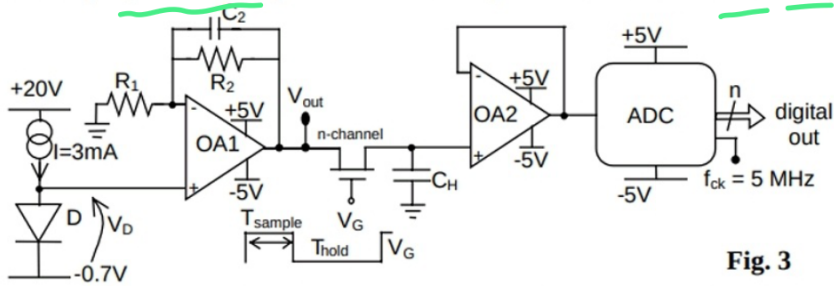


Esercizio 1

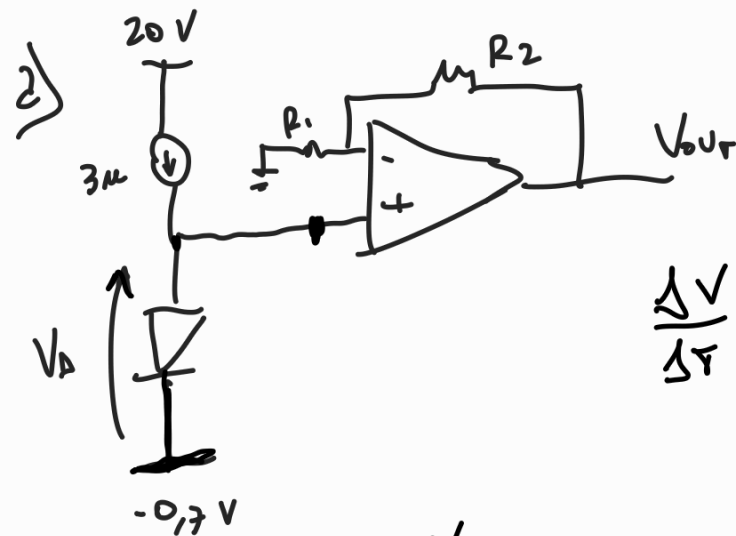
Si consideri il circuito riportato nella Fig. 3, che sfrutta la dipendenza dalla temperatura della tensione ai capi di una giunzione pn ($-1.8\text{mV}/^\circ\text{C}$) per misurare la temperatura. Si assuma $V_D=0.7\text{V}$ per una temperatura di 0°C .



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

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 $GBWP = 30\text{MHz}$.



$$V_D - V_0 = \frac{\Delta V}{\Delta T} (T - T_0)$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = -1,8 \frac{\mu\text{V}}{^\circ\text{C}} ; \quad \begin{aligned} V_D &= 0,7\text{V} \\ T_0 &= 0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$V_D - 0,7\text{V} = -1,8 \frac{\mu\text{V}}{^\circ\text{C}} (T - 0^\circ\text{C})$$

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

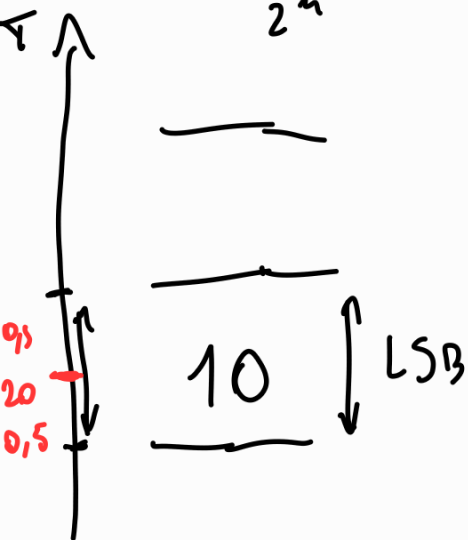
$$V_{out}(T) = V_{OA}^+ \cdot G_{OA} = (-0,7 + V_D) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = -55,8 \frac{\mu\text{V}}{^\circ\text{C}} \cdot T$$

$$b) \Delta T = \pm 0,5^\circ C \rightarrow \Delta V_{out} = \mp 27,9 \mu V \rightarrow \Delta V_{in}^{ADC} = \mp 27,9 \mu V$$

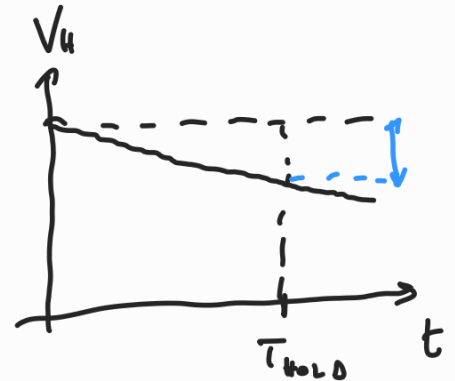
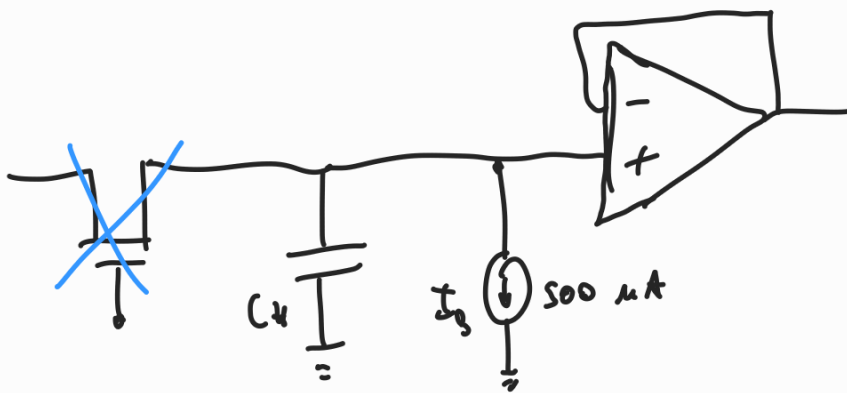
$$1 \text{ LSB} = 2 \cdot \Delta V_{in}^{ADC} = 55,8 \mu V$$

$$\text{LSB} = \frac{FSR}{2^M} \rightarrow M \geq \log_2 \frac{FSR}{\text{LSB}} = 7,49 \rightarrow M = 8$$

$$\text{LSB} = 39,1 \mu V$$



c)

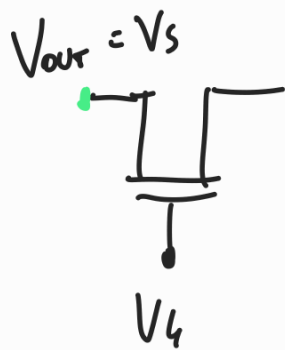


$$I = C \frac{dV}{dt}$$

$$\hookrightarrow \Delta V = \frac{I}{C} \Delta T = \frac{I_3}{C_4} \cdot T_{hold} = 900 \mu V = 23 \cdot 10^{-3} \text{ LSB}$$

$$\frac{900 \mu V}{39,1 \mu V}$$

d)



$$-50^{\circ}\text{C} < T_{in} < +50^{\circ}\text{C}$$

$$+2,79\text{V} > V_{OUT} > -2,79\text{V}$$

HOLD

MOS DEVE RIMANERE SPENTO

$$V_{GS} < V_T \rightarrow V_G < V_S + V_T$$

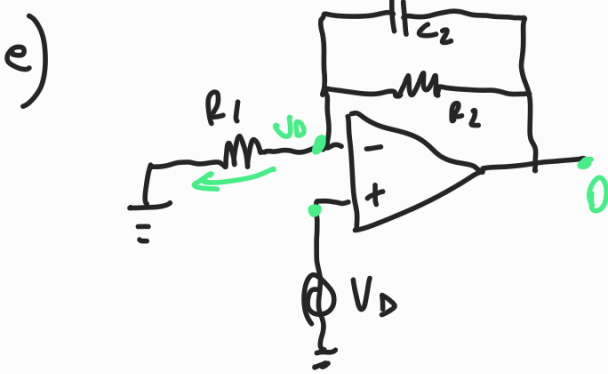
$$V_G < V_S^{\text{MIN}} + V_T = -1,99\text{V}$$

SAMPLEMOS DEVE ESSERE ACCESO CON $R_{DS} < 10\ \Omega$

$$R_{DSon} = \frac{1}{2 \cdot k \cdot (V_{GS} - V_T)} < 10\ \Omega \rightarrow V_{GS} - V_T > \frac{1}{2k \cdot 10\ \Omega} = 10\text{V}$$

$$V_G > V_S + V_T + 10\text{V} = 13,99\text{V}$$

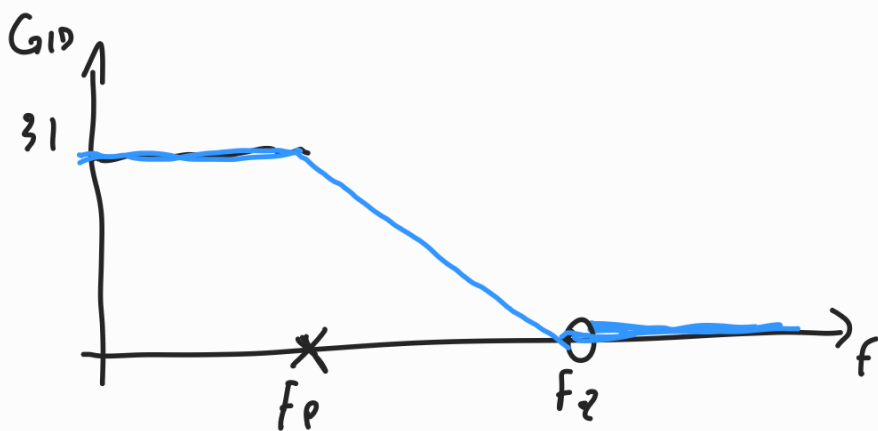
↑
massima



$$G_{ID}(0) = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 31$$

$$G_{ID}(\infty) = 1$$

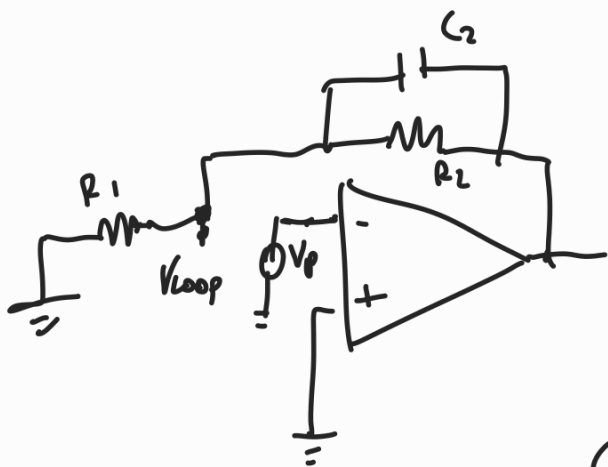
$$\tau_p = C_2 \cdot R_2 = 300 \mu s \rightarrow F = 530 \text{ kHz}$$



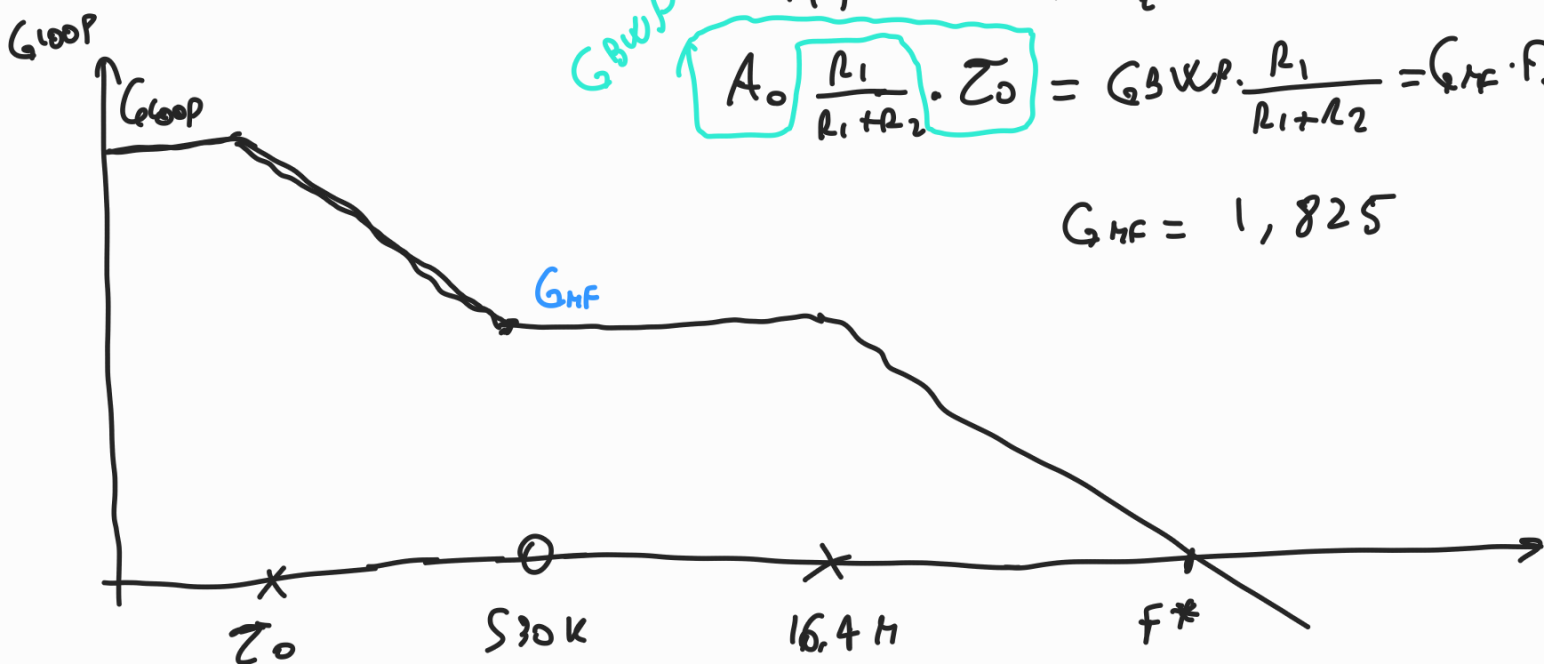
$$G(0) \cdot F_p = G(\infty) \cdot f_z$$

$$f_z = \frac{G(0)}{G(\infty)} \cdot F_p$$

$$= 16.4 \text{ MHz}$$



$$G_{loop} = \frac{A_o}{(1+s\tau_o)} \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot \frac{1+sC_2R_2}{1+sC_2(L_1/R_2)}$$

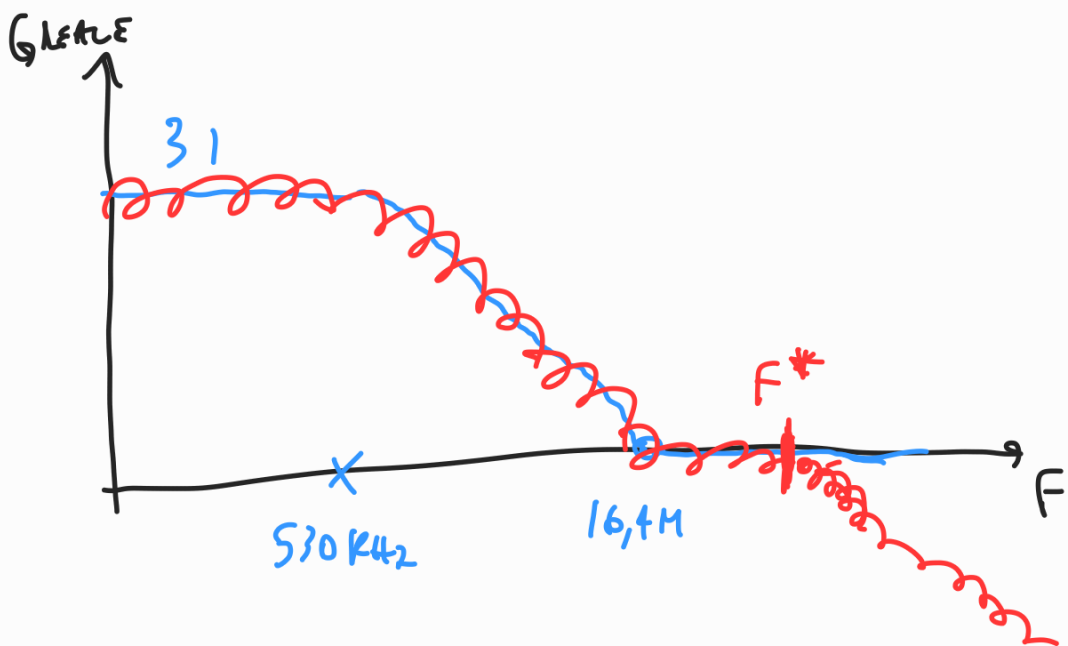


$$G_{loop}(0) \cdot \tau_o = G_{MF} \cdot F_z$$

$$A_o \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot \tau_o = G_{BWP} \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2} = G_{MF} \cdot F_z$$

$$G_{MF} = 1,825$$

$$G_{MF} \cdot 16,4 \text{ MHz} = 1 \cdot f^* \rightarrow f^* = 29,93 \text{ MHz}$$

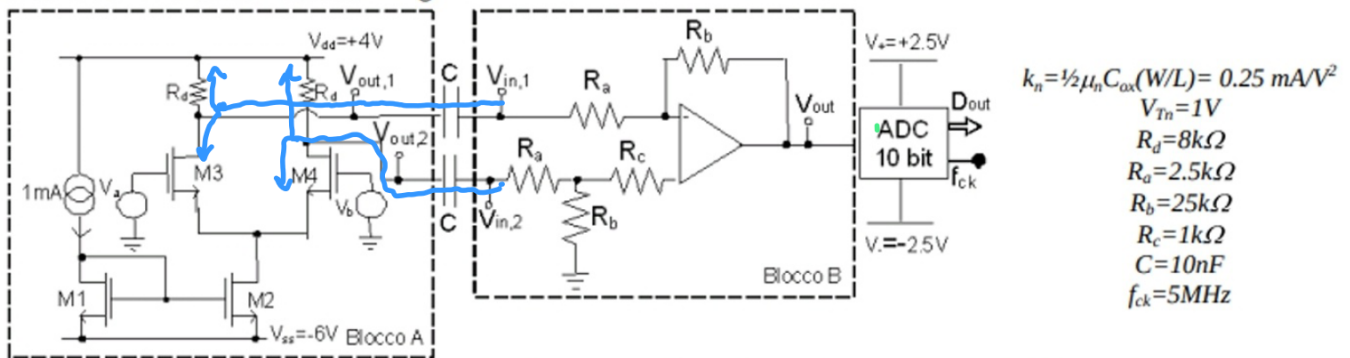


G 10

G RALE

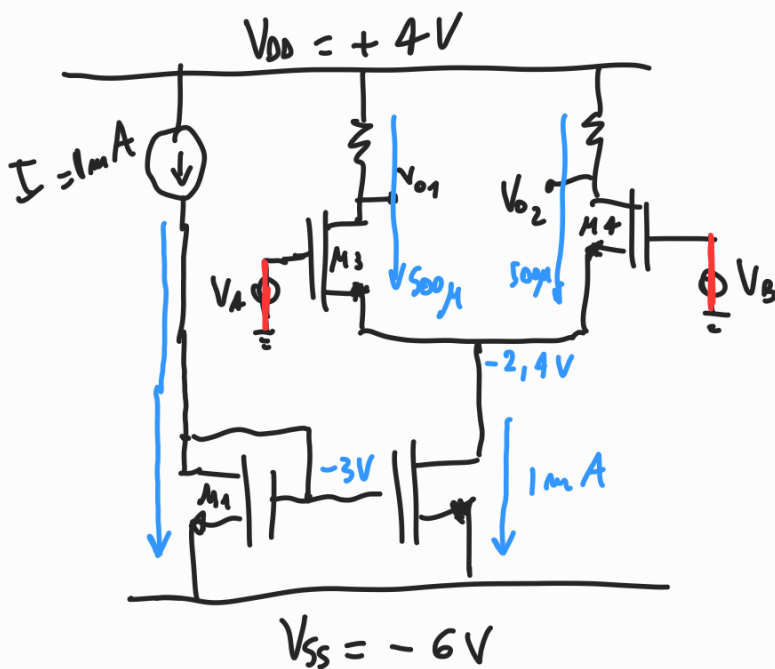
Esercizio 2

Si consideri il circuito mostrato in Fig. 1.



- Determinare le tensioni a tutti i nodi e le correnti in tutti i rami per il circuito del blocco A.
- Determinare il guadagno differenziale $v_{out}/(v_{in,2}-v_{in,1})$ del circuito racchiuso nel blocco B, ipotizzando le capacità C dei circuiti aperti.
- Determinare il guadagno differenziale di piccolo segnale $(v_{out,2}-v_{out,1})/(v_a-v_b)$ del circuito racchiuso nel blocco A, ipotizzando le capacità C dei circuiti aperti.
- Se il segnale differenziale applicato in ingresso al circuito del blocco B ($v_{in,2}-v_{in,1}$) fosse una sinusoide di ampiezza pari a 200 mV e frequenza pari a 200 kHz , determinare il minimo valore che deve avere lo *slew-rate* dell'amplificatore operazionale per non incorrere in distorsioni del segnale di uscita.
- Determinare il CMRR dell'amplificatore differenziale racchiuso nel blocco A, se il MOSFET M2 e' caratterizzato da una resistenza di uscita $r_o = 50\text{ k}\Omega$. Si ipotizzino le capacità C dei circuiti aperti.
- Si supponga che il segnale in ingresso all'ADC (v_{out}) sia sinusoidale, di ampiezza pari a meta' del FSR dell'ADC. Si determini la massima frequenza di tale segnale che garantisca di non avere errori nella conversione, nel caso in cui l'ADC sia a gradinata o ad approssimazioni successive. (Si ricordi che non e' presente un circuito di *sample & hold*).
- Determinare il margine di fase del circuito racchiuso nel blocco B, ipotizzando le capacità C dei cortocircuiti, se $A(s) = \frac{A_0}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$, dove $A_0 = 80\text{ dB}$, $\tau_1 = 10\text{ ms}$, $\tau_2 = 2\text{ }\mu\text{s}$.

2) POLARIZZAZIONE BLOCCO (A)



$$I_{M1} = 1\text{ mA} = I_{M2}$$

$$I = K (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS1} = V_T + \sqrt{\frac{I}{K}} = 3\text{ V}$$

$$\rightarrow V_{GS2} = -3\text{ V}$$

$$V_{GS3} = V_T + \sqrt{\frac{I}{K}}$$

$$= 1\text{ V} + \sqrt{\frac{500\text{ }\mu\text{A}}{250\text{ }\mu\text{A}}} = 2,4\text{ V}$$

$$V_{GS4} = -2,4\text{ V}$$

$$V_D = V_{D1} = V_{D2} = V_{DD} - R_D \cdot 500\text{ }\mu\text{A} = 0\text{ V}$$

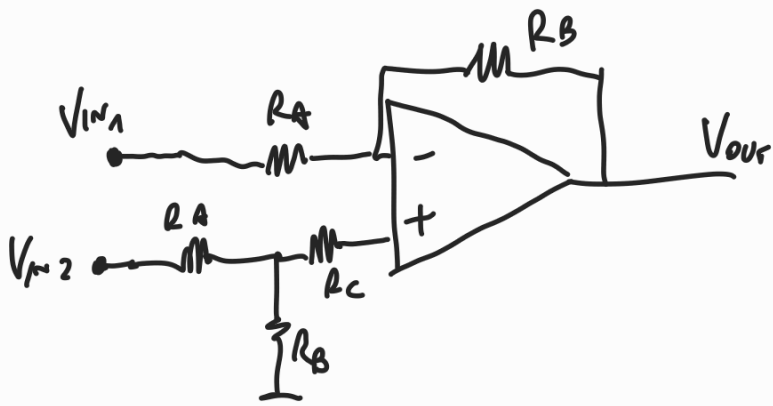
$$M2 \quad V_{GD} = -0,6\text{ V} < V_T \quad \text{SATURO}$$

$$M1 \quad V_{GD} = 0 \quad \text{SATURO}$$

$$M3, M4 \quad V_{GD} = 0 \quad \text{SATURO}$$

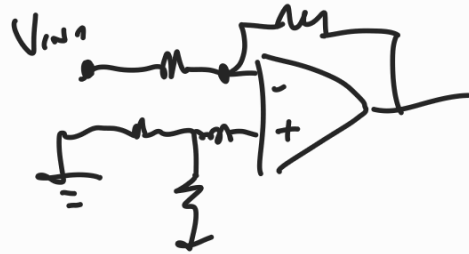
$$g_{mD} = 2 \cdot K_n (V_{GS} - V_T) = 700 \mu S$$

b)



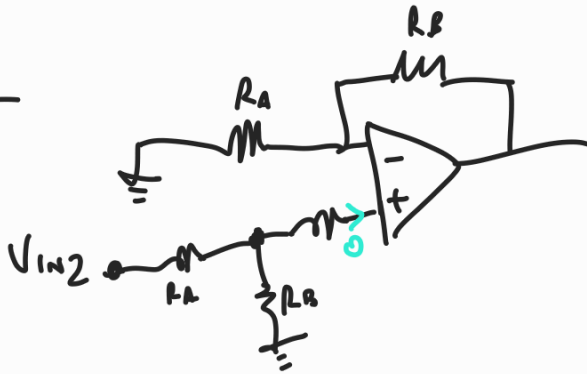
$$G_{OA} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN2} - V_{IN1}}$$

EFFETTO V_{IN1}



$$V_{OUT} = V_{IN1} \left(-\frac{R_B}{R_A} \right)$$

EFFETTO V_{IN2}

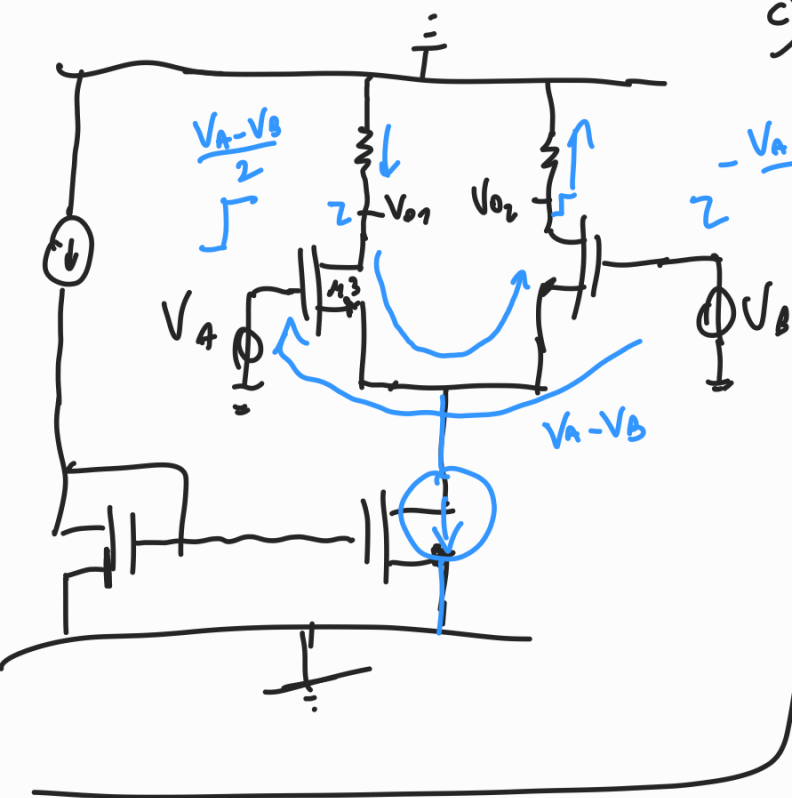


$$\begin{aligned} V_{OUT} &= V_{IN2} \cdot \frac{R_B}{R_A + R_B} \left(1 + \frac{R_B}{R_A} \right) \\ &= V_{IN2} \frac{R_B}{R_A + R_B} \frac{R_A + R_B}{R_A} \\ &= V_{IN2} \cdot \frac{R_B}{R_A} \end{aligned}$$

$$V_{OUT} = V_{IN1} \left(-\frac{R_B}{R_A} \right) + V_{IN2} \cdot \frac{R_B}{R_A} = \frac{R_B}{R_A} \cdot (V_{IN2} - V_{IN1})$$

$$G_{OA} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN2} - V_{IN1}} = \frac{R_B}{R_A} = 10$$

$$c) G_{DIF} = \frac{V_{O2} - V_{O1}}{V_A - V_B}$$



$$i_D = \frac{V_A - V_B}{2} \cdot g_{mD}$$

$$V_{O2} = i_D \cdot R_D$$

$$V_{O1} = -i_D \cdot R_D$$

$$V_{O2} - V_{O1} = 2 i_D \cdot R_D = 2 \cdot R_D \cdot g_{mD} \frac{(V_A - V_B)}{2}$$

$$= R_D g_{mD} (V_A - V_B)$$

$$G_{DIF} = g_{mD} R_D = 5,6$$

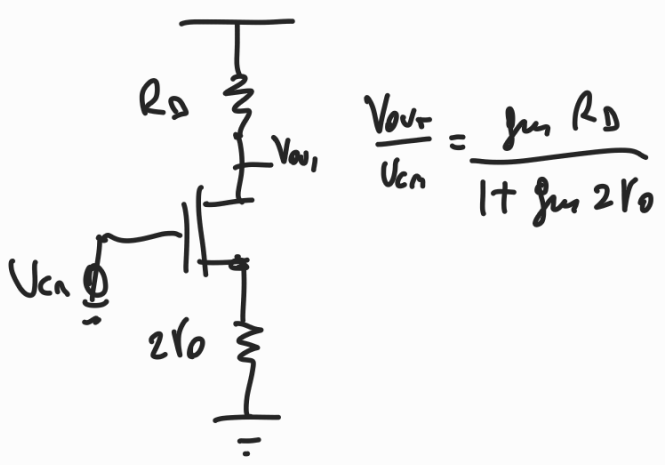
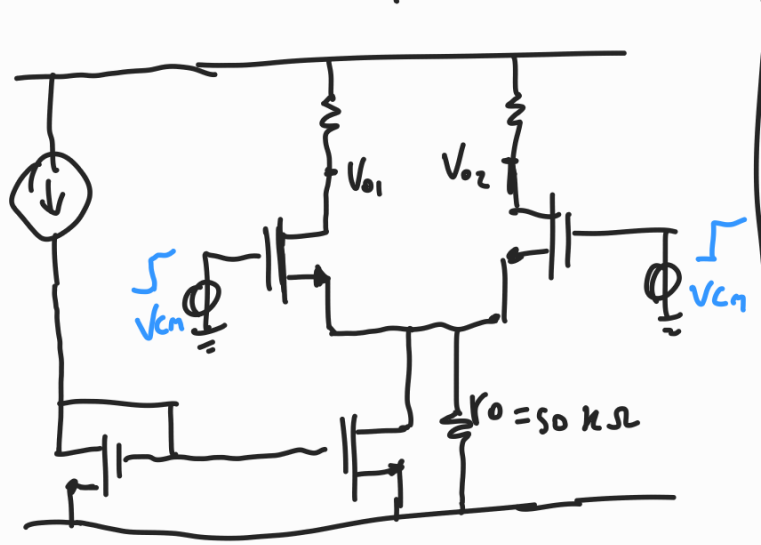
$$d) V_{m2} - V_{m1} = 0,2 \text{ s cm} (2\pi \cdot 200 \text{ k} \cdot t) \text{ V}$$

$$V_{OUT} = \frac{R_B}{R_A} (V_{m2} - V_{m1}) = 2 \text{ s cm} (2\pi \cdot 200 \text{ k} \cdot t) \text{ V}$$

$$\frac{dV_{OUT}}{dt} = 2 \cdot \omega \cdot \cos(2\pi \cdot 200 \text{ k} \cdot t) \rightarrow \left. \frac{dV_{OUT}}{dt} \right|_{MAX} = 2 \cdot 2\pi \cdot f = 2,5 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$$

e) CMRR = ?

ME220 CIRCUITO



$$\frac{V_{OUT}}{V_{CM}} = \frac{g_{mD} R_D}{1 + g_{mD} 2r_o}$$

$$CMRR = \frac{G_{DIFF}}{G_{CM}} = \frac{g_m R_D}{g_m R_D} \cdot (1 + g_m 2r_o) = 1 + g_m 2r_o = 71$$

F) NO S & H \rightarrow IL SEGNALE IN INGRESSO ALL'ADC DEVE
VARIARE POCO DURANTE LA CONVERSIONE

$$\Delta V_{SIG} < \epsilon \rightarrow \left. \frac{dV_{SIG}}{dt} \right|_{MAX} \cdot T_{CONV} < \frac{1}{2} \text{ LSB}$$

$$2\pi f_{SIG} \cdot \frac{FSR}{2} \cdot T_{CONV} < \frac{1}{2} \frac{FSR}{2^M} \rightarrow 2\pi f_{SIG} T_{CONV} < \frac{1}{2^M}$$

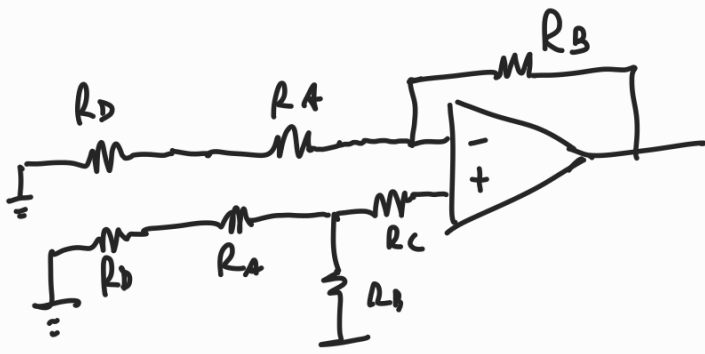
ADC GLAD/NATA | $T_{CONV} = \frac{2^M + 1}{f_{CLK}}$

$$2\pi f_{SIG} \cdot \frac{2^M + 1}{f_{CLK}} < \frac{1}{2^M} \rightarrow f_{SIG} < \frac{f_{CLK}}{2\pi} \frac{1}{2^M (2^M + 1)} = 0,76 \text{ Hz}$$

ADC SAR | $T_{CONV} = \frac{M+1}{f_{CLK}}$

$$2\pi f_{SIG} \cdot \frac{M+1}{f_{CLK}} < \frac{1}{2^M} \rightarrow f_{SIG} < \frac{f_{CLK}}{2\pi} \frac{1}{2^M (M+1)} = 70,6 \text{ Hz}$$

8)



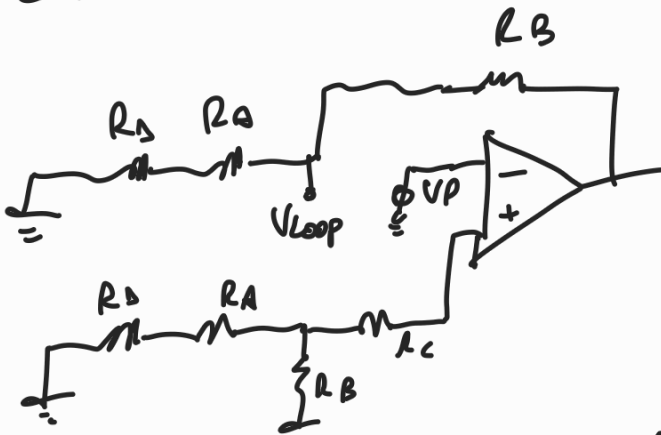
$$A(s) = \frac{A_0}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

$$A_0 = 80 \text{ dB} = 10^4$$

$$\tau_1 = 10 \text{ ms} \rightarrow F_1 = 15,9 \text{ Hz}$$

$$\tau_2 = 2 \mu\text{s} \rightarrow F_2 = 79,6 \text{ kHz}$$

CALCOLO G_{LOOP}

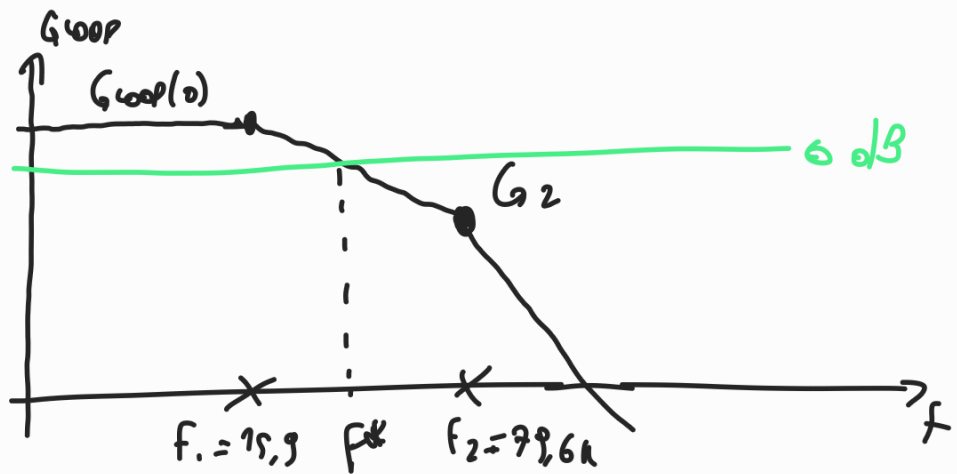


$$G_{loop} = \frac{V_{loop}}{V_p}$$

$$G_{loop}(0) = -A_0 \cdot \frac{R_A + R_D}{R_A + R_D + R_B} = 2957,7$$

$$G_{loop}(0) \cdot F_1 = G_2 \cdot F_2$$

$$G_2 = \frac{G_{loop}(0) \cdot F_1}{F_2} = \underline{0,59 < 1}$$



$$G_{loop}(0) \cdot F_1 = 1 \cdot F^*$$

$$F^* = G_{loop}(0) \cdot F_1 = 47 \text{ kHz}$$

$$\varphi_M = 360^\circ - 180^\circ - 2 \arctan\left(\frac{F^*}{F_1}\right) - 2 \arctan\left(\frac{F^*}{F_2}\right)$$

$$= 360^\circ - 180^\circ - 89,98^\circ - 30,57^\circ = 59,45^\circ$$

STABILE