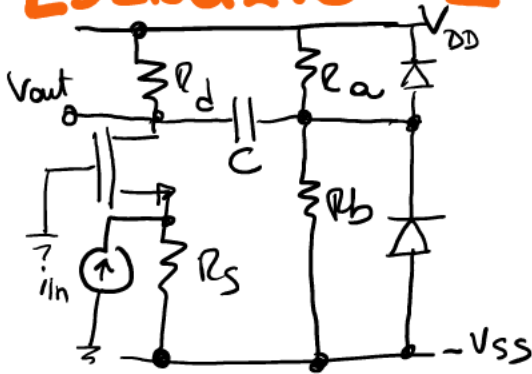


ESERCIZIO 1



$V_{DD} = +3V$
 $-V_{SS} = -3V$
 $R_D = 3k$
 $R_a = R_b = 10k$
 $R_S = 1k$
 $k_m = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} = 1mA/V^2$
 $V_{T_m} = 1V$

2) POLARIZZAZIONE

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Hp. MOS saturò, diodi off.} \\ \text{Capacità circuito aperto} \\ i_{in} = 0 \end{array} \right.$

$$I_D = k_m (V_{GS_m} - V_{T_m})^2$$

$$V_{GS} + I_D R_S = 0 - (-V_{SS})$$

$$V_{GS} + k_m R_S (V_{GS} - V_{T_m})^2 = 3$$

$$V_{GS} + k_m R_S [V_{GS}^2 - 2V_{GS}V_{T_m} + V_{T_m}^2] = 3$$

$$V_{GS}^2 - V_{GS} + 1 = 3$$

$$V_{GS}^2 - V_{GS} - 2 = 0$$

$$\rightarrow V_{GS} = \frac{-1 \pm \sqrt{1+8}}{2} = \begin{cases} \frac{-1+3}{2} = +2V \text{ acc.} \\ -1V \text{ non acc.} \end{cases}$$

$$I_D = 1mA$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = +3V - 1mA \cdot 3k = 0V$$

$\rightarrow V_{GD} = 0$; saturò!! \Rightarrow oc MOS saturò

Diodi off, infatti V_{out} è compresa tra le alimentazioni e, quindi, non c'è tensione diretta ai loro capi.

$$g_m = 2k_m (V_{GS_m} - V_{T_m}) = 2 \text{ mA/V}$$

6) $v_{out}/i_{in} / LF$

$$\left. \frac{v_{out}}{i_{in}} \right|_{LF} = \frac{R_S + R_D}{R_S + 1/g_m} = \frac{1}{1.5} \cdot 3k = 2k\Omega$$

$$\left. \frac{V_{out}}{i_{in}} \right|_{LF} = \frac{R_s}{R_s + \frac{1}{\beta m}} R_D = \frac{1}{1.5} 3k = 2k\Omega$$

c diagramma di Bode del modulo

C introduce 1 polo e uno zero

* polo $\tau_p = C [R_D + R_a || R_b] = 800ms$

$\hookrightarrow f_p = \frac{1}{2\pi\tau_p} = 199kHz$

* zero

$Z_{eq}(s) = \frac{1}{sC} + R_a || R_b$

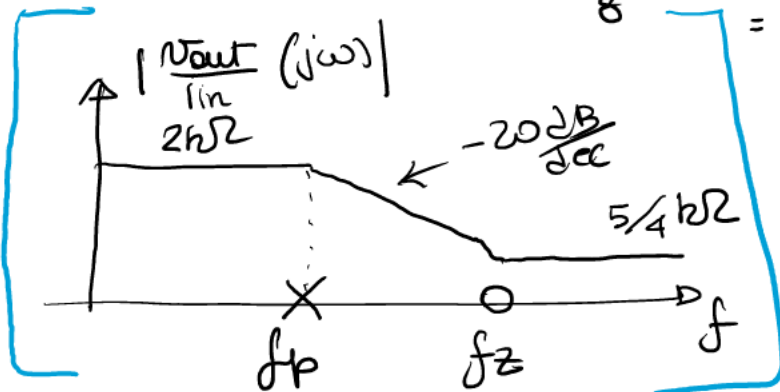
se \bar{s} t.c. $Z_{eq}(\bar{s}) = 0 \Rightarrow$ c'è lo zero
poiché $V_{out}(s)$ è la tensione ai capi di
Dole $Z_{eq}(s)$

$Z_{eq}(\bar{s}) = \frac{1}{\bar{s}C} + R_a || R_b = \frac{1 + \bar{s}C R_a || R_b}{\bar{s}C}$

$\hookrightarrow \tau_z = C(R_a || R_b) = 500ms$

$\hookrightarrow f_z = \frac{1}{2\pi\tau_z} = 318.5kHz$

$\frac{V_{out}}{i_{in}} \Big|_{HF} = \frac{R_s}{R_s + \frac{1}{\beta m}} \underbrace{R_D || R_a || R_b}_{\frac{15k}{8}} = \frac{1k}{1.5k} \frac{15k}{8k} = \frac{10k}{8} = \frac{5k}{4}$



d Massimo escursione positiva e negativa di V_{out} in DC

Nella escursione positiva la tensione di uscita è limitata a $+3V$ dalla alimentazione positiva V_{dd} .

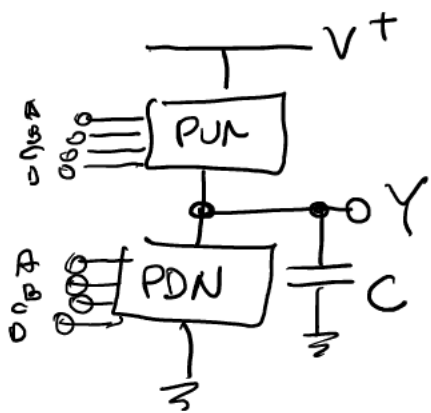
Nella escursione negativa, la limitazione

Nella escursione negativa, la limitazione è data dalla uscita dalla saturazione del transistor MOS

$$V_{GD} = V_{Tm} \Rightarrow 0 - V_{out} = V_{Tm} \Rightarrow V_{out} = -V_{Tm} = -1V$$

$$\rightarrow -1V < V_{out} < 3V$$

ESERCIZIO 2



$$V^+ = 3.3V$$

$$k_m = 1 \mu A/V^2 = 0.5 \text{ mA/V}^2$$

$$C = 4 \text{ pF}$$

$$V_{Tm} = 0.7V$$

$$Y = (A \cdot B + C \cdot B) \cdot D$$

a) porta logica CMOS in forma minima

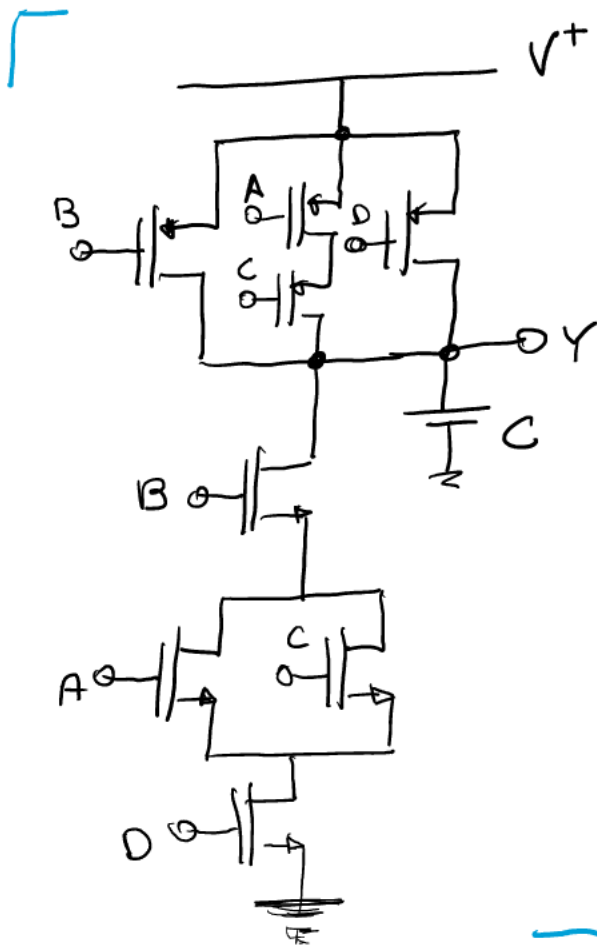
$$Y = \overline{(A \cdot B + C \cdot B)} \cdot D = \overline{B \cdot (A + C)} \cdot D = \overline{B} + \overline{A} \cdot \overline{C} + \overline{D}$$

$$\overline{Y} = (A + C) \cdot B \cdot D$$

$$Y = \overline{B} + \overline{A} \cdot \overline{C} + \overline{D}$$

sintetizza la rete di pull-down

sintetizza la rete di pull-up



b Tempo di Transizione più lento.

Per la rete di pull-up la condizione più gravosa e, dunque, più lenta, si ha quando la carica dello capacitor avviene attraverso la serie dei due pmos pilotati da A e da C

Per la rete di pull-down, invece, la condizione più gravosa si ha quando la capacità si scarica attraverso la serie di 3 nmos

BAD oppure BCD

Considero, a titolo esemplificativo, l'approssimazione ohmica.

$R_{ds_{on,p}} = R_{ds_{on,m}}$ in questo caso poiché i transistor hanno lo stesso k

$$R_{ds_{on}} |_{pull} = 2 R_{ds_{on}} \quad R_{ds_{on}} |_{pull} = 3 R_{ds_{on}}$$

$$R_{ds_{on\ eq}} |_{PUN} = 2 R_{ds_{on}} \quad R_{ds_{on\ eq}} |_{PDN} = 3 R_{ds_{on}}$$

da condizione in assoluto più grave risulta pertanto, lo scarico della capacità attraverso la serie di 3 MOS.

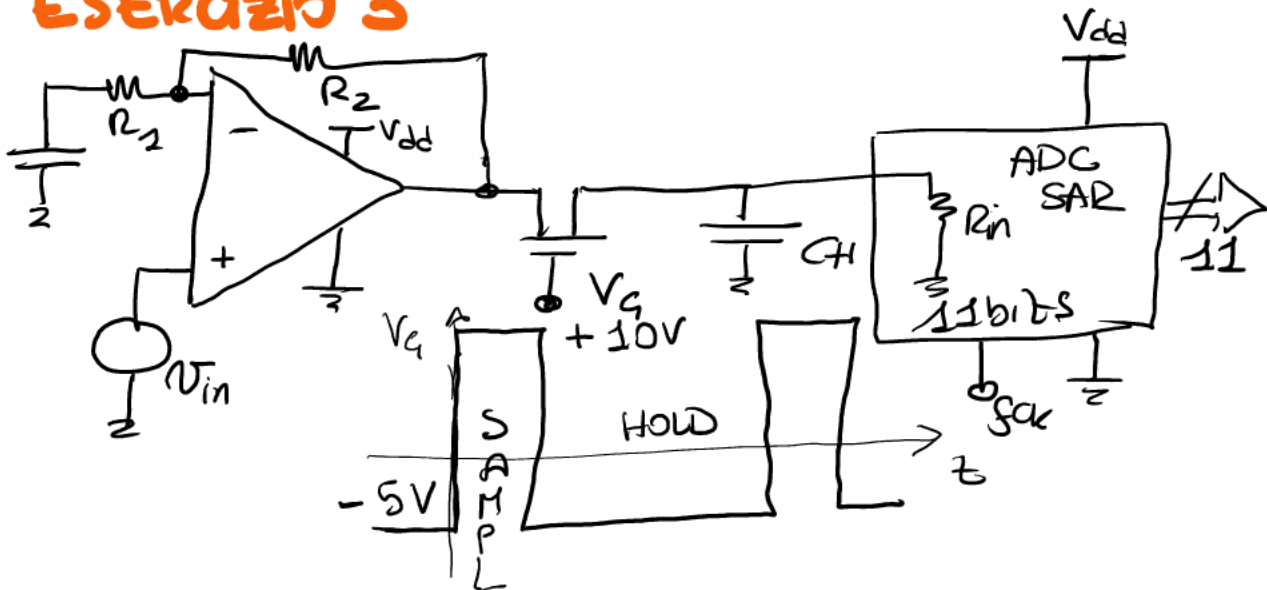


$$\tau = C \cdot 3 R_{ds_{on}} = 4.62 \text{ ms}$$

$$R_{ds_{on}} = \frac{1}{2k_m(V^+ - V_{Tm})} = 385 \Omega$$

$$t_{p_{HL\ 50\%}} = 0.69 \tau = 3.2 \text{ ms}$$

ESERCIZIO 3



$$R_1 = 1k$$

$$V_{Tm} = 1V$$

$$C_H = 47nF$$

$$C_f = 100pF$$

$$R_2 = 9k$$

$$k_m = 17.5 \text{ mA/V}^2$$

$$R_{in} = 5M\Omega$$

$$f_{sar} = 1MHz$$

$$V_{dd} = +5V$$

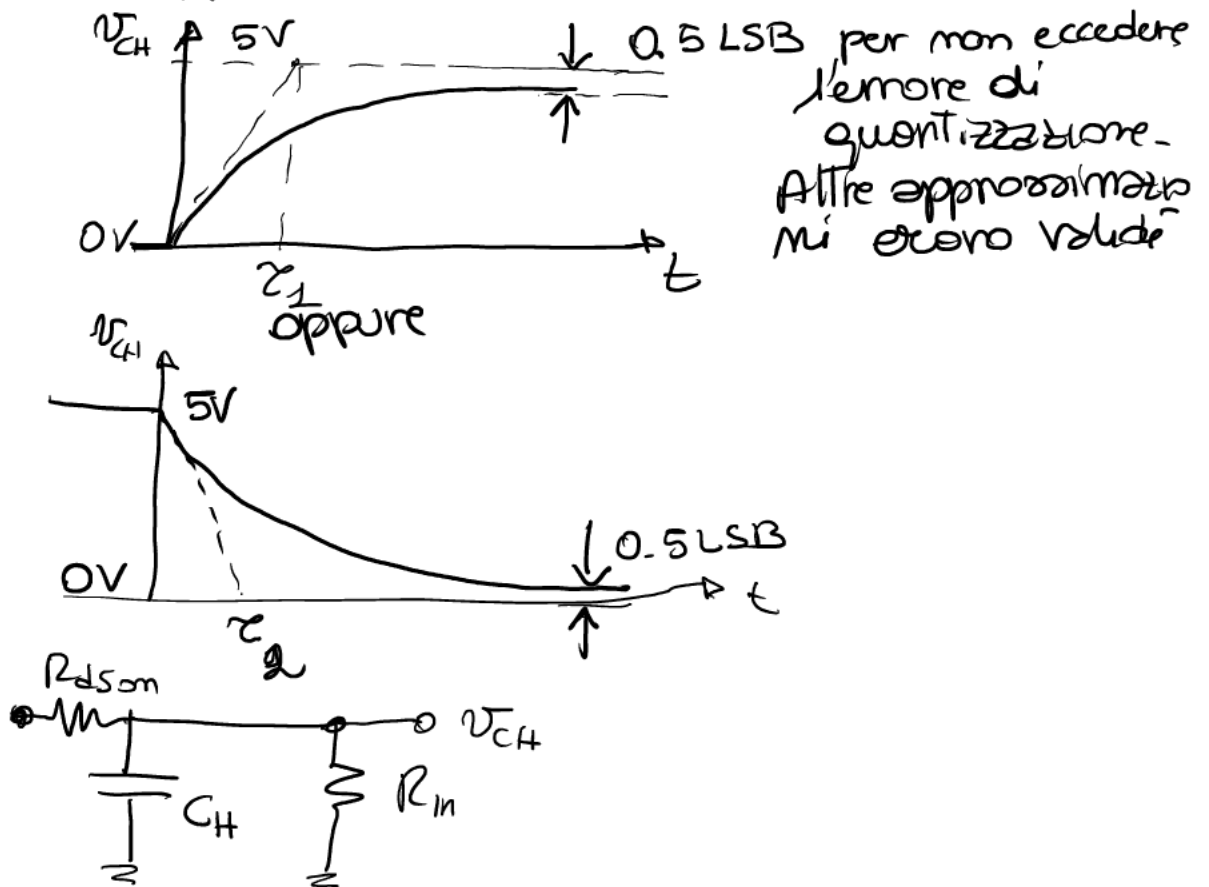
② Guadagno ideale a basse frequenze

C è un circuito aperto, quindi il circuito diventa un buffer.

Pertanto $\left[G_{LF} \right]_{ideale} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \Big|_{LF, ideale} = 1$

⑥ minimo tempo di sample

La capacità C_H si carica con andamento approssimabile ad una carica esponenziale



Il valore a regime sarebbe in realtà la partizione $\frac{R_{in}}{R_{in} + R_{DS(on)}} V_{out}$ e, quindi, necessariamente più piccola di 5V. Trascurando tale partizione occorre sapere se τ_1 sia più grande di τ_2 oppure il contrario -
 la situazione peggiore si ha con $V_{in} = 5V$, poiché in tali condizioni $R_{DS(on)}$ risulta migliore

$$R_{ds_{on}} = \frac{1}{2k_m (V_{GS} - V_{Tm})} = 7\Omega$$

$V_S = 5V$

Nel caso di τ_2 si avrebbe $R_{ds_{on}} = 5.3\Omega$

$$\Downarrow \Delta V \exp\left(-\frac{T_{Smin}}{\tau}\right) = \frac{LSB}{2}$$

$$1LSB = \frac{FSR}{2^m} = 2.44mV$$

$$\tau = C (R_{ds_{on}} || R_{in_{SAR}}) \approx 330ms$$

$$\Downarrow T_{Smin} = \tau \ln \frac{\Delta V}{LSB/2} = 8.32\tau = 2.7\mu s$$

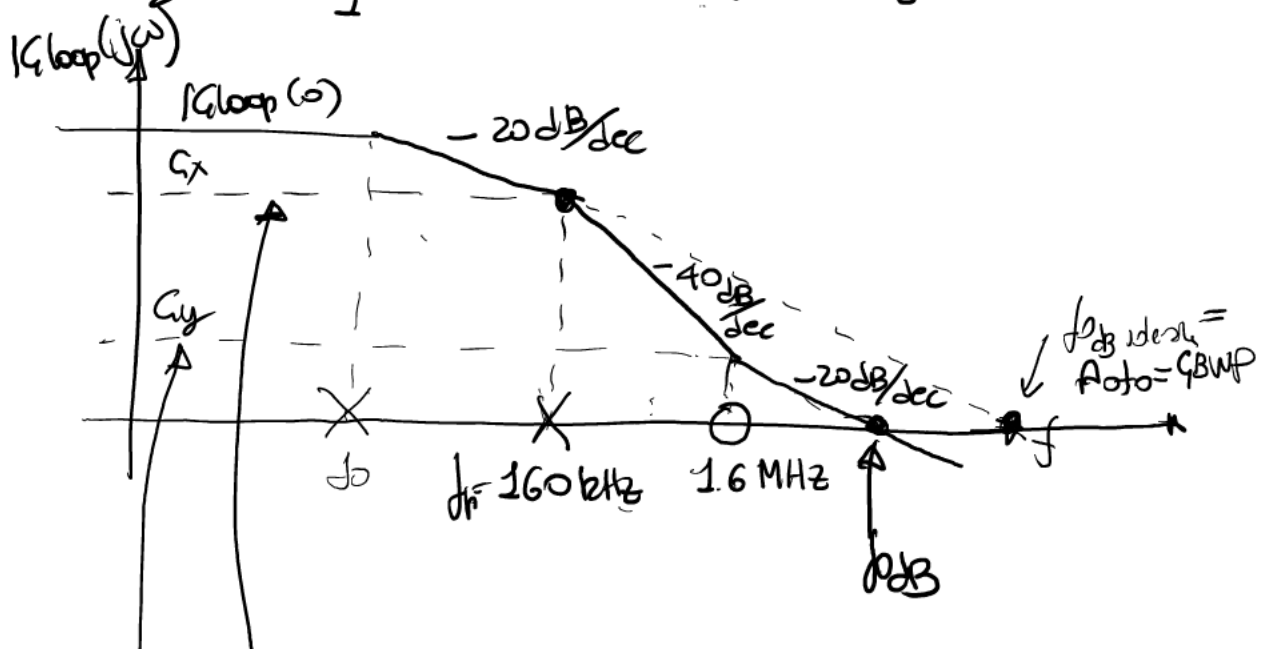
C margine di fase

$$G_{loop}(s) = G_{loop}(s) \frac{1+s\tau_z}{1+s\tau_p} \frac{1}{1+s\tau_0}$$

$$G_{loop}(0) = -A_0$$

$$\tau_p = C(R_1 + R_2) = 1\mu s \Rightarrow f_p = \frac{1}{2\pi\tau_p} = 160kHz$$

$$\tau_z = CR_1 = 100ms \Rightarrow f_z = \frac{1}{2\pi\tau_z} = 1.6MHz$$



$$G_x \times f_p = \text{GBWP}$$

$$\Downarrow G_x = \frac{\text{GBWP}}{f_p} = \frac{100 \text{ MHz}}{160 \text{ kHz}} = 625$$

$$G_y f_z^2 = G_x f_p^2 \Rightarrow G_y = G_x \frac{f_p^2}{f_z^2} = \frac{\text{GBWP}}{f_p} \frac{f_p^2}{f_z^2}$$

$$f_{\text{dB}} = G_y f_z = 6.25 \times 1.6 \text{ MHz} = 10 \text{ MHz}$$

$$= \frac{\text{GBWP} f_p}{f_z^2} = \frac{100 \text{ MHz} \times 160 \text{ kHz}}{(1.6 \text{ MHz})^2}$$

$$\boxed{\Phi_M} = \left(-180^\circ - \text{arctg} \frac{f_{\text{dB}}}{f_0} - \text{arctg} \frac{f_{\text{dB}}}{f_p} + \text{arctg} \frac{f_{\text{dB}}}{f_z} \right) - (-360^\circ) =$$

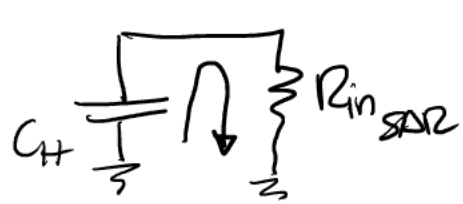
= 6.25
 ↑ ovvio!!
 in una decade
 perdo 40 dB,
 100! un fattore 100!

$$\approx 180^\circ - 90^\circ - \underbrace{\text{arctg} \frac{10 \text{ MHz}}{160 \text{ kHz}}}_{89^\circ} + \underbrace{\text{arctg} \frac{10 \text{ MHz}}{1.6 \text{ MHz}}}_{80^\circ}$$

$$\boxed{= 81^\circ}$$

d) errore di droop minimo

Possiamo modellizzare il circuito in fase di Hold come



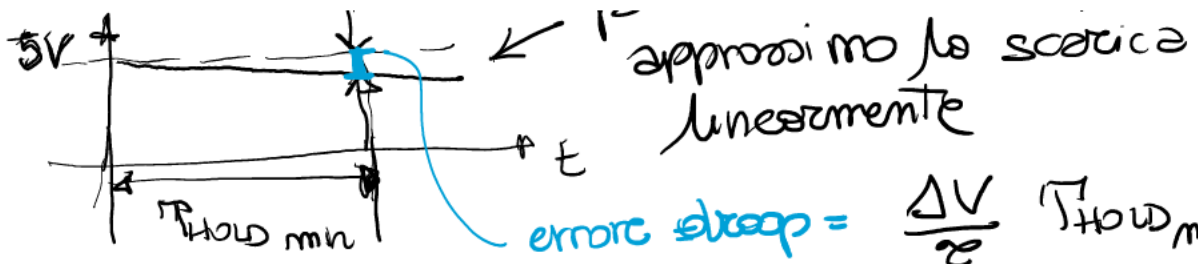
$$\tau = C_H R_{\text{in SAR}} = 47 \text{ nF} \times 5 \text{ nF} = 235 \text{ ns}$$

Il minimo tempo di Hold deve essere almeno pari al tempo di conversione, che per un SAR è

$$\tau_{\text{conv}} = \frac{n+1}{f_{\text{clk}}} = 12 \mu\text{s}$$



poiché $\tau \gg \tau_{\text{conv}}$, min approssimo la scarica



error drop = $\frac{\Delta V}{\tau} T_{\text{HOLD min}} =$

$= \frac{5V}{235 \text{ ms}} \cdot 12 \mu\text{s} =$

$= 255 \mu\text{V}$