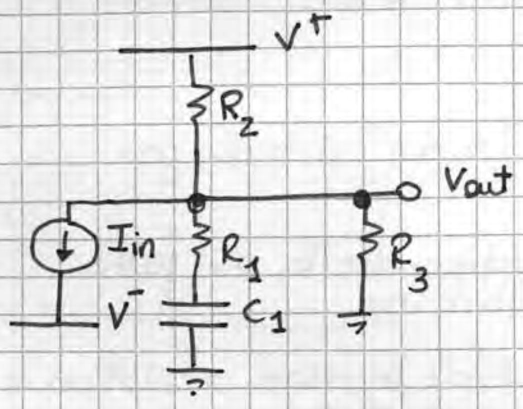
FONDAMENTI DI ELETTRONICA – PRIMA PROVA IN ITINERE E APPELLO STRAORDIN. 1

27 APRILE 2017

ESERCIZIO Ø - ESERCIZIO 1

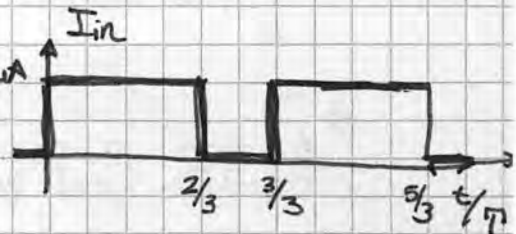


$R_1 = 10k\Omega$

$R_2 = R_3 = 50k\Omega$

$C_1 = 1nF$

$V^+ = V^- = 2V$



$\tau = C_1 (R_1 + R_2 \| R_3) = 1mF(10k\Omega + 25k\Omega) = 35\mu s$

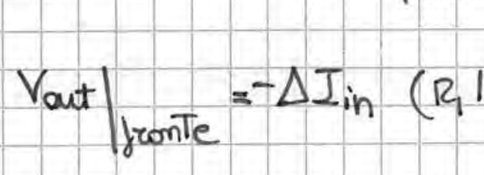
Poiché R_1 è in serie a un condensatore, in R_1 non può scorrere corrente in continua, pertanto la corrente media in R_1 è zero.

a) Per il calcolo della tensione Vout applico il principio di sovrapposizione degli effetti: perché il circuito è lineare.

* $V_{out}\Big|_{V^+} = \frac{R_3}{R_2+R_3} V^+ = \frac{1}{2} 2V = 1V$

* V^- non dà contributi perché in serie ad un generatore di corrente ideale

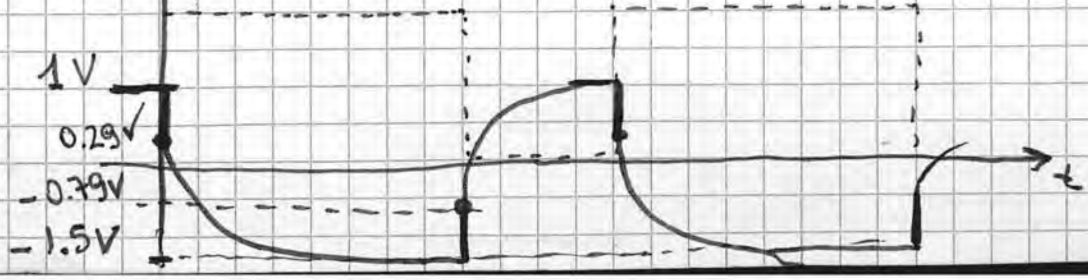
* Iin



$V_{out}\Big|_{regime} = -I_{in} R_2 \| R_3 = \begin{cases} 0V \\ -100\mu A \cdot 25k\Omega = -2.5V \end{cases}$

$\frac{T}{3} = 1ms \gg \tau \Rightarrow$ circuito va a regime in ogni frazione del periodo

$V_{out}\Big|_{fronte} = -\Delta I_{in} (R_1 \| R_2 \| R_3) = \mp 100\mu A \underbrace{(10k \| 25k)}_{7.1k\Omega} = \mp 710mV$



b) con $T = 300\mu s \Rightarrow \frac{T}{3} = 100\mu s$

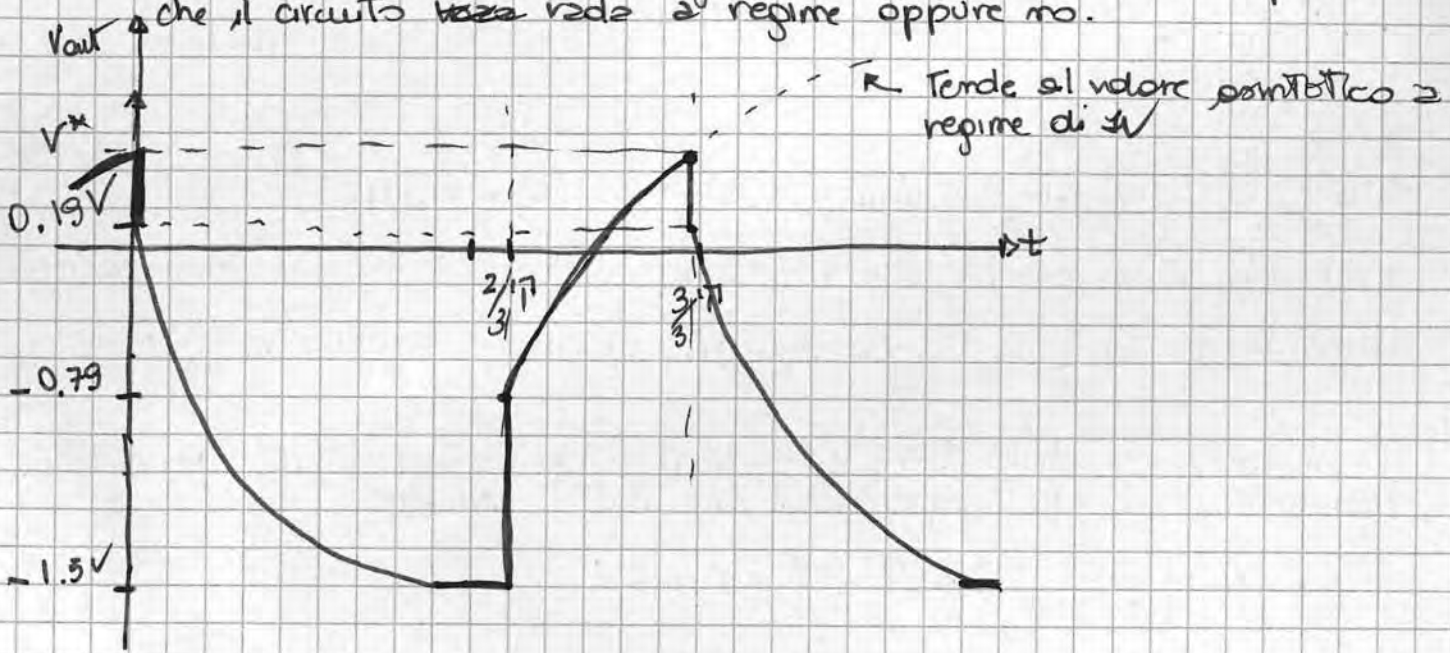
$\Downarrow \frac{T}{3} = \frac{100\mu s}{35\mu s}\tau = 2.9\tau \Rightarrow$ non va a regime nella frazione più corta del periodo

$\frac{2}{3}T = 200\mu s = 5.7\tau \Rightarrow$ va a regime in questa frazione di periodo

$\Downarrow$

il valore a regime durante la fase "lunga" è quello già calcolato nel punto a.

Il valore del salto sul fronte è indipendente dal fatto che il circuito ~~teza~~ vada a regime oppure no.



$$V^*(t) = +1V + (-1V - 0.79V)\exp\left(-t/\tau\right)$$

$\Downarrow$

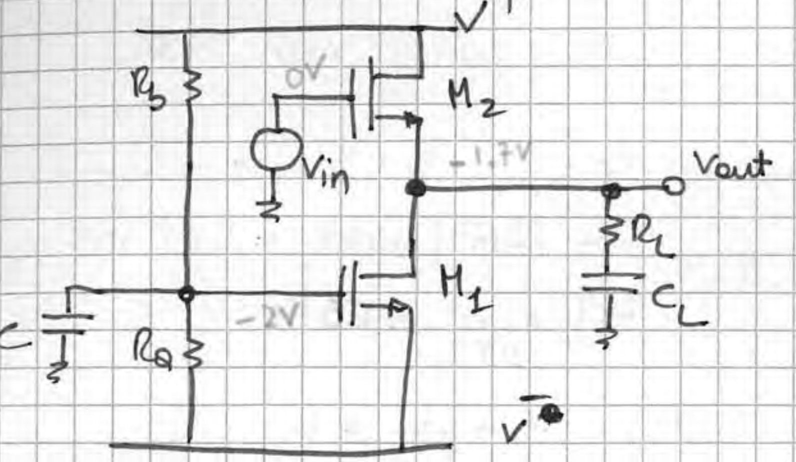
$$V^*\left(\frac{1}{3}T\right) = +1V - (1.79V)\exp\left(-\frac{100\mu s}{35\mu s}\right) =$$

$$= +1V - 1.79V\exp(-2.9) = +0.9V$$

$\Downarrow$

sul fronte successivo $V_{out}(T^+) = V_{out}(0^+) = +0.9V - 0.71V = 0.19V$

ESERCIZIO 2



$V^- = -3.7V$
$V^+ = 1.5V$
$k_m = 0.5\,mA/V^2$
$V_{Tm} = 0.7V$
$R_a = 1.7\,M\Omega$
$R_b = 3.5\,M\Omega$
$R_L = 10\,k\Omega$
$C = 4.7\,\mu F$
$C_L = 22\,mF$

a) Polarizzazione

<u>Hp</u>. MOS saturi

C circuiti aperti

V_{in} spento

$\rightarrow V_{G_2} = 0V$

$$V_{GS_1} = \frac{R_a}{R_a + R_b}\left(V^+ - V^-\right) = \frac{1.7}{\underbrace{1.7+3.5}_{5.2}}\left(\overbrace{1.5V + 3.7V}^{5.2V}\right) = +1.7V$$

$$I_{D_1} = k_m\left(V_{GS_1} - V_{Tm}\right)^2 =$$
$$= 0.5\,mA/V^2\left(1.7V - 0.7V\right)^2 = 0.5\,mA$$

Poichè C_L è un circuito aperto in R_L non scorre corrente quindi $I_{D2} = I_{D1}$

$$\rightarrow V_{out} = V_{G2} - V_{GS_2} = 0V - \sqrt{\frac{I_2}{k_m}} - V_{Tm} = -1.7V$$

Verifico saturazione:

$$V_{GD_1} = V^- + V_{GS_1} - V_{out} = -3.7V + 1.7V + 1.7V = -0.3V < V_{Tm} \text{ ok}$$
$$V_{GD_2} = -\left(V^+ - V_{G2}\right) = -\left(1.5V - 0V\right) = -1.5V < V_{Tm} \text{ ok}$$

$$g_{m_2} = 2k_m\left(V_{GS_2} - V_{Tm}\right) = 2 \times 0.5\,mA/V^2 \times \left(1.7V - 0.7V\right) = 1\,mS \Rightarrow 1/g_{m_2} = 1\,k\Omega$$

b) V_{out}/V_{in}

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_L}{R_L + 1/g_{m_2}} = \frac{10\,k\Omega}{10\,k\Omega + 1\,k\Omega} = +0.91$$

4/ c) singolarità (diagramma di Bode)

C non introduce né poli né zeri poiché non vede variare la tensione ai suoi capi

C_L: introduce un polo con $\tau_p = C_L (R_L + r_{o1}$ //1/gm2)=

$= 22nF (11\ k\Omega) =$ 242µs

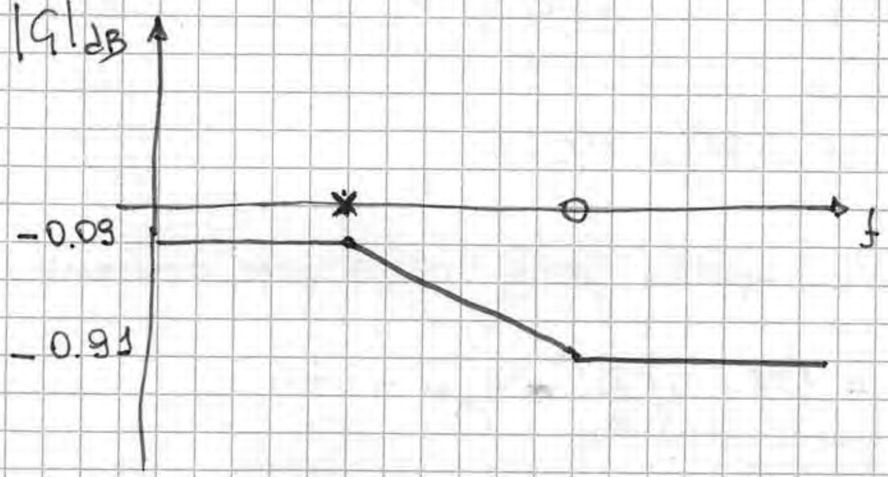
$\hookrightarrow f_p = \frac{1}{2\pi\tau_p} =$ 658 Hz

e uno zero quando $Z_{eq}(s) = R_L + \frac{1}{sC_L} = 0$

$\tau_z = C_L R_L = 22nF * 10k\Omega = 220\mu s \Rightarrow f_z = \frac{1}{2\pi\tau_z} = 723 Hz$

$$G_{HF} = \frac{\overbrace{r_{o1} \| R_L}^{9k}}{r_{o1} \| R_L + 1/g_{m2}} = \frac{9.1k}{10.1k} = +0.9 \rightarrow$$

$$G_{LF} = \frac{r_{o1}}{r_{o1} + 1/g_{m2}} = \frac{100k\Omega}{100k\Omega + 1k} = +0.99 \rightarrow$$



d) Max escursione Vout

L'escursione di Vout è limitata dall'uscita di saturazione di M_1 e dallo spegnimento di M_2.

Per quanto riguarda M_2 devo garantire almeno V_{Tn} tra gate e drain.
Quindi se Vin volesse salire fino a $V^+ \Rightarrow$ Vout al massimo può salire a $V_{in} - V_{Tn}$, quindi $V_{out}|_{MAX} = V^+ - V_{Tn} = 1.5V - 0.7V = +0.8V$

quindi $\Delta V_{out}^+ = 0.8V - (-1.7V) = +2.5V$

Per la dinamica negativa il rischio è la ~~[illegible]~~ uscita dalla saturazione di M_1:

$V_{GD_1} = V_{T_n}$

$V_{out}\big|_{MIN} = V_{G_{M1}} - V_{T_n} = -2V - 0.7V = -2.7V$

$\Downarrow \Delta V_{out}^- = -2.7V - (-1.7V) = -1V$

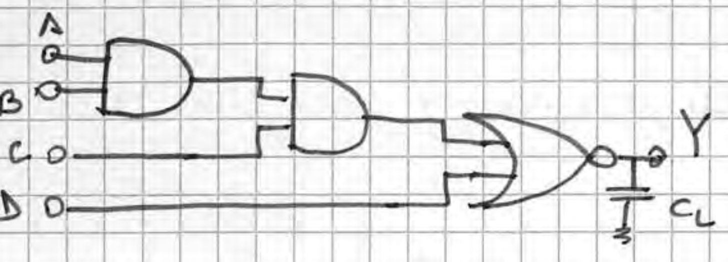
ESERCIZIO 3

$V_{DD} = 1.8V$

$|V_{Tp}| = V_{Tn} = 0.5V$

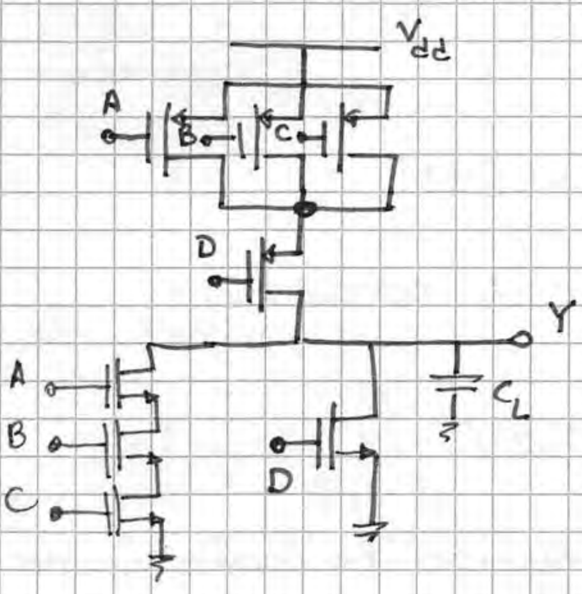
$k_n = 300\,\mu A/V^2$

$|k_p| = 700\,\mu A/V^2$



a)

$$Y = \overline{(A \cdot B) \cdot C + D} = \left[\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}\right] \cdot \bar{D}$$



giustificare il layout disegnato

b)

$$Y = \overline{A \cdot A \cdot A + A} = \overline{A + A} = \bar{A}$$

$\Downarrow$ si tratta di un semplice inverter. Se gli ingressi sono tra loro cortocircuitati e subiscono una transizione alto-basso vuol dire che la rete che si attiva è la rete di pull-up

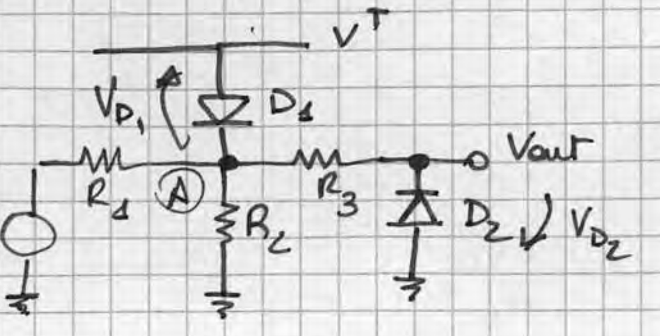
$$\Downarrow \left(\frac{W}{L}\right)_{eq,p} = \frac{1}{\left(\frac{L}{W}\right)_p + \frac{1}{3\left(\frac{W}{L}\right)_p}} = \frac{3}{4}\left(\frac{W}{L}\right)_p$$

Fino a che non sono ohmici i transistori sono saturi e ciò accade fino a che $V_{out} = -V_{Tp}$ $(V_{GD_p} = V_{Tp})$

$$t_{SAT} = \frac{Q_{V_{Tp}}}{I_{sat,peq}} = \frac{C_L |V_{Tp}|}{|k_{p_{eq}}|(V_{GS_p} - V_{Tp})^2} = \frac{C_L |V_{Tp}|}{\frac{3}{4}|k_p|(V_{GS_p} - V_{Tp})^2} =$$

$$= \frac{5pF * 0.5V}{3/4 * 0.7\,mA/V^2 (-1.8 + 0.5)^2} = \frac{10^{-14}\,C}{2.1 \cdot 10^{-3}\,A/V^2\,(1.3)^2 V^2} = 2.8\,ns$$

5/ ESERCIZIO 4



$V^+ = 5V$

$R_1 = 1k\Omega$
$R_2 = 2k\Omega$
$R_3 = 5k\Omega$

Calcolo le condizioni di accensione dei due diodi

D_1 è on se $V_{D_1} \geq 0.7V$

$$V_{D_1} = V^+ - V_A \Rightarrow 0.7V \leq V^+ - V_A$$

$$\hookrightarrow V_A \leq V^+ - 0.7V = 5 - 0.7V = 4.3V$$

D_2 è on se $V_{D_2} \geq 0.7V$

$$V_{D_2} = 0V - V_{out} \Rightarrow V_{out} \leq -0.7V$$

Per $V_{out} \geq -0.7V$ D_2 è spento. In tali condizioni:

$$V_A = V_{out}$$

$\hookrightarrow$ D_1 si accende quando $V_{out} \leq 4.3V$

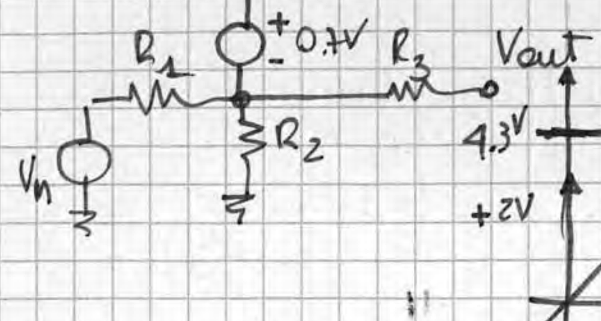
Con D_1 off e D_2 off calcolo la relazione tra V_{out} e V_{in} per valutare la V_{in} per cui si accende D_1

D_1, D_2 off: $V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} = \frac{2}{3} V_{in}$

$\hookrightarrow$ $V_{in} = \frac{3}{2} V_{out} \Rightarrow$ accensione D_1 per $V_{in} \leq 4.3 * \frac{3}{2} V = 6.45V$

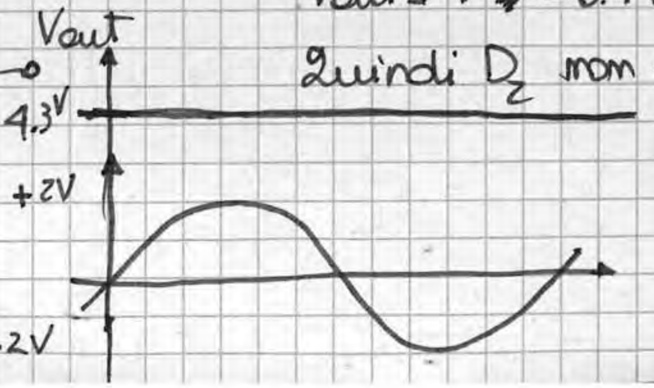
Quindi con la sinusoide in ingresso D_1 è sempre acceso.

Con D_1 acceso calcolo la condizione di accensione di D_2.



$V_{out} = V^+ - 0.7V = 4.3V$ fisso

Quindi D_2 non si accende mai

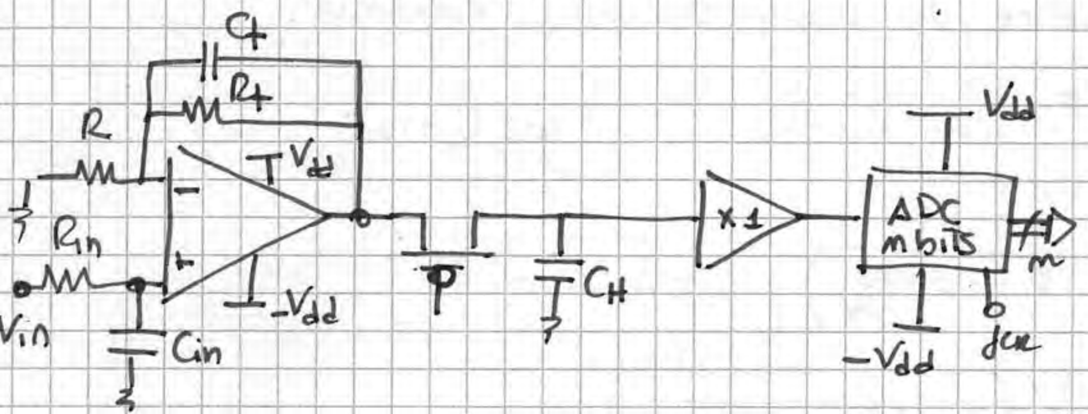


In queste condizioni

$V_{reverse}\big|_{D_1}$ non ha senso poiché D_1 on sempre e quindi non va in background

$$V_{reverse}\big|_{D_2} = V_{out} - 0V = 4.3V < |V_{BD}| \Rightarrow \text{nessuno } D_2 \text{ va in breakdown}$$

ESERCIZIO 3 - APPELLO



$n = 10$ bits
$V_{dd} = 3.5V$
$R_{in} = 5k\Omega$
$R_f = 500k\Omega$
$R = 1k\Omega$
$C_f = 3pF$
$C_{in} = 1nF$
$f_{ck} = 1MHz$
$V_{Tp} = -1.2V$
$k_p = -3mA/V^2$

a) $V_{out}/V_{in}(s)$

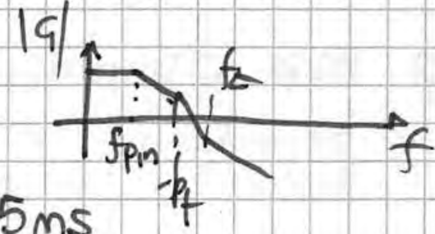
$$\frac{V_{out}}{V_{in}}(s) = \frac{\frac{1}{sC_{in}}}{R_{in} + 1/sC_{in}} \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \cdot \frac{1 + sC_f R/\!/R_f}{1 + sC_f R_f} =$$

zero C_f: $Z_{eq}(s) = \frac{R_f}{1 + sC_f R_f} + R = 0$

$$R_f + R + sC_f R_f R = 0$$

$$1 + sC_f R/\!/R_f = 0 \Leftrightarrow s = -\frac{1}{C_f R/\!/R_f}$$

$$= \frac{1}{1 + sC_{in}R_{in}}\left(1 + R_f/R\right)\frac{1 + sC_f R/\!/R_f}{1 + sC_f R_f} =$$



$\tau_{pin} = C_{in}R_{in} = 1nF * 5k\Omega = 5\mu s$

$\tau_{pf} = C_f R_f = 3pF * 500k\Omega = 1.5\mu s$

$\tau_{zf} = C_f(R/\!/R_f) = 3pF * (500k\Omega /\!/ 5k\Omega) = 15ms$

$$= \frac{101}{1 + s * 5\mu s} \quad \frac{1 + s\,15ms}{1 + s\,1.5\mu s}$$

b) Tensioni di comando.

$V_{OUT} \in [-3.5V ; +3.5V]$

Durante la fase di sample ho bisogno il pMOS acceso e in zona ohmica:

$$V_{GS} \leq V_{Tp} \qquad (V_{GD} \leq V_{Tp})$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - V_{out}$$

$$V_G - V_{out} \leq V_{Tp}$$

$$V_{G_{SAMPLE}} \leq V_{Tp} + V_{out}\Big|_{MIN} = -1.2V - 3.5V = -4.7V$$

Per garantire la resistenza $R_{ds_{on}}$ richiesta:

$$R_{ds_{on}} = \frac{1}{2k_p(V_{GS} - V_{Tp})} = \frac{1}{2k_p\left(V_G - V_{out}\big|_{MIN} - V_{Tp}\right)}$$

$$25 \geq \frac{1}{2\left(-3mA/V^2\right)\left[V_G + 3.5V + 1.2V\right]}$$

$$V_G + 4.7V \leq \frac{1}{-6\,mA/V^2 \; 25\Omega}$$

$$V_{G_{SAMPLE}} \leq -4.7V - \frac{1}{150\,mA/V \cdot \frac{\Omega}{A}} = -11.4V$$

Nella fase di Hold, il pMOS deve essere spento:

$$V_{GS} \geq V_{Tp}$$
$$(V_{GD} \geq V_{Tp})$$

$$V_{GS} = V_G - V_{out}$$

$$V_G - V_{out} \geq V_{Tp}$$

$$V_{G_{HOLD}} \geq V_{Tp} + V_{out}\Big|_{MAX} = -1.2V + 3.5V = +2.3V$$

Per garantire il margine richiesto di 3V $V_{G_{HOLD}} \geq 5.3V$

c) Valore minimo capacità di Hold

Il problema è legato alla scarica della capacità di Hold durante il tempo di Hold.

Per consentire la corretta conversione il tempo di Hold deve uguagliare almeno il tempo di conversione

$$T_{HOLD_{minimo}} = \frac{2^n}{f_{CK}} = \frac{2^{10}}{1MHz} = 1.024\ ms$$

La capacità si scarica, supponiamo linearmente poiché dovrà essere $\tau \gg T_{HOLD}$ con pendenza $\frac{\Delta V}{\tau}$

$$\frac{\Delta V}{\tau} \cdot T_{HOLD,min} \leq \frac{1}{3} LSB$$

$$1LSB = \frac{2V_{dd}}{2^{10}} = \frac{7V}{1024} = 6.8\,mV \Rightarrow \frac{1}{3}LSB = 2.27\,mV$$

$\Delta V = 3.5V$ poiché la capacità scarica a massa

$$\tau = R_{ds_{off}} C_H$$

$$C_H \geq \frac{\Delta V}{\frac{1}{3}LSB} T_{HOLD,min} \frac{1}{R_{ds_{off}}} =$$

$$= \frac{3.5V}{2.27\,mV} \cdot 1.024\,ms \cdot \frac{1}{50\,M\Omega} = 31.6\,nF$$

d) polo ad anello chiuso opamp

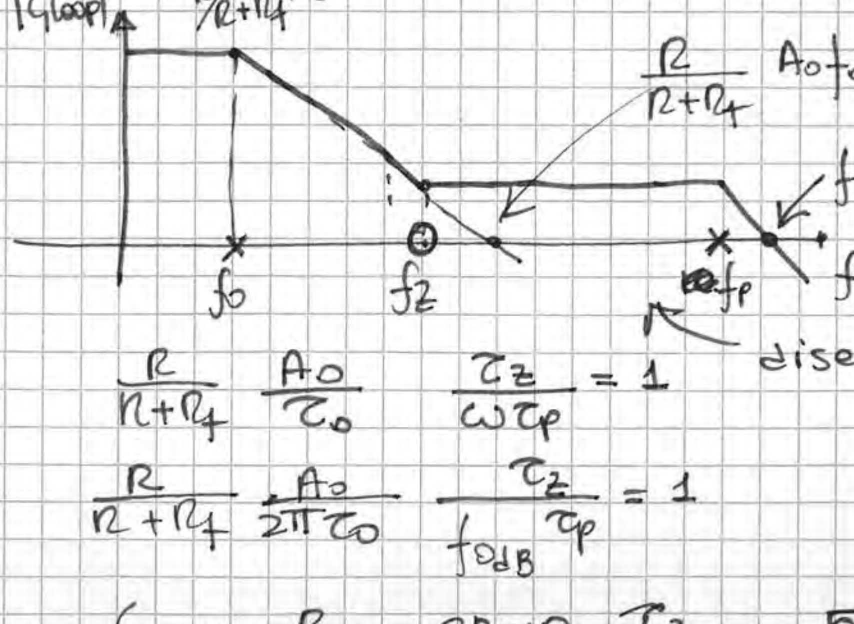
$$G_{loop}(s) = -\frac{R}{R+R_f}\frac{A_0}{1+s\tau_0}\frac{1+s\tau_z}{1+s\tau_p}$$

$$\tau_p = C_f(R_f \| R) = 15\,ns \rightarrow f_p = 10.6\,MHz$$

$$\tau_z = C_f R_f = 1.5\,\mu s \rightarrow f_z = 106\,kHz \quad \left(Z_{eq}(s) = \frac{R_f}{1+sC_fR_f} \rightarrow \infty\right)$$

$$|G_{loop}(s)| = 1$$

$$\left|\frac{R}{R+R_f}\frac{A_0}{s\tau_0}\frac{s\tau_z}{s\tau_p}\right| = 1$$



$$\frac{R}{R+R_f}A_0 f_0 = GBWP\frac{R}{R+R_f} \simeq GBWP\frac{R}{R_f} = 50\,MHz\,\frac{5}{500} = 500\,kHz$$

disegno non in scala

$$\frac{R}{R+R_f}\frac{A_0}{\tau_0}\frac{\tau_z}{\omega\tau_p} = 1$$

$$\frac{R}{R+R_f}\frac{A_0}{2\pi\tau_0}\frac{\tau_z}{f_{0dB}\tau_p} = 1$$

$$f_{0dB} = \frac{R}{R+R_f}\,GBWP\,\frac{\tau_z}{\tau_p} = \frac{5k}{505k}\cdot 50\,MHz \cdot \overbrace{\frac{1.5\,\mu s}{15\,ns}}^{100} =$$

$$= \frac{100}{101}\,50\,MHz \simeq 50\,MHz$$