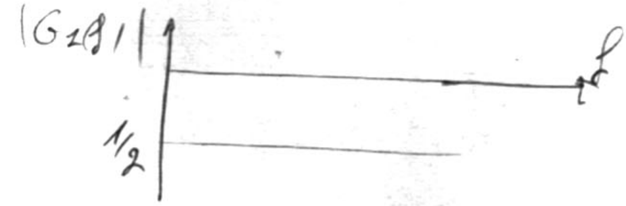
ESERCIZIO 1

Ⓐ $G_1 = \frac{V_{OUT}}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{1}{2}$

$G_2 = \frac{V_{OUT}}{V_2} = \frac{R_4}{R_3+R_4}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = 3/4 = 0{,}75$

Ⓑ * C non ha influenza su G_1

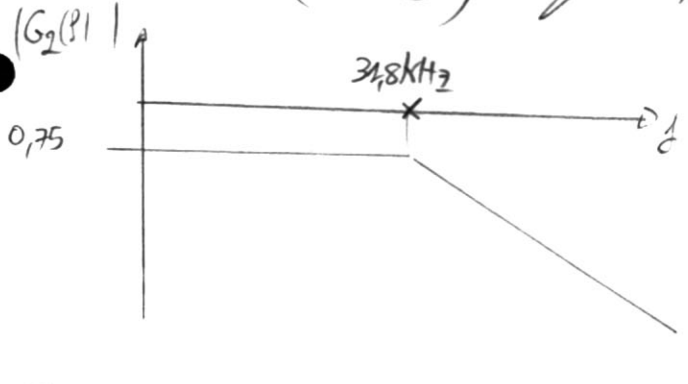
$\Rightarrow G_1(s) = -\frac{R_2}{R_1}$



* $G_2(S) = \frac{R_4 // \frac{1}{SC}}{\left(R_4 // \frac{1}{SC}\right) + R_3}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = \ldots$

$G_2(0) = \frac{R_4}{R_3+R_4}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = 0{,}75$ $\qquad G_2(\infty) = 0$

$\tau_p = C(R_4 // R_3) = 5\mu s \rightarrow f_p = \frac{1}{2\pi\tau_p} = 31{,}8\,kHz$



Ⓒ PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI.

$V_{OUT} = G_1 V_1 + G_2 V_2$

IN QUESTO CASO SPECIFICO.

$V_1 = V_2 = V_{IN} = 1V \times \sin(2\pi f t)$

QUINDI:

$$V_{OUT} = G_1 V_{IN} + G_2 V_{IN} = (G_1 + G_2)\, V_{IN} \Rightarrow \boxed{G(f)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \boxed{G_1(f) + G_2(f)}$$

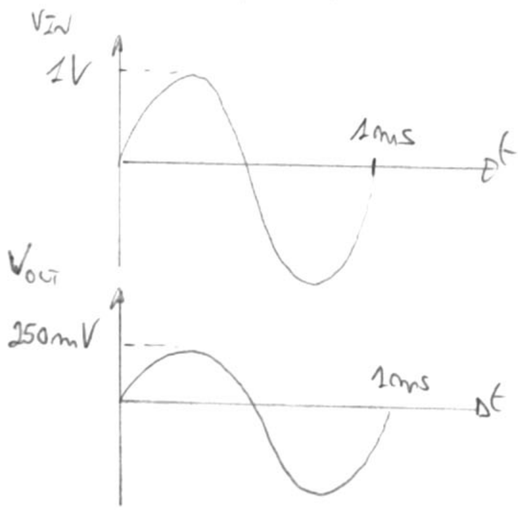
$f = 1\,kHz$

$G_1(1\,kHz) = -1/2$

$G_2(1\,kHz) = +0{,}75$ (VEDERE BODE)

$\downarrow$

$G(1\,kHz) = +0{,}25$



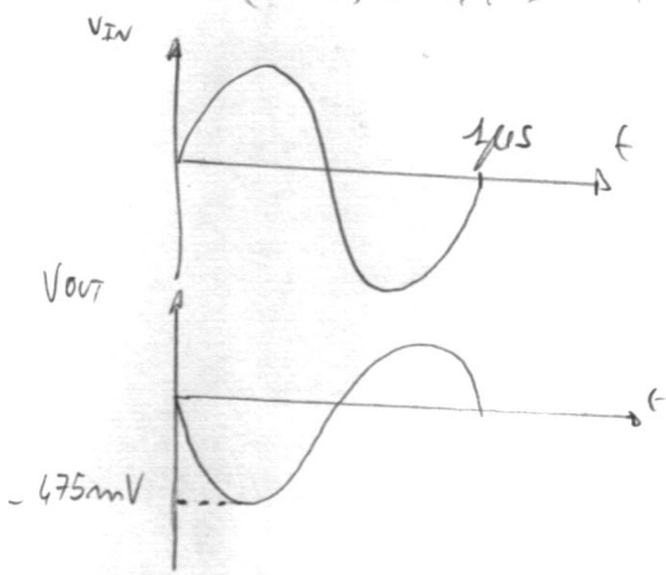
$f = 1\,MHz$

$G_1(1\,MHz) = -1/2$

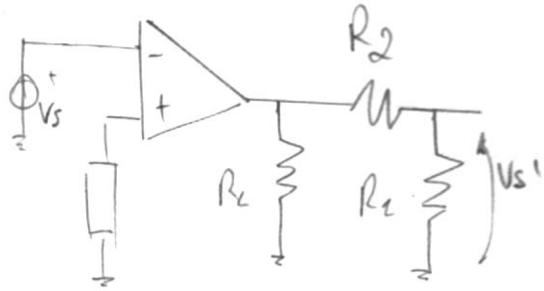
$G_2(1\,MHz) = 0{,}025$ (VEDERE BODE)

$\downarrow$

$G(1\,MHz) = -0{,}475$

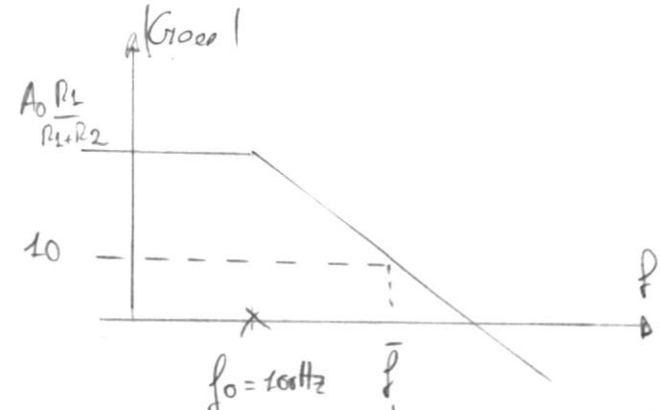


(D) BEN RETROAZIONATO $\Leftrightarrow |G_{LOOP}| \gg 1 \rightarrow$ per esempio $|G_{LOOP}| > 10$



$G_{LOOP}(s) = -A(s)\, T_p(s)$ ← TRASFERIMENTO DEL PARTITORE

$$T_p(s) = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



$$\hookrightarrow \bar{f} = \frac{A_0 \frac{R_1}{R_1+R_2}}{10} \times f_0 = 666\,kHz$$

[Il circuito è ben retroazionato per $f \in [0 ; 666\,kHz]$]

ESERCIZIO 2

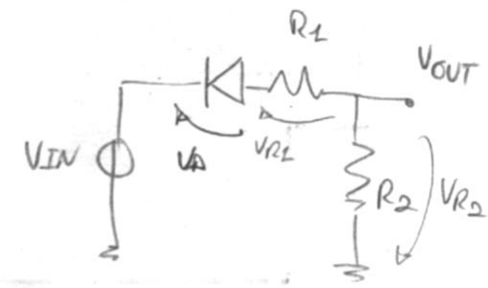
(A)

D ON se $V_{IN} < -0{,}7V$

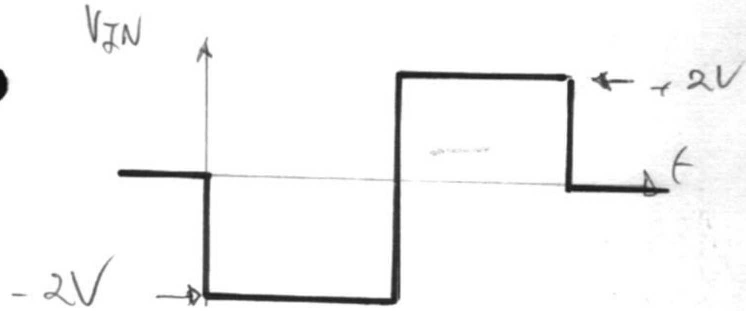
$\downarrow$

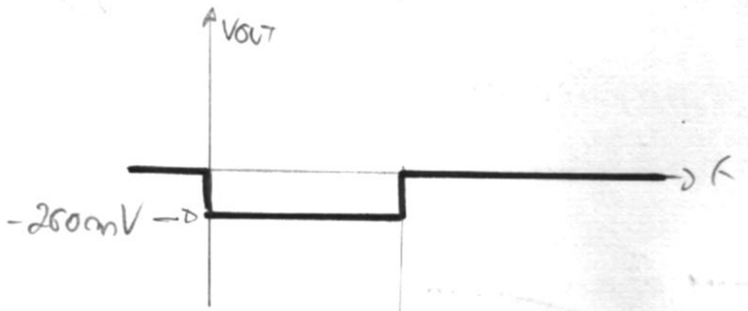
$$V_{R2} = [0 - (V_{IN} + 0{,}7V)] \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

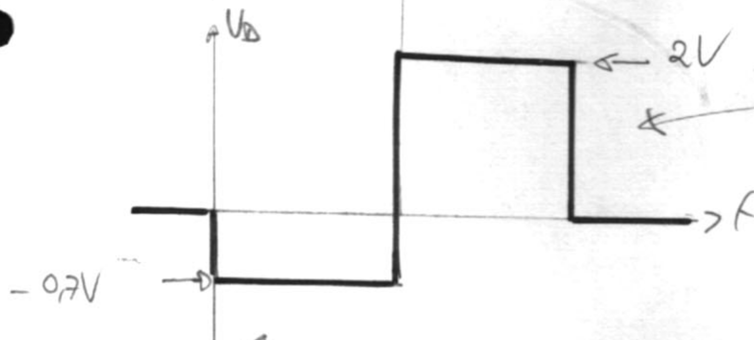
$$V_{OUT} = -V_{R2} = (V_{IN} + 0{,}7V) \frac{R_2}{R_2 + R_1} = -260m$$



D OFF se $V_{IN} > -0{,}7V \rightarrow i = 0 \rightarrow V_{OUT} = 0V$





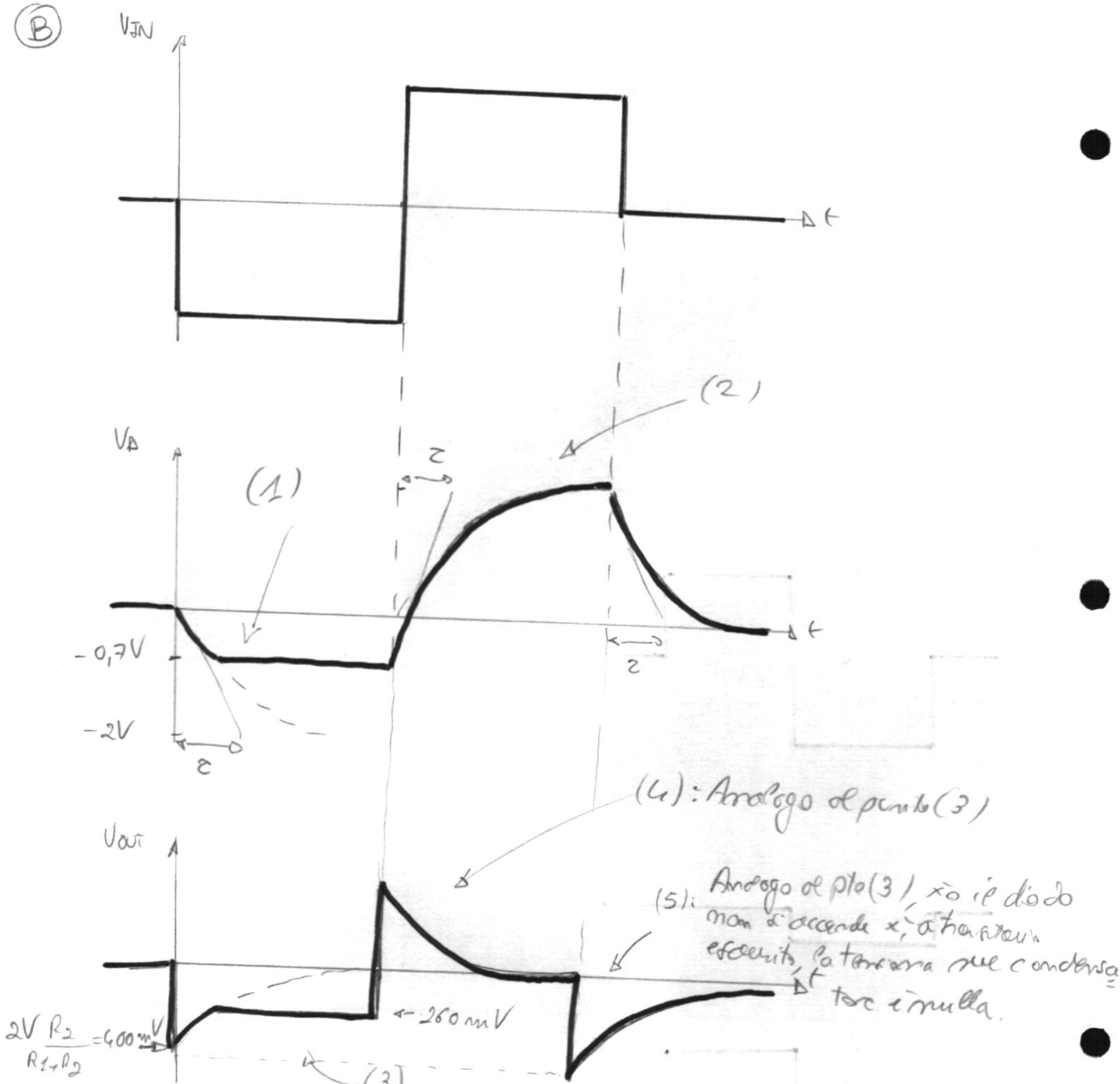


il diodo è spento → non passa corrente ⇒

$$V_D = V_{IN} - V_{R1} - V_{OUT} =$$
$$= V_{IN} - 0V - 0V = 2V$$

Il diodo è acceso → ai suoi capi ci sono 0,7V

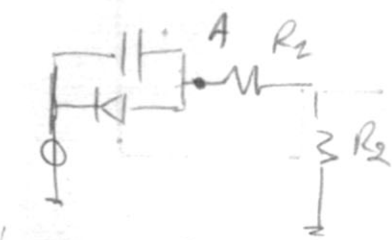
B



(1) Il condensatore è inizialmente scarico ($V_C = 0V$). La tensione ai suoi capi non varia istantaneamente → 0V ai capi del diodo → spento ⇒ il condensatore tende a caricarsi esponenzialmente fino a 2V ($\tau = C(R_1+R_2) = 1{,}25\,\mu s$). Quando arriva a 0,7V il diodo si accende e blocca la tensione ai capi di C

(2) Appena la tensione su C scende sotto gli 0,7V, il diodo si spegne → carica esponenziale fino a +2V

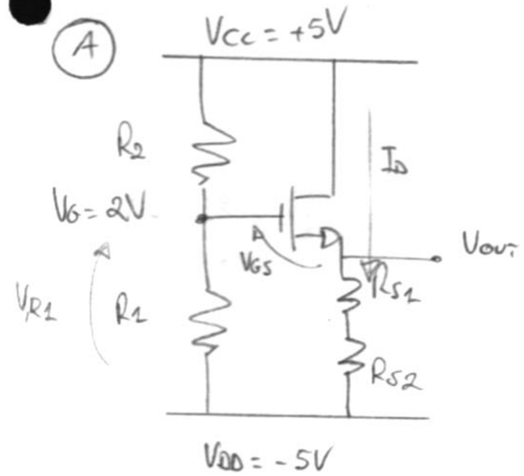
(3)



L'ingresso sale di 2V; la tensione ai capi del condensatore non varia istantaneamente → anche il nodo A sale di 2V → l'uscita sale della partizione $\frac{R_1}{R_1+R_2}$. A mano a mano che C si carica, l'uscita scende esponenzialmente fino a che il diodo si accende.

ESERCIZIO 3

(A)



SUPPONGO MOS IN SATURAZIONE:

(*) $I_D = k(V_{GS}-V_T)^2 \Leftrightarrow V_{GS} = \sqrt{\frac{I_D}{k}} + V_T = 3V$

(*) $V_{OUT} = V_{DD} + I_D(R_{S1}+R_{S2}) = -1V$

$\Downarrow$

$V_G = V_{OUT} + V_{GS} = \boxed{2V}$

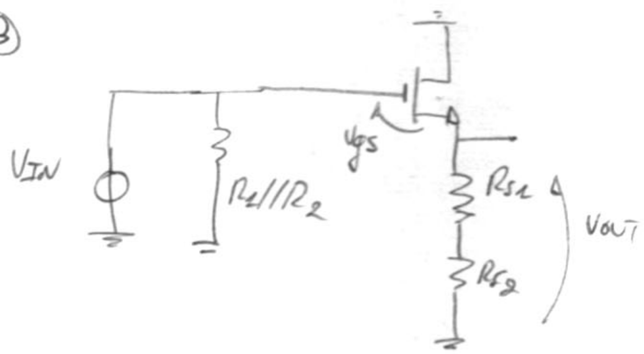
Ma allora:

$$\begin{cases} V_{R1} = V_G - V_{DD} = 7V \\ V_{R1} = (V_{CC} - V_{DD}) \dfrac{R_1}{R_1+R_2} \end{cases} \rightarrow R_1 = 70k$$

VERIFICA SATURAZIONE:

$V_D \overset{?}{\geq} V_{GS} - V_T \rightarrow 5V > 2V - 1V \rightarrow \boxed{OK}$

(B)

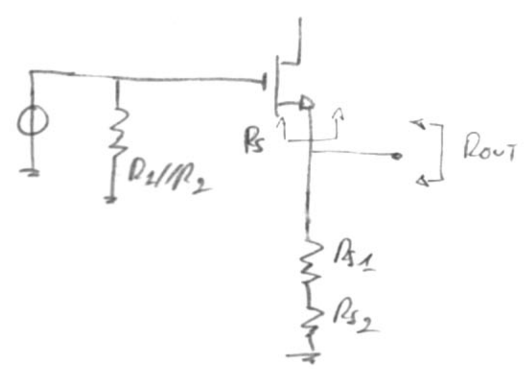


STADIO DEGENERATO di SOURCE.

$$V_{OUT} = \frac{R_{S1}+R_{S2}}{\left(R_{S1}+R_{S2}+\frac{1}{g_m}\right)} V_{IN} \Rightarrow$$

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_{S1}+R_{S2}}{R_{S1}+R_{S2}+\underbrace{1/g_m}_{=\frac{1}{2}k\Omega}} = \frac{4}{5} = 0,8$$

(C)



$R_{OUT} = R_S // (R_{S1}+R_{S2})$

R_S è la resistenza vista dal source del MOS $\rightarrow 1/g_m$

Quindi

$$R_{OUT} = 1/g_m \,//\, (R_{S1} + R_{S2}) = 400\,\Omega$$

D) METODO I: CALCOLI

$$G(s) = \frac{R_{S1} + R_{S2} // \frac{1}{sC}}{R_{S1} + R_{S2} // \frac{1}{sC} + \frac{1}{g_m}} = \dots =$$

METODO II: SINTETICO

BASSA FREQUENZA: $G(0) = \dfrac{R_{S1} + R_{S2}}{R_{S1} + R_{S2} + 1/g_m} = \dfrac{4}{5} = 0,8$ (C APERTO)

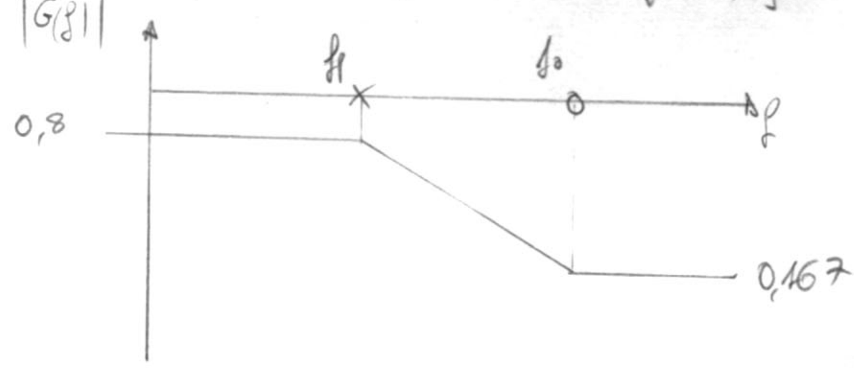
ALTA FREQUENZA: $G(\infty) = \dfrac{R_{S1}}{R_{S1} + 1/g_m} = \dfrac{1}{6} = 0,167$ (C CORTO)

POLO:

da qua vedo R_{S1} in serie ad $1/g_m$

→

$$\tau = C\left[R_{S2} // \left(R_{S1} + \frac{1}{g_m}\right)\right] = 45,6\,\mu s \rightarrow f_p = \frac{1}{2\pi\tau_p} = 3,49\,kHz$$



La freq dello zero può essere calcolata con la regola del prodotto guadagno banda costante.

$$f_0 = f_p \frac{G(0)}{G(\infty)} = 16,72\,kHz$$

ESERCIZIO 4

(A)

$$\begin{cases} A=1 \\ B=1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} C=1 & (5V) \\ D=1 & (5V) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \text{PMOS OFF} \\ \text{NMOS ON} \end{cases} \rightarrow V_{OUT}=0V$$

$$\begin{cases} A=0 \\ B=1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} C=0 & (0V) \\ D=0 & (0V) \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \text{PMOS ON} \\ \text{NMOS OFF} \end{cases} \rightarrow V_{OUT}=5V$$

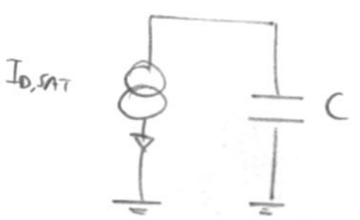
(B) SITUAZIONE INIZIALE: $B=1$, $A=0$ → $V_{OUT}(0)=5V$

DOPO LA COMMUTAZIONE: $B=1$, $A=1$ → PMOS spento

NMOS ON → SCARICA IL CONDENSATORE FINO A $V_{OUT}=0V$

FASE 1

NMOS IN SATURAZ → SORGENTE di CORRENTE

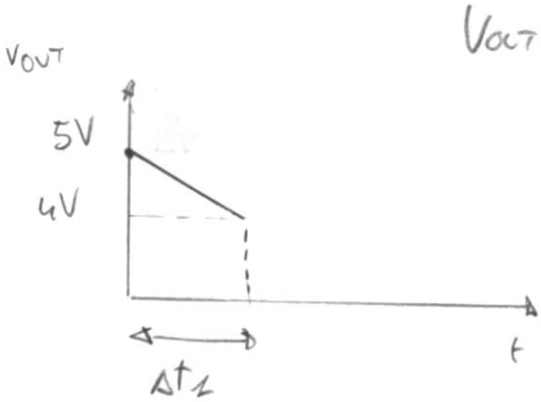


$$I_{D,SAT} = k(V_{GS}-V_T)^2 = 1,6\,mA$$

$$V_{OUT}(t) = V_{OUT}(0) - \frac{I_{D,SAT}}{C}\,t$$

→ Scarica a corrente costante → la tensione sul condensatore scende linearmente → valida fino a che il MOS è in saturazione →

$$V_{OUT} = V_{GS}-V_T = 5V - 1V = 4V$$

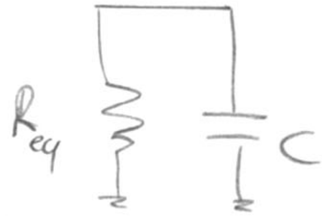


$$\Delta t_1 = \frac{\Delta V}{\left(\frac{I_{D,SAT}}{C}\right)} = \frac{1V \times 2pF}{1,6mA} = 1,2\,ms$$

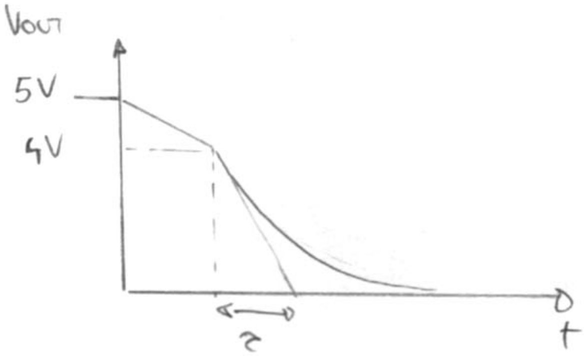
FASE 2

NMOS in zona OHMICA → APPROSSIMABILE COME RESISTENZA

$$R_{eq} = 2\,\frac{1}{g_m} = \frac{(V_{CC}-V_T)}{I_{D,SAT}} = 2,5\,k\Omega$$



$\tau = R_{eq} C = 5\,ns$



Volendo, x esempio, calcolare il tempo di commutazione 0-90%:

$$V(t) = V(t_0)\, e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} \Leftrightarrow$$

$$\Delta t_2 = (t-t_0) = -\tau \ln\left[\frac{V(t)}{V(t_0)}\right] =$$

$$= -5ns \times \ln\left(\frac{0,5V}{4V}\right) = 10,4\,ns$$

Quindi il tempo di commutazione 0-90% è pari a $\Delta t_1 + \Delta t_2 = 11,6\,ns$

C

$\begin{cases} A = 0 \\ B = 1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} C = 0 \\ D = 0 \end{cases}$

$\begin{cases} A = 0 \\ B = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} C = 0 \\ D = 0 \end{cases}$

$\rightarrow$ Non succede niente, Vout resta costante a 5V

D

$\begin{cases} A = 1 \\ B = 1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} C = 1 \\ D = 1 \end{cases} \rightarrow V_{OUT} = 0V$

$\begin{cases} A = 1 \\ B = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} C = 0 \\ D = 0 \end{cases} \rightarrow V_{OUT}$ sale a 5V