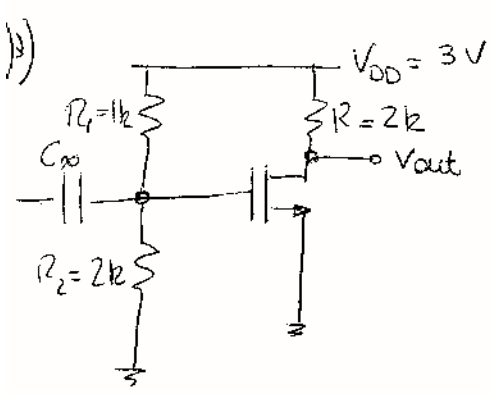


ESERCIZIO 1



$V_T = 1.2V$
 $\mu_n C_{ox} = 90 \mu A/V^2$
 $\frac{W}{L} = 20$

Polarizzazione

$V_G = V_{DD} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3V \cdot \frac{2k}{2k + 1k} = 2V$

\Downarrow
 $V_{GS} = 2V \Rightarrow I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)^2 = \frac{1}{2} 90 \mu A/V^2 \cdot 20 (2V - 1.2V)^2 = 576 \mu A$

\Downarrow
 $V_{out} = V_D = V_{DD} - I_D \cdot R = 3V - 576 \mu A \cdot 2k = +1.848$

\Downarrow
 $V_{GD} = +152 mV < V_T \Rightarrow$ MOS saturo

$g_m = 2k(V_{GS} - V_T) = \frac{1}{2} 90 \mu A/V^2 \frac{W}{L} (2V - 1.2V) = 1.44 mS$

Guadagno di piccolo segnale

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-i_D R}{V_{in}} = - \frac{g_m v_{gs} R}{V_{in}} = - \frac{g_m V_{in} R}{V_{in}} = - 1.44 mS \cdot 2k = \boxed{-2.88}$$

b) Per avere $|G| = 5 \Rightarrow R = \frac{|G|}{g_m} = \frac{5}{1.44 mS} = 3.47k$

\Downarrow
 $V_D = V_{DD} - I_D R = 3V - 576 \mu A \cdot 3.47k = 1V$

\Downarrow
 $V_{GD} = 2V - 1V = 1V < V_T \Rightarrow$ MOS saturo

↳ con $R = 3.47k$ si può portare il guadagno pari a -5

c) Per avere $|G| = 7 \Rightarrow R = \frac{|G|}{g_m} = \frac{7}{1.44 mS} = 4.86k$

$$\Downarrow V_D = V_{DD} - I_D \cdot R = 3V - 576 \mu A \cdot 4.86 k = +200 mV$$

$$\Downarrow V_{GD} = 2V - 200 mV = +1.8V > V_T \Rightarrow \text{MOS ohmico.}$$

Non è possibile aumentare il guadagno a 7, variando R poiché il valore di R richiesto porterebbe il MOSFET fuori dalla zona di saturazione.

$$I_{D_{old}} = I_{D_{new}}$$

Per avere $G_{new} = 2 G_{old}$ mantenendo R costante occorre raddoppiare la g_m :

$$g_{m_{new}} = 2 g_{m_{old}}$$

\Downarrow

$$I_{D_{old}} = I_{D_{new}}$$

$$g_{m_{new}} = 2 g_{m_{old}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_o (V_{GS_o} - V_T)^2 = k_m (V_{GS_n} - V_T)^2 \\ 2 k_m (V_{GS_m} - V_T) = 2 k_o (V_{GS_o} - V_T) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{old} x_{old}^2 = k_{new} x_{new}^2 \\ k_{new} x_{new} = 2 k_{old} x_{old} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \frac{k_{new} x_{new} x_{old}}{2} = k_{new} x_{new}^2$$

$$x_{old} = 2 x_{new}$$

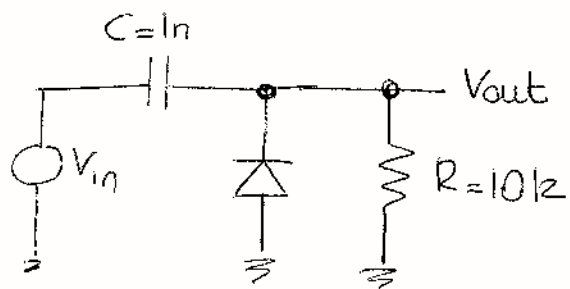
$$k_{old} 4 x_{new}^2 = k_{new} x_{new}^2$$

$$\Downarrow \frac{1}{2} \mu_n \epsilon_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_{new} = 4 \frac{1}{2} \mu_n \epsilon_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_{old} \Rightarrow \left(\frac{W}{L} \right)_{new} = 4 \cdot 20 = 80$$

$$(V_{GS_o} - V_T) = 2 (V_{GS_m} - V_T) \Rightarrow V_{GS_m} = \frac{V_{GS_o} - V_T}{2} + V_T = \frac{2V + 1.2V}{2} = 1.6V$$

Verifico $I_D = \text{costante}$: $I_D = \frac{1}{2} 90 \mu A / V^2 \cdot 80 (1.6 - 1.2)^2 V^2 = 576 \mu A$

Verifico g_m : $g_{m_{new}} = 2 k (V_{GS} - V_T) = 2 \frac{1}{2} 90 \mu A / V^2 \cdot 80 (1.6 - 1.2) V = 2.88 \text{ mA/V}$



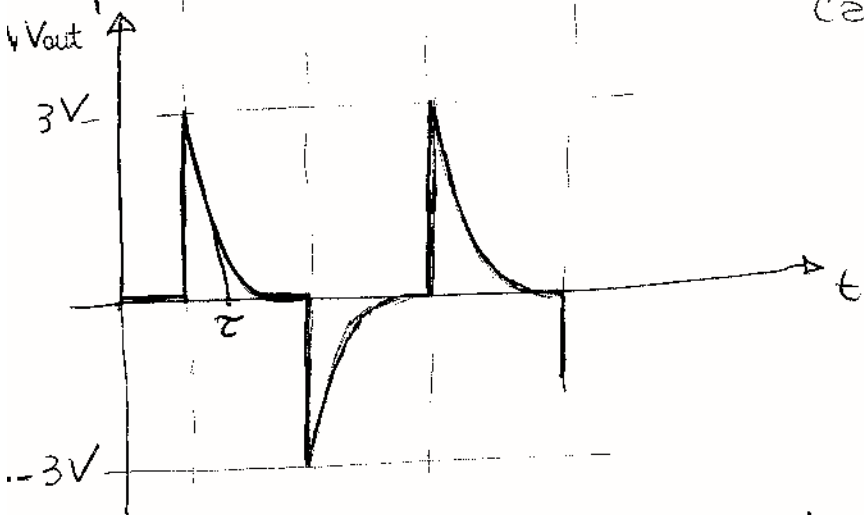
In assenza del diodo si tratta di un circuito passa-alto.

Calcoliamo la τ

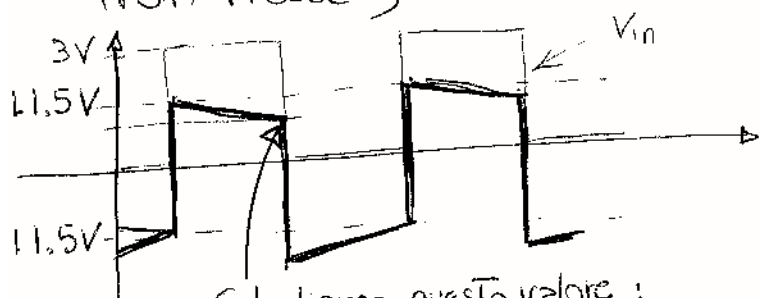
$$\tau = R \times C = 1m \times 10k = 10\mu s$$

$$T = 100\mu s \gg \tau$$

Sul fronte il condensatore non può variare istantaneamente la tensione ai suoi capi \Rightarrow il fronte è trasferito in uscita, poi il condensatore si carica e quindi la tensione in uscita scende esponenzialmente a zero; poiché $\frac{T}{\tau} \gg 1$, il condensatore riesce a caricarsi completamente.



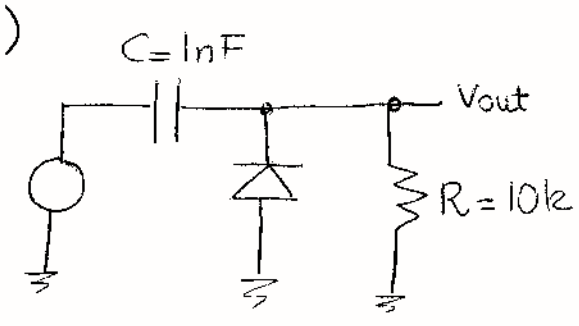
b) Quando il periodo scende a $T = 1\mu s (\ll \tau)$, il condensatore non riesce a caricarsi o scaricarsi completamente. Il condensatore non lascia passare la componente continua.



l'uscita è un'onda quadra (con i livelli in continua non esattamente costante) traslata verso il basso del valor medio.

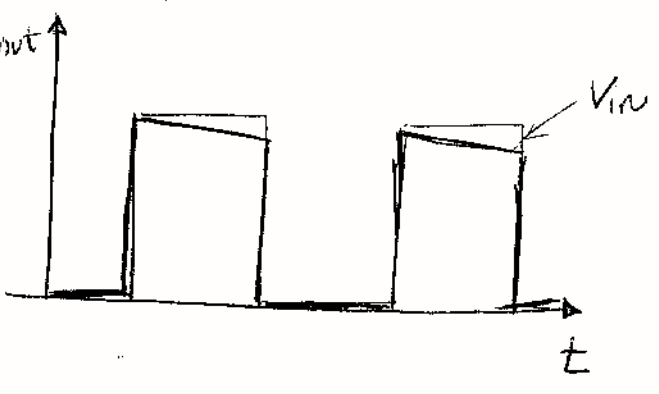
Calcoliamo questo valore:

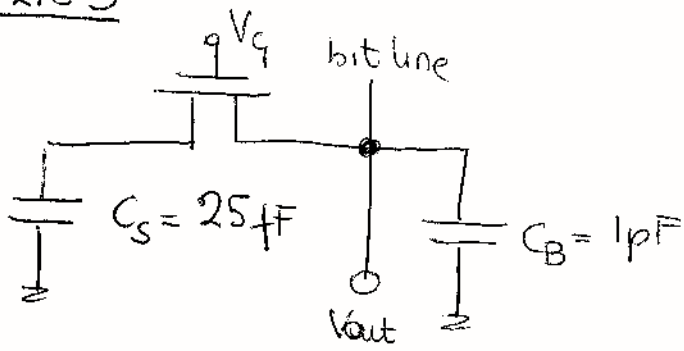
$$1.5V \left[\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] = 1.5V \left[\exp\left(-\frac{0.5\mu s}{10\mu s}\right) \right] = 1.427V$$



Sulla parte positiva del segnale di uscita, il diodo è aperto e, quindi, non influisce sulla forma del segnale di uscita.

Sulla semi-onda negativa, il diodo si oppone limitando l'uscita, per non avere escursioni negative.





Valore 0 memorizzato

@ $t = 0^-$: C_s scarica

$$C_B \text{ caricata a } \mu + \frac{V_{DD}}{2} \Rightarrow Q_B = C_B \times \frac{V_{DD}}{2}$$

Valore finale:

$$Q_{TOT} = Q_B ; \quad C_{TOT} = C_B + C_s$$

$$\Downarrow$$

$$V_{out} = \frac{Q_{TOT}}{C_{TOT}} = \frac{Q_B}{C_B + C_s} = \frac{C_B}{C_B + C_s} \times \frac{V_{DD}}{2} = \frac{1 \text{ pF}}{1 \text{ pF} + 25 \text{ fF}} \times \frac{3 \text{ V}}{2} =$$

$$= 1.463 \text{ V}$$

Valore 1 memorizzato

@ $t = 0^-$ C_s caricata a $V_{DD} \Rightarrow Q_s = C_s \times V_{DD}$

$$C_B \text{ caricata a } \frac{V_{DD}}{2} \Rightarrow Q_B = C_B \times \frac{V_{DD}}{2}$$

Valore finale:

$$Q_{TOT} = Q_s + Q_B ; \quad C_{TOT} = C_B + C_s$$

$$\Downarrow$$

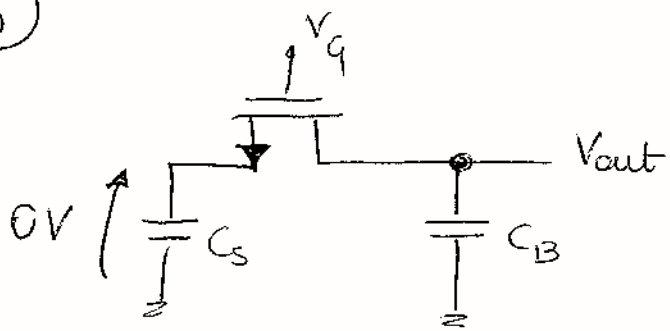
$$V_{out} = \frac{Q_{TOT}}{C_{TOT}} = \frac{Q_s + Q_B}{C_B + C_s} = \frac{C_s V_{DD} + C_B \frac{V_{DD}}{2}}{C_B + C_s} = V_{DD} \frac{C_s + C_B/2}{C_s + C_B} =$$

$$= 3 \text{ V} \times \frac{25 \text{ fF} + 0.5 \text{ pF}}{1 \text{ pF} + 25 \text{ fF}} = 1.537 \text{ V}$$



ΔV tra i due casi : 74 mV

(b)



Se nella cella è memorizzato uno 0 e la bit line è pre-caricata a $\frac{V_{DD}}{2}$, l'interruttore nMOS ha il source come indicato in figura.

Quando l'nMOS è acceso $V_g = 3V \Rightarrow$ inizialmente il MOS a $t=0^+$ ha $V_{gs} = 3V$ e $V_{gd} = 1.5V \Rightarrow$ il MOS è in zona ohmica. Poiché anche con la redistribuzione della carica la tensione al source (o al drain) non è mai tale da spegnere il MOS, non cambierà nulla nel valore finale rispetto al caso precedente

$$\Downarrow V_{out} = \frac{C_B}{C_B + C_S} \frac{V_{DD}}{2} = 1.463V.$$

a) $P_{dinamica} = C V_{DD}^2 f$

$P_{old} = 10W$ $f_{old} = 650MHz$

$P_{new} = C V_{DD}^2 f_{new}$ $f_{new} = 260MHz$

↓
 $C V_{DD}^2 = \frac{P_{diss\ old}}{f_{old}}$

↓
 $P_{new} = C V_{DD}^2 f_{new} = \frac{P_{diss\ old}}{f_{old}} * f_{new} = \frac{10W}{650MHz} * 260MHz = 4W$

b) $P_{diss} = C V_{DD}^2 f + P_{stat}$

$C V_{DD}^2 f_{old} + P_{stat} = 10W \Rightarrow P_{stat} = 10W - C V_{DD}^2 f_{old}$

$C V_{DD}^2 f_{new} + P_{stat} = 5W$ $C V_{DD}^2 f_{new} + 10W - C V_{DD}^2 f_{old} = 5W$

$C V_{DD}^2 (f_{new} - f_{old}) = 5W - 10W$

$C V_{DD}^2 = \frac{5W}{650MHz - 260MHz} = 1.28 \cdot 10^{-8} J$

↓
 $P_{stat} = 10W - C V_{DD}^2 * f_{old} = 10W - 1.28 \cdot 10^{-8} J * 650MHz = 1.68W$