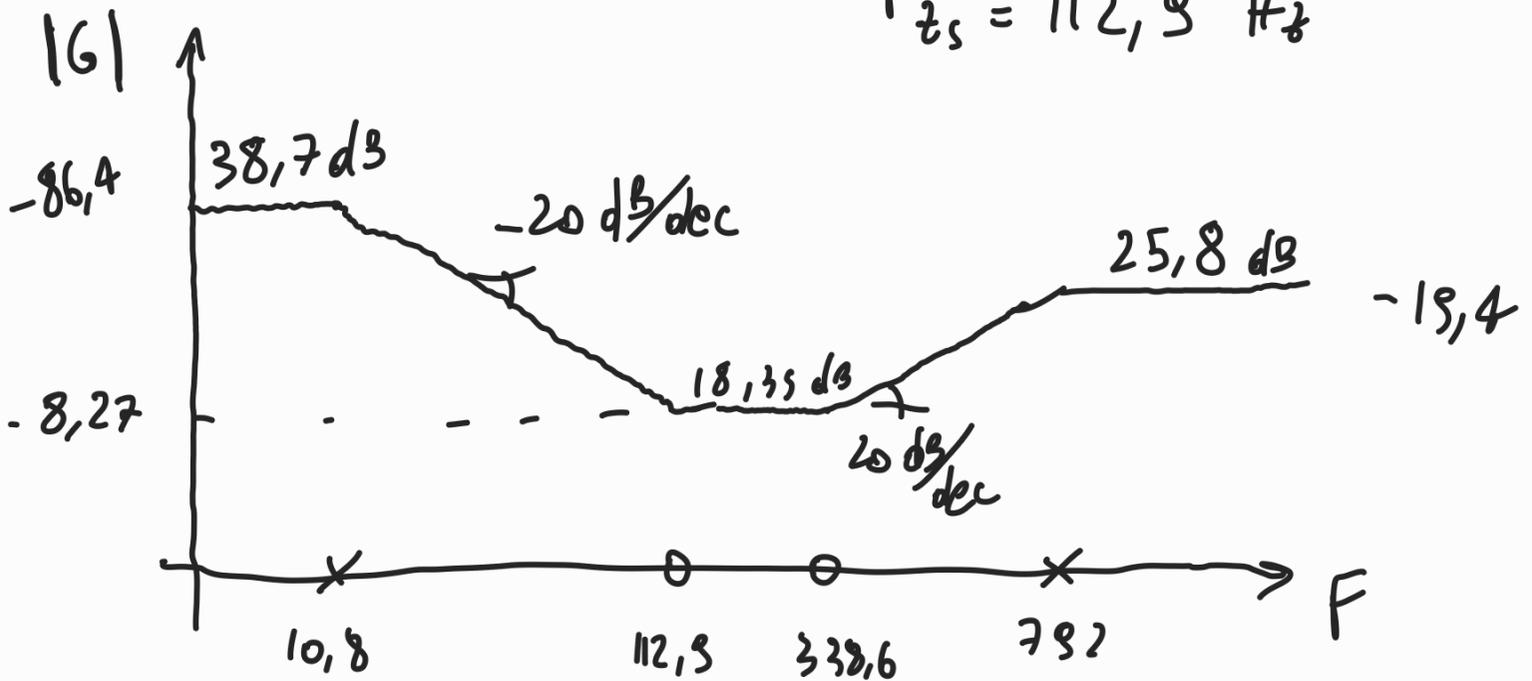
$$R_{sm} // \frac{1}{sC_{sm}} \rightarrow \infty$$

$$\frac{R}{1 + RSC} \rightarrow \infty$$

$$1 + RSC = 0 \rightarrow s = - \frac{1}{R_{sm} C_{sm}}$$

$$\tau_{z_s} = C_{sm} \cdot R_{sm} = 1,41 \text{ ms}$$

$$F_{z_s} = 112,9 \text{ Hz}$$

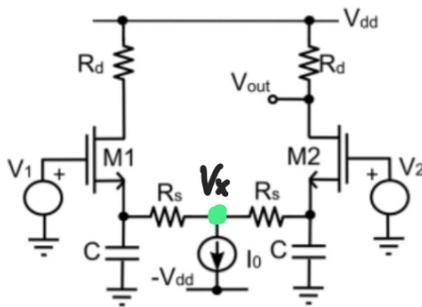


$$G_{MF} = G_{LF} \cdot \frac{10,8}{112,9} = -8,27$$

Esercizio 2

Si consideri il circuito a MOSFET riportato nella Fig. 3, in cui v_1 e v_2 sono generatori di tensione di piccolo segnale.

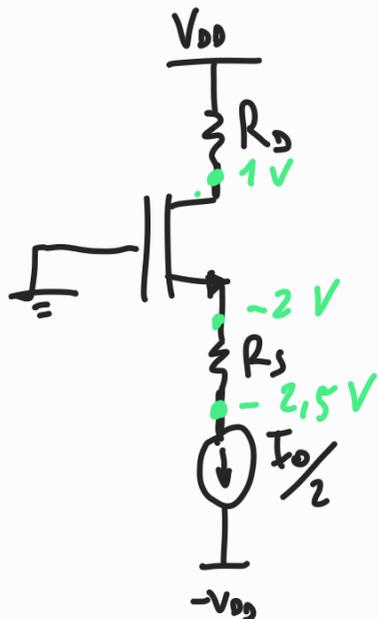
- Determinare la polarizzazione del circuito (tensioni a tutti i nodi e correnti in tutti i rami).
- Determinare l'espressione ed il valore del guadagno differenziale di piccolo segnale $v_{out}/(v_2-v_1)$ a bassa frequenza.
- Tracciare il diagramma di Bode del modulo del trasferimento differenziale di piccolo segnale $v_{out}/(v_2-v_1)$, quotandone tutti i punti significativi.



$$\begin{aligned}
 V_{Tn} &= 1V \\
 k_n &= 0.5 \text{ mA/V}^2 \\
 V_{dd} &= 5V \\
 R_d &= 8 \text{ k}\Omega \\
 R_s &= 1 \text{ k}\Omega \\
 C &= 22 \text{ pF} \\
 I_0 &= 1 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Fig. 3

STADIO SIMMETRICO \rightarrow MEZZO CIRCUITO



$$I_D = k_n (V_{GS} - V_T)^2 = I_0/2$$

$$0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} (-V_S - 1)^2 = 0,5 \text{ mA}$$

$$V_S^2 + 2V_S + 1 = 1$$

$$V_S (V_S + 2) = 0$$

$$V_S = 0$$

$$V_S = -2$$

$$V_D = V_{DD} - R_D \cdot \frac{I_0}{2} = 1 \text{ V}$$

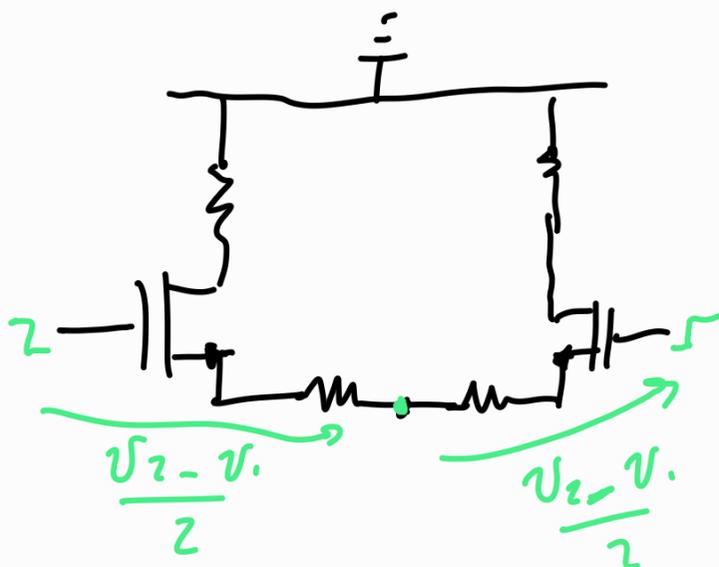
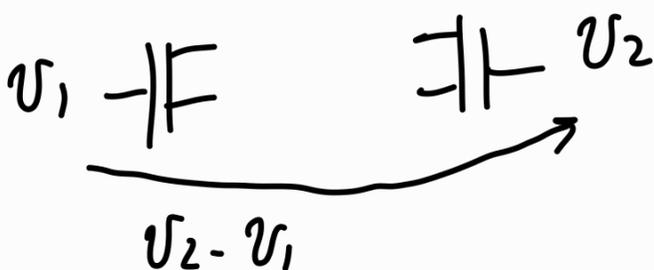
$$V_S = V_S - R_S \cdot \frac{I_0}{2} = -2,5 \text{ V}$$

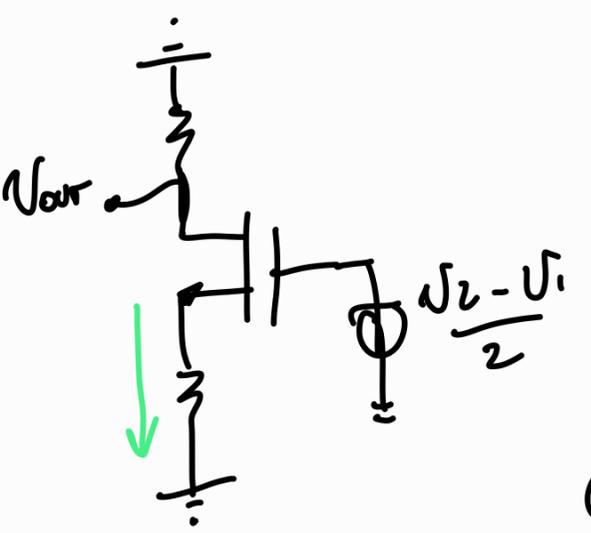
$$V_{GS} = -1 \text{ V} < V_{TN} \quad \text{MOS SATURO}$$

$$g_m = 2k_n (V_{GS} - V_T) = 1 \text{ mA/V}$$

$$\frac{1}{\beta_m} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$b) \quad G|_{LF} = \frac{v_{out}}{v_2 - v_1}$$





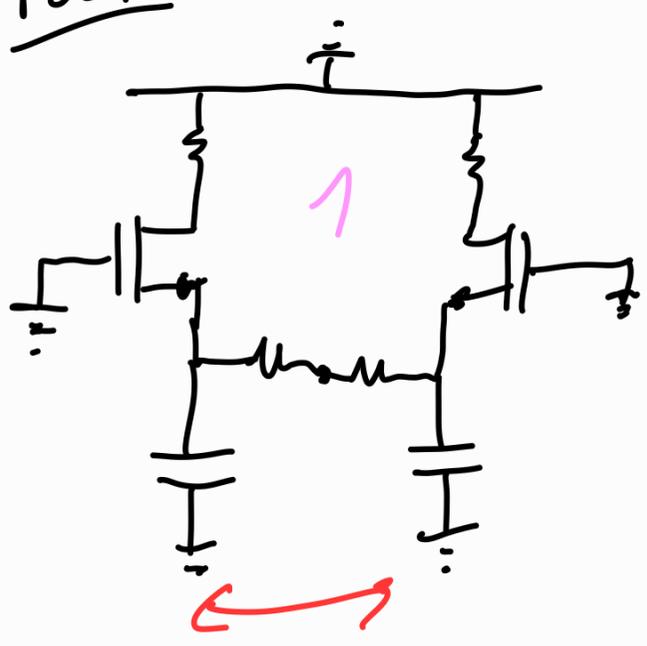
$$i_D = \frac{V_2 - V_1}{2} \cdot \frac{g_m}{1 + g_m R_S}$$

$$V_{out} = -R_D i_D = -\frac{V_2 - V_1}{2} R_D \frac{g_m}{1 + g_m R_S}$$

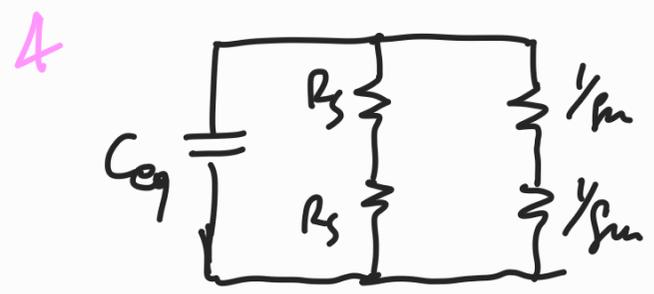
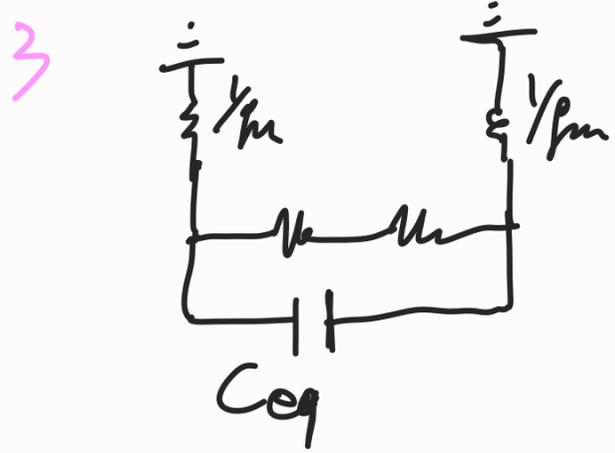
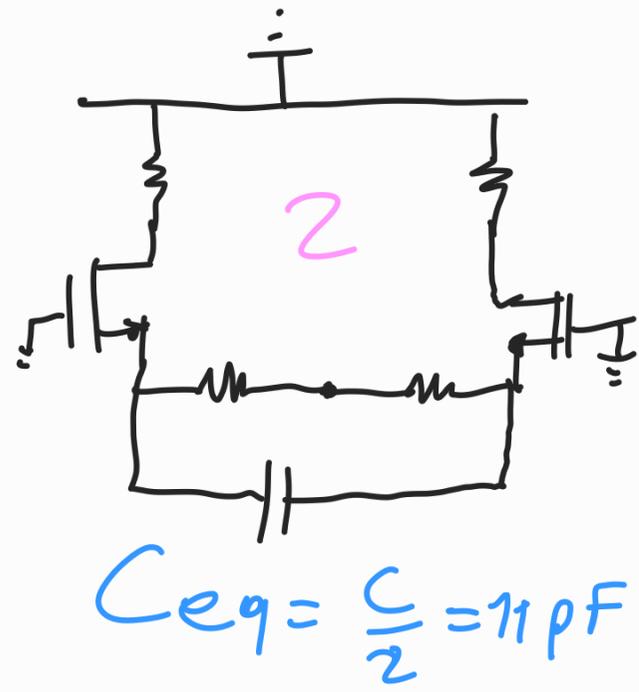
$$G = -\frac{1}{2} R_D \frac{g_m}{1 + g_m R_S} = -2$$

c) $G(s) = \frac{V_{out}}{V_2 - V_1}$

POLI



=>



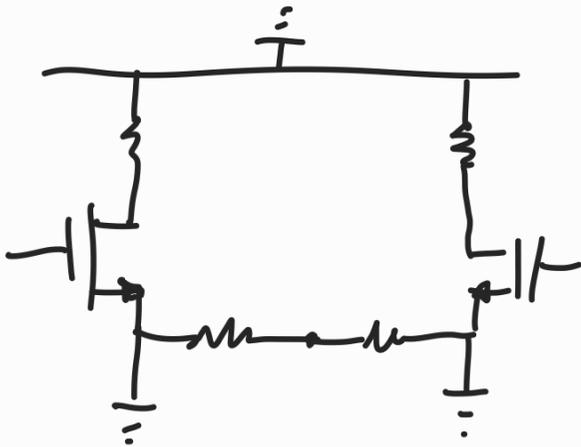
1 polo

$$\tau_p = C_{eq} \cdot (2R_s \parallel \frac{2}{g_m}) = 11 \mu s$$

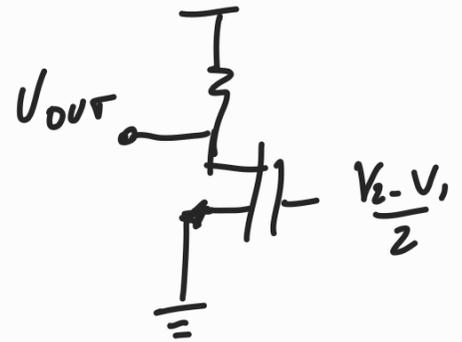
$$F_p = 14,5 \text{ MHz}$$

G_{HF}

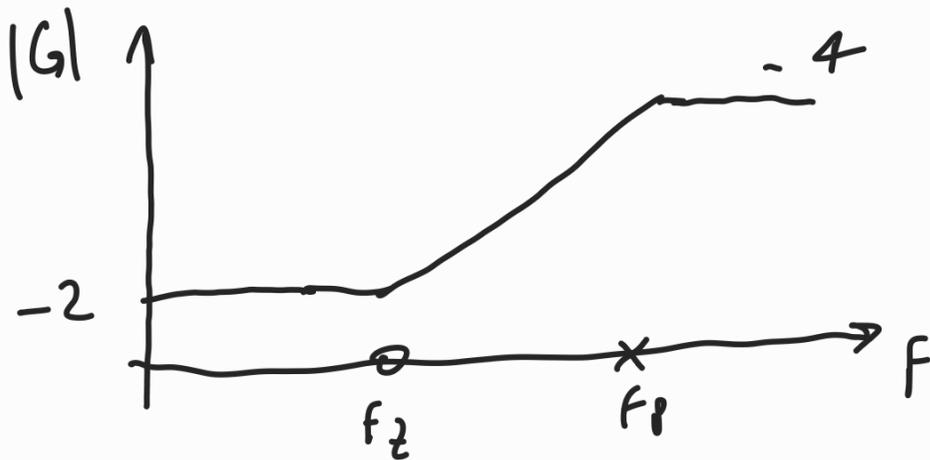
CAPACITÀ CORTOCIRCUITATE



MEZZO CIRCUITO

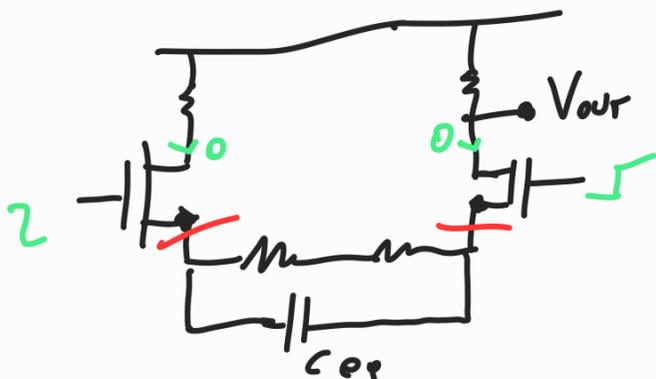


$$V_{out} = -R_D g_m \frac{V_i - V_i}{2} \rightarrow G_{HF} = -\frac{R_D g_m}{2} = -4$$



$$F_z = \frac{G_{LF}}{G_{HF}} \cdot F_p = 7,2 \text{ MHz}$$

ZERO PER ISPEZIONE

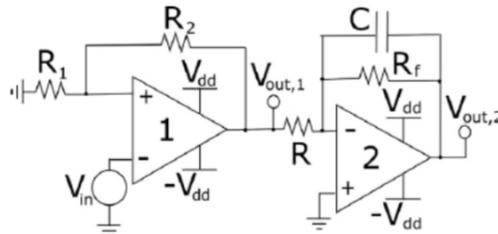


$$\tau_z = C_{eq} \cdot 2R_s = 22 \text{ ns}$$

$$F_z = 7,2 \text{ MHz}$$

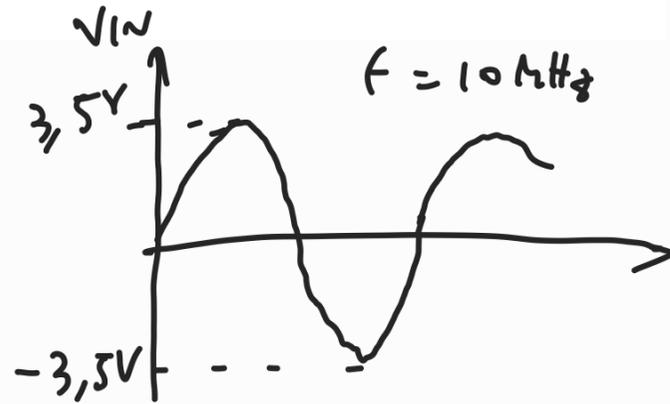
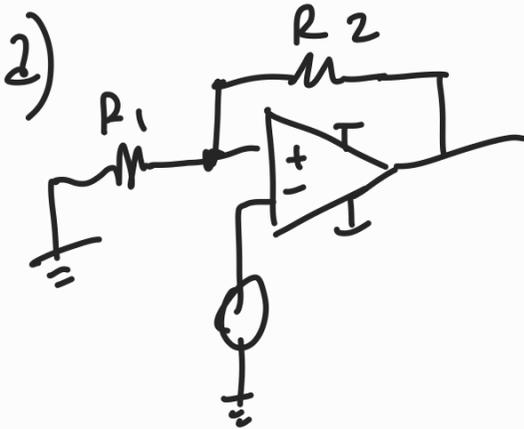
Esercizio 3

Si consideri il circuito basato su amplificatori operazionali, mostrato in Fig. 3. Gli amplificatori operazionali saturano alle tensioni di alimentazione e V_{in} sia un generatore di tensione di segnale sinusoidale con ampiezza 3.5 V e frequenza 10 MHz .



$$R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega \quad V_{dd} = 5\text{ V} \quad R = 6.25\text{ k}\Omega \quad R_f = 6\text{ k}\Omega \quad C = 1.5\text{ pF}$$

- Disegnare in due diagrammi temporali, temporalmente allineati, il segnale di ingresso $V_{in}(t)$ dato e ed il corrispondente segnale $V_{out,1}(t)$, quotandone tutti i punti significativi ed assumendo gli amplificatori operazionali ideali.
- Determinare il massimo valore della resistenza R_f che garantisca che il contributo delle correnti di bias, pari a 100 nA , sulla tensione di uscita $V_{out,2}$ sia al più 6 mV .
- Tracciare i diagrammi di Bode del modulo e della fase della funzione di trasferimento $V_{out,2}/V_{out,1}$, assumendo gli amplificatori operazionali ideali.
- Se l'amplificatore operazionale 2 e' caratterizzato da uno *Slew-Rate* $SR = 100\text{ V}/\mu\text{s}$, determinare se la la forma d'onda di uscita subisca o meno distorsioni e motivare la risposta.
- Determinare il margine di fase del blocco amplificatore se il prodotto guadagno-larghezza di banda del secondo amplificatore operazionale e' pari a $GBWP = 80\text{ MHz}$.



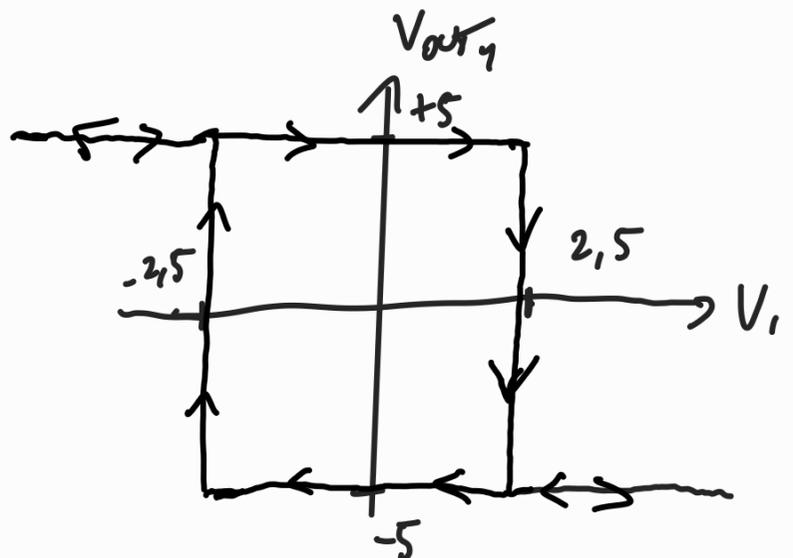
STUDIO LA CARATTERISTICA DEL COMPARATORE

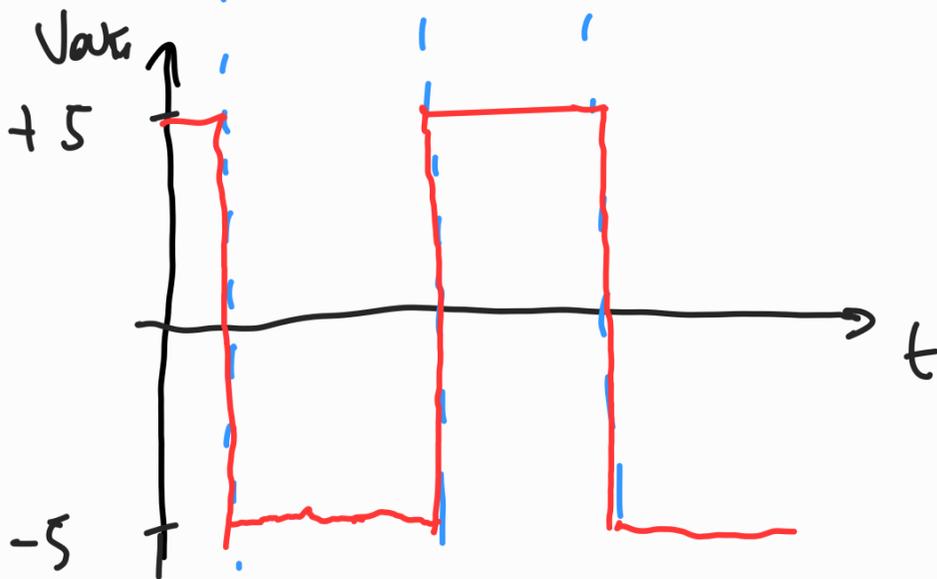
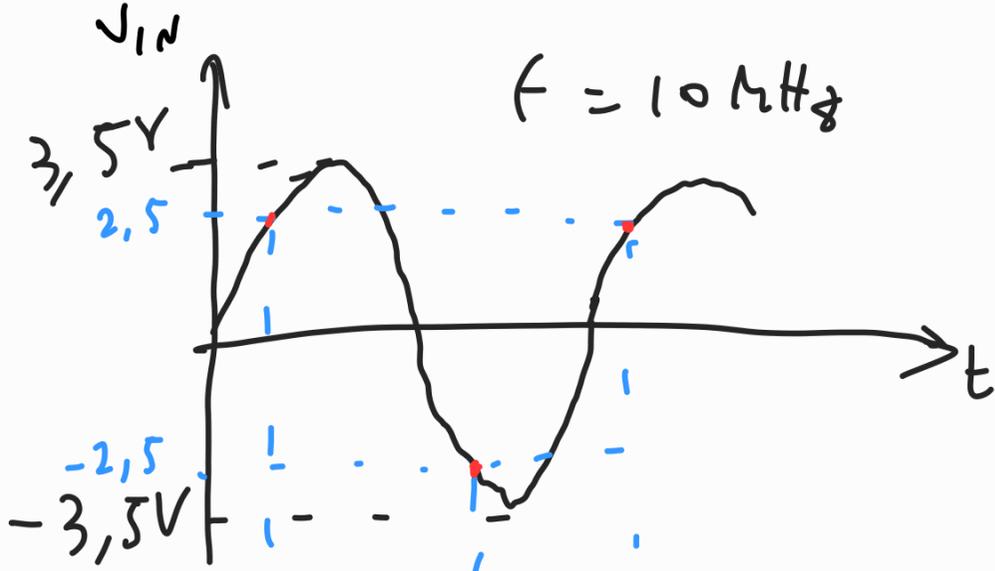
$$1) V_{OUT1} = V_{DD}$$

$$V^+ = V_{DD} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{V_{DD}}{2} = 2,5\text{ V}$$

$$2) V_{OUT1} = -V_{DD}$$

$$V^- = -2,5\text{ V}$$





$$T = \frac{1}{f} = 100 \text{ ns}$$

DUTY CYCLE = 50%