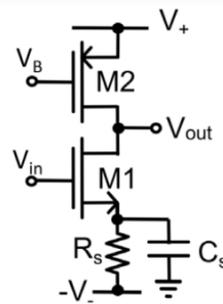


Si consideri il circuito a MOSFET riportato nella Fig. 4, in cui v_{in} e' un generatore di tensione di piccolo segnale e V_B e' un generatore di tensione DC.

- a) Determinare la tensione V_B necessaria perche' la transconduttanza del MOS M1 sia pari a $2mS$. Determinare, quindi, la polarizzazione del circuito (tensioni a tutti i nodi e correnti in tutti i rami) e indicare l'intervallo di valori permesso per la tensione di uscita in DC.
- b) Tracciare il diagramma di Bode del modulo del trasferimento di piccolo segnale v_{out}/v_{in} , quotandone tutti i punti significativi. Si assuma per il solo MOS M2, $r_0 = 100k\Omega$.



$$V_+ = 6V$$

$$V_- = 3V$$

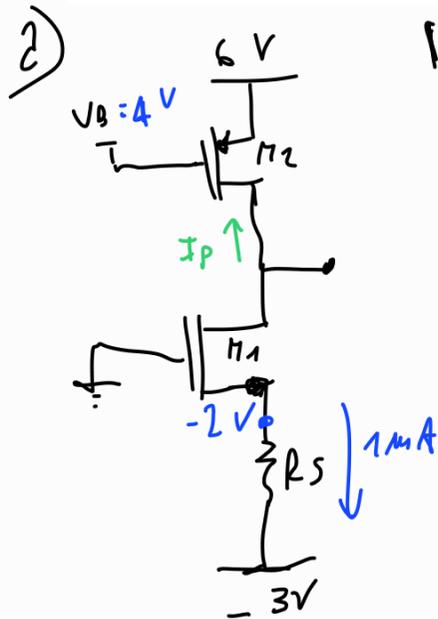
$$V_{Tn} = -V_{Tp} = 1V$$

$$k_n = |k_p| = 1mA/V^2$$

$$R_s = 1k\Omega$$

$$C_s = 47nF$$

Fig. 4



IPOTESI MOS ENTRAPI SATURI

$$g_{m1} = 2k_n V_{ov1} = 2mS \rightarrow V_{ov1} = 1V \quad \left(\frac{1}{g_{m1}} = 500\Omega\right)$$

$$V_{G1} - V_{S1} - V_{Tn} = 1V \rightarrow V_{S1} = -2V$$

$$I_{M1} = \frac{V_{S1} - (-V_-)}{R_s} = 1mA$$

$$V_{GS} = \pm \sqrt{\frac{I}{k}} + V_T = \pm 1 + 1 \quad \begin{cases} V_{GS} = 0 \text{ X} \\ V_{GS} = -2V \text{ ✓} \end{cases}$$

$$V_B = V_{G2} = V_{GS2} + V_{S2} = 4V$$

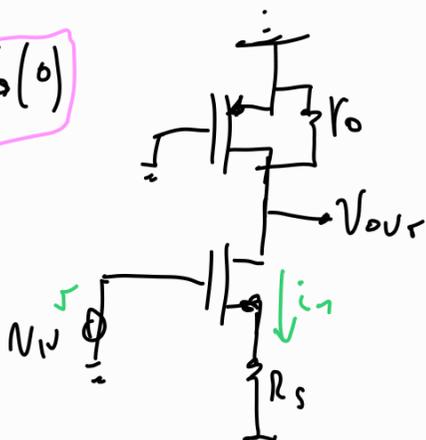
$V_{OUT} = ?$

INTERVALLO DI VALORI AMMESSO PER MANTENERE I MOS SATURI

$$V_{OUT MAX} \rightarrow \text{SATURAZIONE } M2 \rightarrow V_{OUT MAX} = V_B - V_{Tp} = 5V$$

$$V_{OUT MIN} \rightarrow \text{SATURAZIONE } M1 \rightarrow V_{OUT MIN} = 0 - V_{Tn} = -1V$$

b) $G(0)$



$$i_1 = V_{gs} \cdot g_{m1} = v_{in} \cdot \frac{g_{m1}}{\frac{1}{g_{m1}} + R_s} \cdot g_{m1}$$

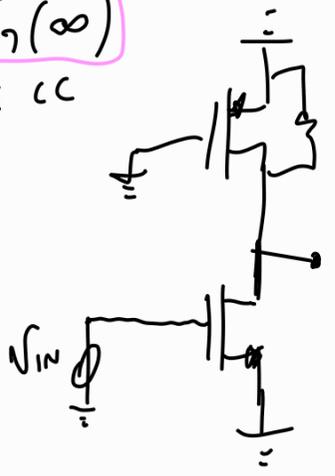
$$= v_{in} \cdot \frac{g_{m1}}{1 + g_{m1} R_s}$$

$$v_{out} = -i_1 \cdot r_0 \cdot v_{in} = - \frac{g_{m1} r_0}{1 + g_{m1} R_s} v_{in}$$

$$G(0) = -66,7 = 36,5 \text{ dB}$$

$G(\infty)$

$C \in CC$



$$V_{OUT} = -g_{m1} R_O V_{IN}$$

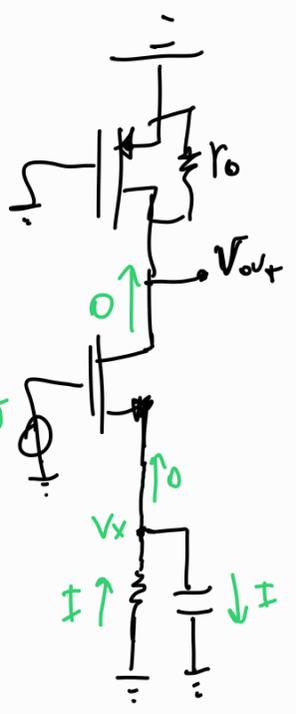
$$G(\infty) = -200 = 46 \text{ dB}$$

→ 1 CONDENSATOR → 1 POLO

→ $G(\infty) \neq 0 \rightarrow 1 z \in R_0; |G(\infty)| > |G(0)| \rightarrow$ PRIMA VIENTE LO ZERO

SINGOLARITÀ

$$\tau_P = C_S \cdot (R_S // \frac{1}{g_{m1}}) = 15,7 \mu s \rightarrow F_P = 10,1 \text{ KHz}$$

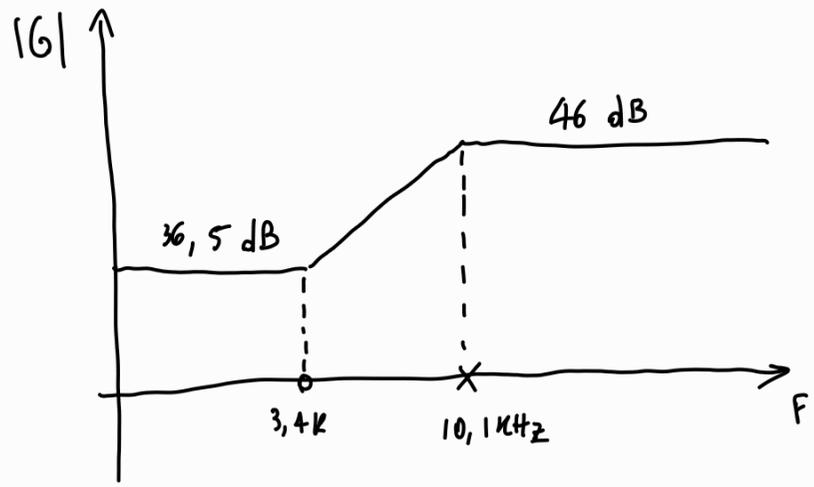


$$1) i_0 = V_{IN} \frac{1}{R_S + Z_S} \rightarrow 0 \text{ SF } Z_S \rightarrow \infty$$

$$Z_S \rightarrow \infty \Rightarrow R // \frac{1}{sC} \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{R/sC}{R + 1/sC} \rightarrow \infty$$

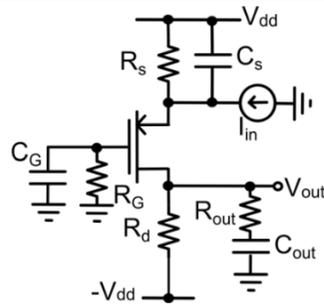
$$R + \frac{1}{sC} = 0 \quad \frac{sRC + 1}{sC} = 0 \quad s = -\frac{1}{RC}$$

$$\tau_z = C_S R_S = 47 \mu s \rightarrow F_z = 3,4 \text{ KHz}$$



Si consideri il circuito a MOSFET riportato nella Fig. 1, in cui i_{in} e' un generatore di corrente di piccolo segnale.

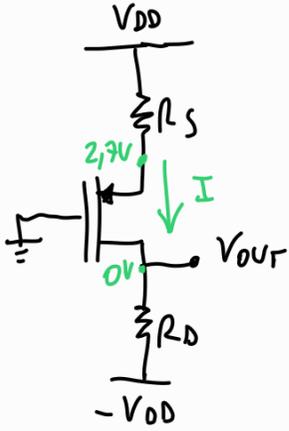
- Determinare il valore della resistenza R_s necessario perche' la tensione di uscita in DC sia pari a 0 V. Determinare, quindi, la polarizzazione del circuito (tensioni a tutti i nodi e correnti in tutti i rami).
- Determinare l'espressione ed il valore del trasferimento di piccolo segnale v_{out}/i_{in} a bassa frequenza.
- Tracciare il diagramma di Bode del modulo del trasferimento di piccolo segnale v_{out}/i_{in} , quotandone tutti i punti significativi.



$V_{dd} = 6 V$
 $V_{Tp} = -0.7 V$
 $|k_p| = 0.5 mA/V^2$
 $R_G = 100 k\Omega$
 $C_G = 47 \mu F$
 $C_S = 47 nF$
 $R_d = 3 k\Omega$
 $R_{out} = 1 k\Omega$
 $C_{out} = 1 \mu F$

Fig. 1

2)



$V_{G_S} = 0$ MOS SAIURO

$$V_{OUT} = -V_{DD} + R_D I = 0 \rightarrow I = 2 mA$$

$$I_M = K_P |V_{GS} - V_T|^2 = K_P (0 - V_S - V_T)^2 \quad I_M = -I$$

$$= K_P (V_S^2 + V_T^2 + 2V_T V_S)$$

$$V_S^2 + V_T^2 + 2V_T V_S - \frac{I_M}{K_P} = 0 \quad \frac{-I_M}{K_P} = -\frac{-I}{K_P} = -\frac{+2mA}{+0,5mA}$$

$$V_S^2 - 1,4 V_S - 3,51 = 0 \rightarrow V_S \begin{cases} -1,3V \times \\ 2,7V \checkmark \end{cases}$$

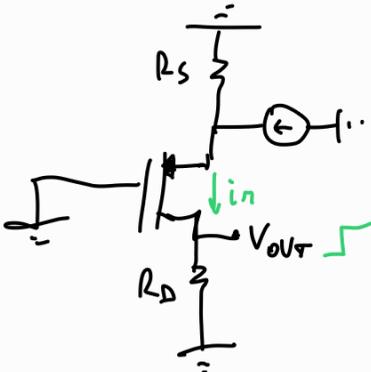
$$I = K V_{OV}^2 \rightarrow V_{OV} = \sqrt{\frac{I}{K}} = 2 V \rightarrow V_S = V_G + V_{OV} = 2,7 V$$

$$R_S = \frac{V_{DD} - V_S}{I} = \frac{6 - 2,7}{2mA} = 1650 \Omega$$

$$g_m = 2 K V_{OV} = 2 mA/S$$

$$r_{gs} = 500 \Omega$$

b)



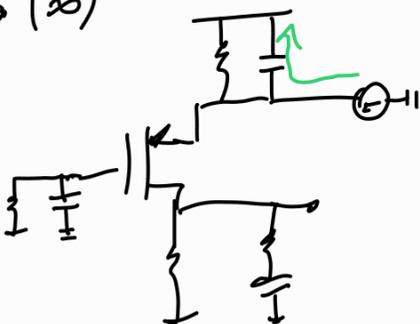
$$i_{in} = I_{in} \cdot \frac{R_S}{R_S + 1/g_m} = 0,77 I_{in}$$

$$v_{OUT} = I_{in} \cdot \frac{R_S}{R_S + 1/g_m} \cdot R_D = 2300 I_{in}$$

$$G(0) = 2300 = 67 dB$$

c)

$G(\infty)$



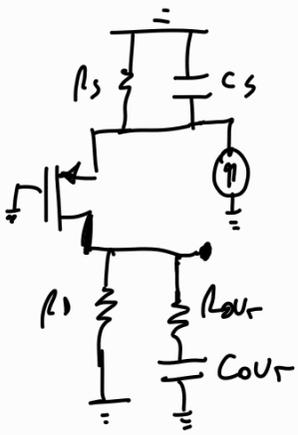
$$G(\infty) = 0$$

SINGOLI PI

C_G NON È SUL PERCORSO DEL SEGNALE \rightarrow NO ZERO

\rightarrow 2 CAP NON INTERAGISCI \rightarrow 2 POLI

\rightarrow 0 0 1 ZERO



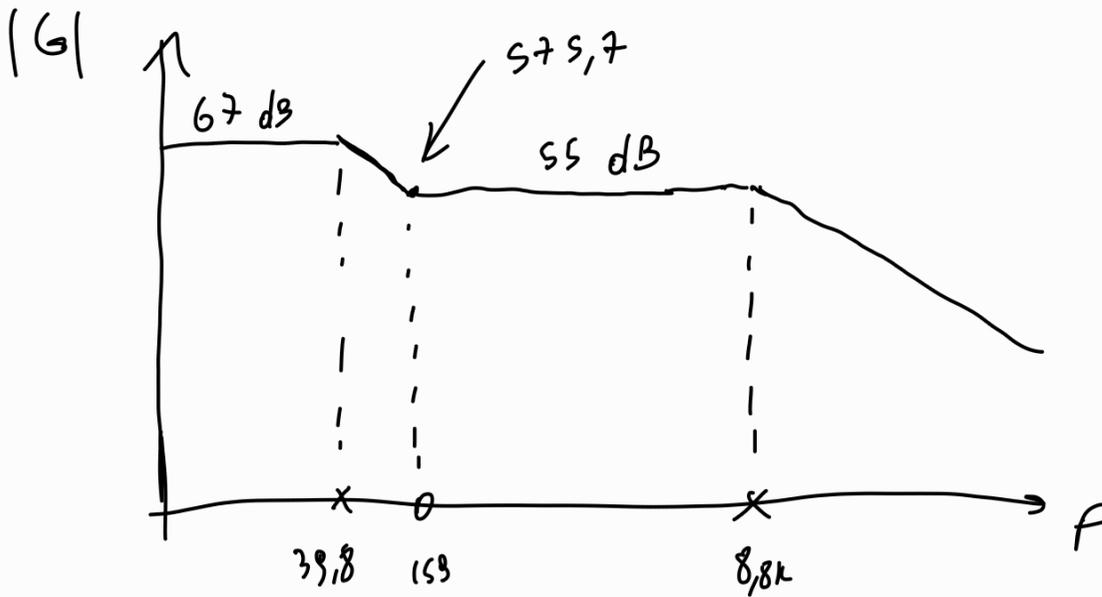
$$\tau_{P_s} = C_s \cdot R_s // \frac{1}{g_m} = 18 \mu s \rightarrow F_{P_s} = 8,8 \text{ kHz}$$

$$\tau_{P_{OUT}} = C_{OUT} \cdot (R_{OUT} + R_D) = 4 \text{ ms} \rightarrow F_{P_{OUT}} = 39,8 \text{ Hz}$$

C_s INTRODUCES ONE ZERO AT $F \rightarrow \infty$

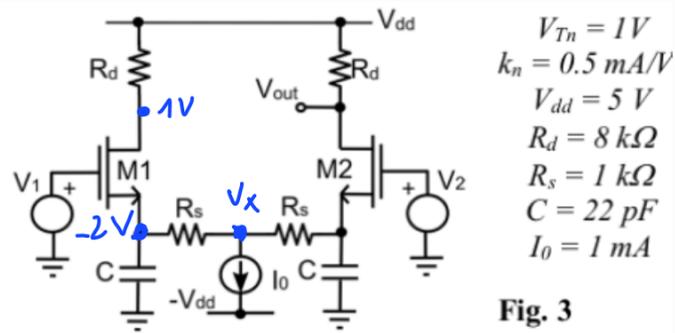
$$C_{OUT}: V_{OUT} = 0 \text{ SE } R_{OUT} + \frac{1}{sC} = 0$$

$$\tau_{Z_{OUT}} = R_{OUT} C_{OUT} = 1 \text{ ms} \rightarrow F_{Z_{OUT}} = 159 \text{ Hz}$$



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

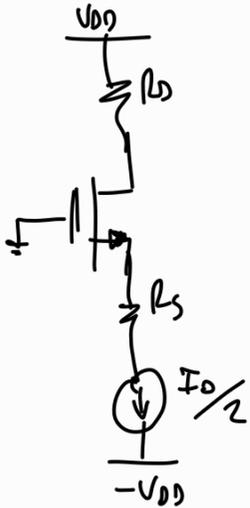
- Determinare la polarizzazione del circuito (tensioni a tutti i nodi e correnti in tutti i rami).
- Determinare l'espressione ed il valore del guadagno differenziale di piccolo segnale $v_{out}/(v_2-v_1)$ a bassa frequenza.
- Tracciare il diagramma di Bode del modulo del trasferimento differenziale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



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

Fig. 3

d) STATO SIMMETRICO $\rightarrow I_0$ DIVISA NEI 2 RAMI



$$I_{nos} = K_n (V_{GS} - V_{TN})^2 = K_n (-V_S - V_{TN})^2 = \frac{I_0}{2}$$

$$V_S^2 + V_T^2 + 2V_S V_T - \frac{I_0}{2K} = 0$$

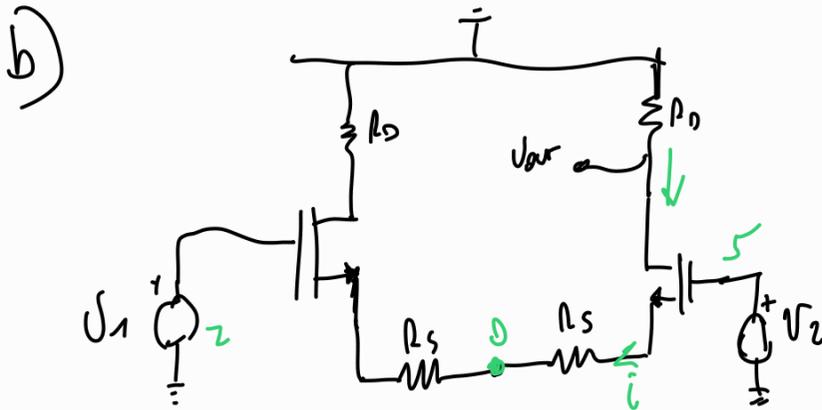
$$V_S^2 + 2V_S = 0 \quad \begin{matrix} V_S = 0 \\ V_S = -2V \checkmark \end{matrix}$$

$$V_X = V_S - R_S \cdot I_M = -2,5V$$

$$V_D = V_{DD} - R_D \cdot I_M = 1V \quad \text{MOS SATURO} \checkmark$$

$$g_m = 2K V_{ov} = 1 \text{ mS}$$

$$1/g_m = 1 \text{ k}\Omega$$



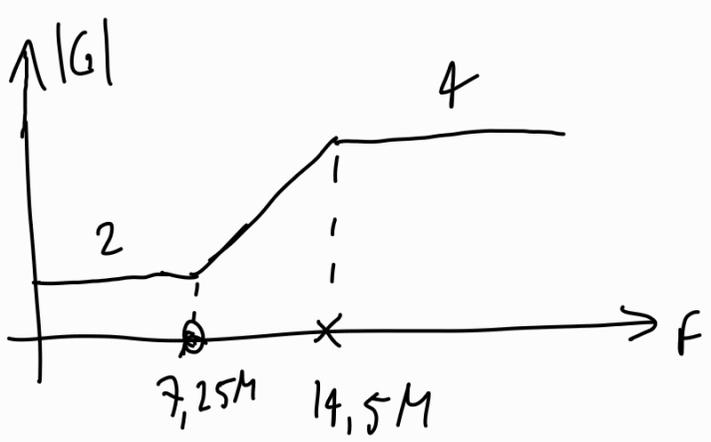
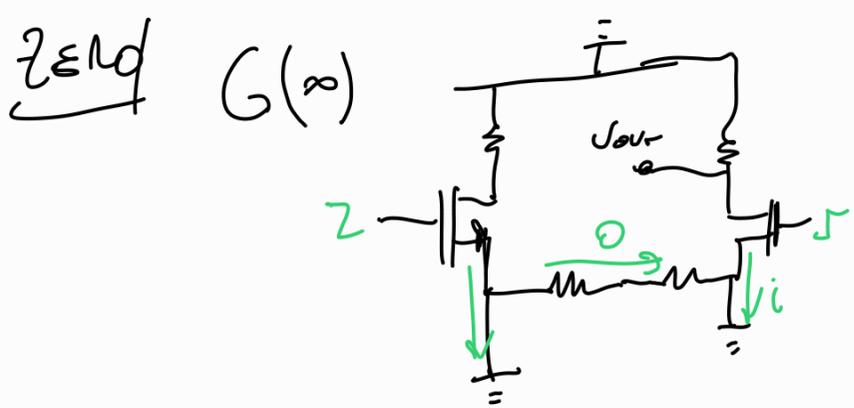
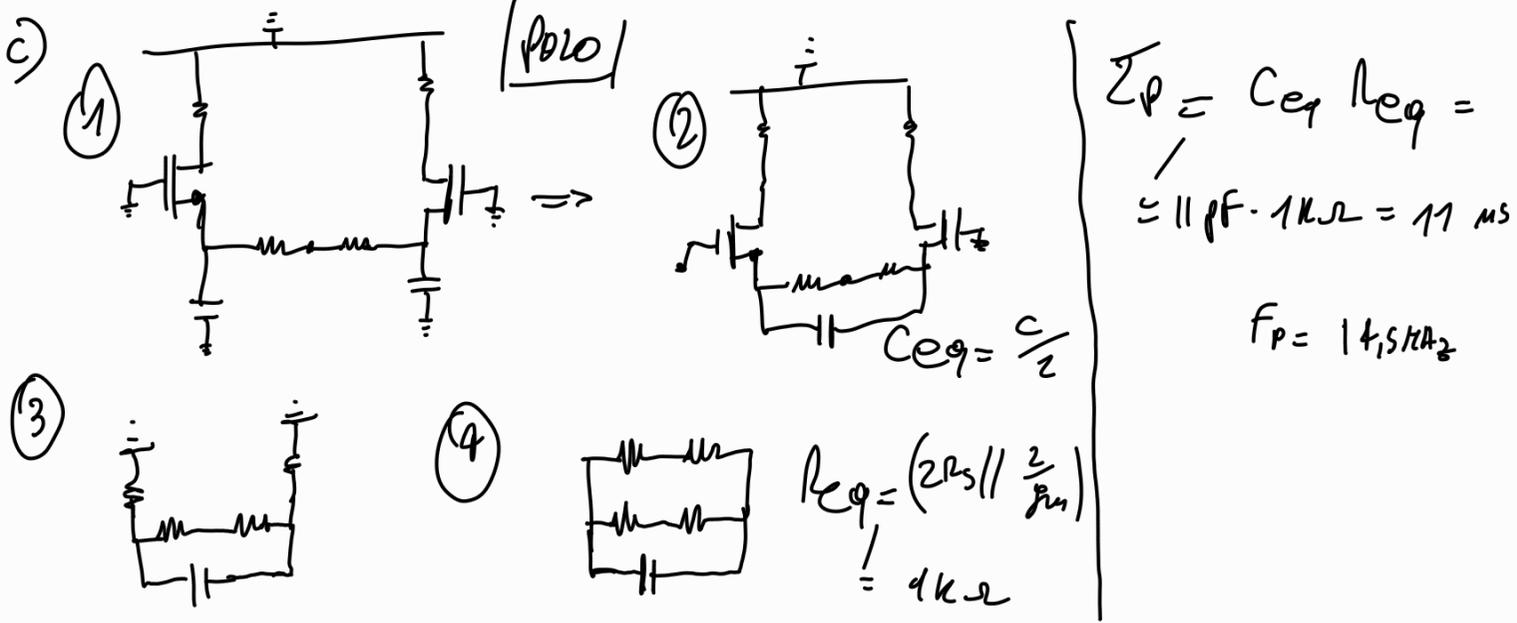
STATO SIMMETRICO

$(v_2 - v_1)$ SI DIVIDE EQUAMENTE
 $v_x = 0$ (SU SEGNALE)

$$\dot{v} = \frac{v_2 - v_1}{2} \cdot \frac{1/g_m}{1/g_m + R_s}$$

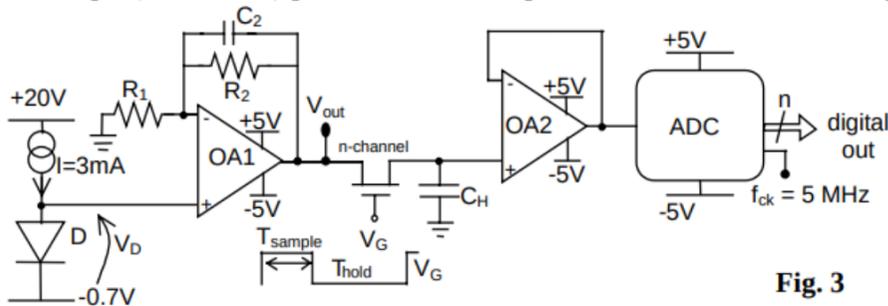
$$= \frac{v_2 - v_1}{2} \cdot \frac{g_m}{1 + g_m R_s}$$

$$\frac{v_{out}}{v_2 - v_1} = -R_D \cdot \dot{v} = -\frac{1}{2} \frac{g_m R_D}{1 + g_m R_s} = -2$$



$f_z = \frac{C_{in} f}{G_{HF}}, f_p = 7,2 MHz$

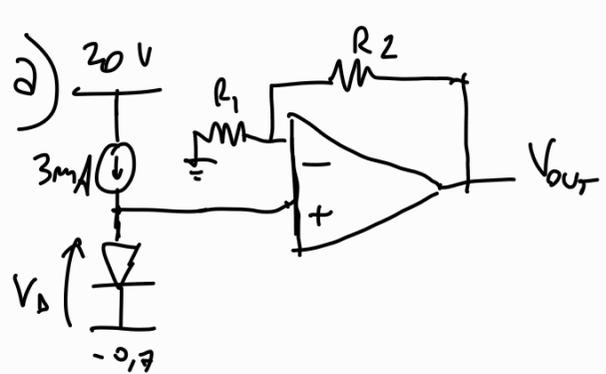
Si consideri il circuito riportato nella Fig. 3, che sfrutta la dipendenza dalla temperatura della tensione ai capi di una giunzione pn ($-1.8\text{mV}/^\circ\text{C}$) per misurare la temperatura. Si assuma $V_D=0.7\text{V}$ per una temperatura di 0°C .



$R_1=1\text{k}\Omega$
 $R_2=30\text{k}\Omega$
 $C_2=10\text{pF}$
 $V_T=1.2\text{V}$
 $k_n=1/2\mu_n C_{ox}(W/L)=5\text{mA/V}$
 $C_H=10\text{nF}$

Fig. 3

- Scrivere l'espressione della tensione di uscita V_{out} in funzione della temperatura a bassa frequenza.
- Determinare il numero minimo di bit dell'ADC necessario per garantire una risoluzione di $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
- Determinare l'errore dovuto al droop (espresso in LSB) se l'amplificatore operazionale 2 e' caratterizzato da una corrente di bias $I_b = 500\text{nA}$ e la fase di Hold ha una durata pari a $T_{hold}=18\mu\text{s}$.
- Determinare la tensione di comando V_G da applicare al gate dell'interruttore NMOS per garantire una resistenza virtualmente infinita durante la fase di Hold ed una resistenza non superiore a $R_{ds,on}=10\Omega$ nella fase di Sample se la temperatura varia nell'intervallo $\pm 50^\circ\text{C}$.
- Determinare per via grafica l'andamento in frequenza del trasferimento reale V_{out}/V_D se l'amplificatore operazionale 1 e' caratterizzato da $GBWP=30\text{MHz}$.



$$V_D = 0,7 - 1,8 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}} \cdot T$$

$$V^+ = -0,7 + V_D = -1,8 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}} \cdot T$$

$$V_{out} = V^+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = -55,8 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}} \cdot T$$