

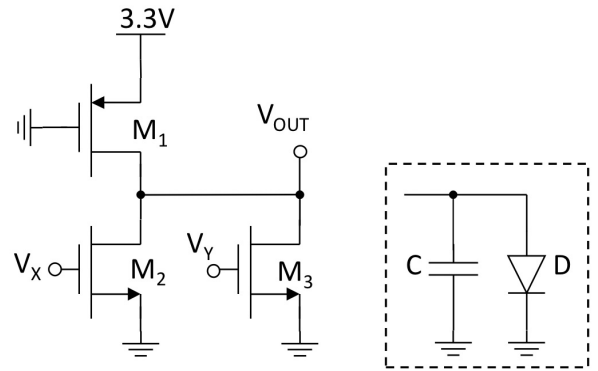
1)

Esercizio C

Si consideri il circuito digitale di figura:

$$k_p = 50 \mu\text{A}/\text{V}^2, k_n = 1 \text{mA}/\text{V}^2, V_{Tp} = -1.2\text{V}, V_{Tn} = 0.7\text{V}, C = 10\text{pF}$$

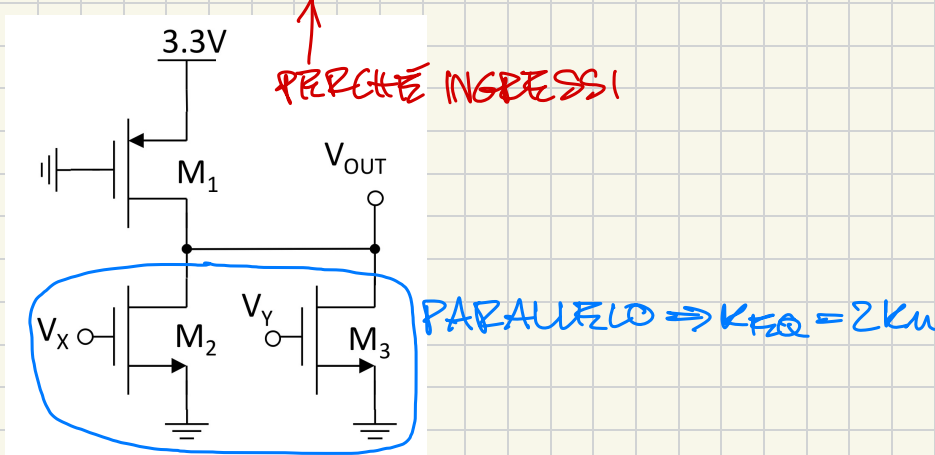
- 1) Calcolare la soglia di commutazione del circuito considerando $V_X = V_Y$ e senza connettere il diodo e la capacità.
- 2) Si connetta al nodo di uscita il condensatore C e il diodo D. Tracciare su un grafico quotato l'andamento della tensione V_{OUT} a seguito della commutazione $V_X = V_Y = 3.3\text{V} \rightarrow V_X = V_Y = 0\text{V}$.
- 3) Stimare la potenza dissipata dal circuito quando $V_X = 0\text{V}$ e V_Y è un'onda quadra $0\text{V} - 3.3\text{V}$ con frequenza 100kHz e duty-cycle del 50% sia nel caso di condensatore e diodo non connessi sia nel caso di C e D collegati all'uscita.



1)

SOGLIA DI SCATTO:

$$V_{TH} = V_{out} = V_X = V_Y$$



M_1 È IN SATURAZIONE E SUPPONIAMO ANCHE IL MOS EQ. SOTTO

UGUAGLIO CORRENTI

$$|K_p| [3.3\text{V} - |V_{Tp}|]^2 = K_{eff} (V_{TH} - V_{Tn})^2$$

$$V_{TH} = V_{Tn} \sqrt{\frac{K_p}{K_{eff}}} = 1.032\text{V} \quad \underline{\text{CHE CI CONFERMA CHE I MOS SONO IN SATURAZIONE!}}$$

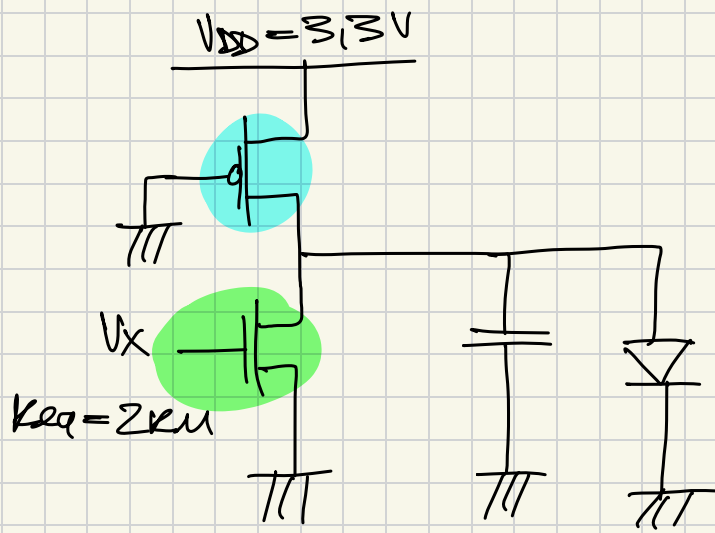
2)

$$V_X = V_Y = 3.3\text{V}$$



$$V_X = V_Y = 0\text{V}$$

MI ASPETTO UNA COMMUTAZIONE, ANALIZZANDO IL CIRCUITO



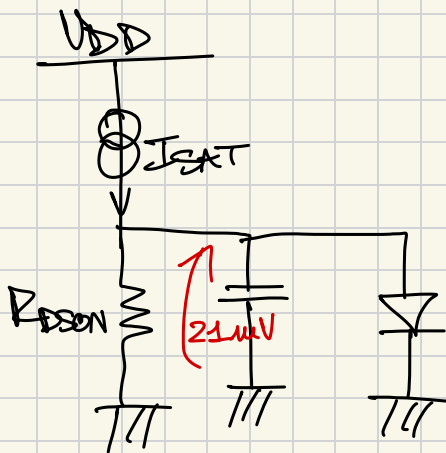
STIAMO GUARDANDO ALLA COND. INIZIALE STATICA
 $\Rightarrow$ CONDENS. = C.A.

SUPPONIAMO IL MOS EQ. IN ZONA OHMICA:

SOSTITUISCO CON $R_{DS(on)} = \frac{1}{2k_n(V_{GS} - V_T)} = 96 \Omega$

$\uparrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 200μ $3.3V$ $0.7V$

STO QUINDI SUPPONENDO L'USCITA "BASSA" $\Rightarrow$ IL PRIMO MOS ME LO ASPETTO SATURO



$$I_{SAT} = |k_p|(V_{GS} - V_{TP})^2 = 0.22 \mu A$$

$$\Rightarrow V_{out} = I_{SAT} R_{DS(on)} = 21 \mu V$$

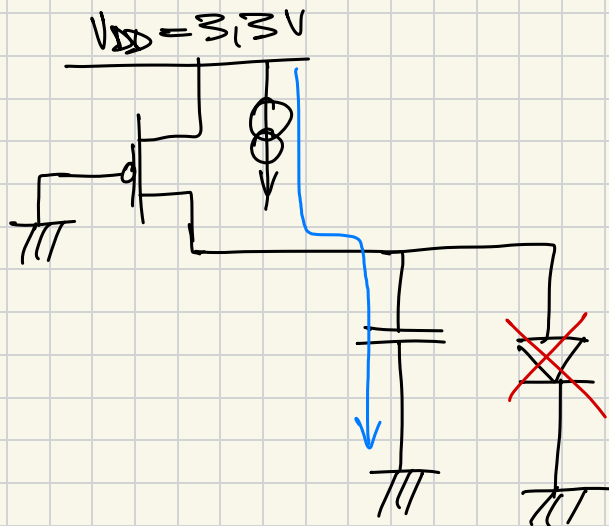
BASSO $\Rightarrow$ LA V_{DS} DEL MOS SOTTO È SICURAMENTE $< V_{GS} - V_T \Rightarrow$ ERA OHMICO

INOLTRE, AVEVO IPOTIZZATO D SPENTO, MA $V = 21 \mu V$
 $< 0.7V \Rightarrow$ ERA CORRETTA

INTUIZIONE ADDIZIONALE: LA k_p È $\ll k_n$

$\Rightarrow$ MI ASPETTO SICURAMENTE
 V_{out} BASSA (MA VA COMUNQUE
 MOSTRATO)

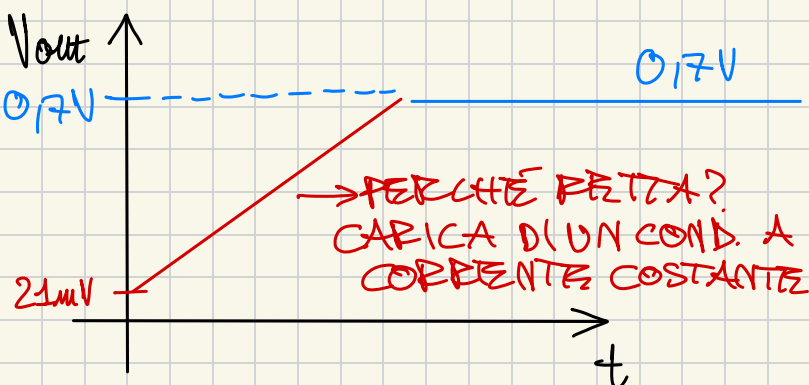
0.2A, $V_x = V_y = 0V$



ALL'INIZIO IL MOS P
RIMANE IN ZONA SATURA

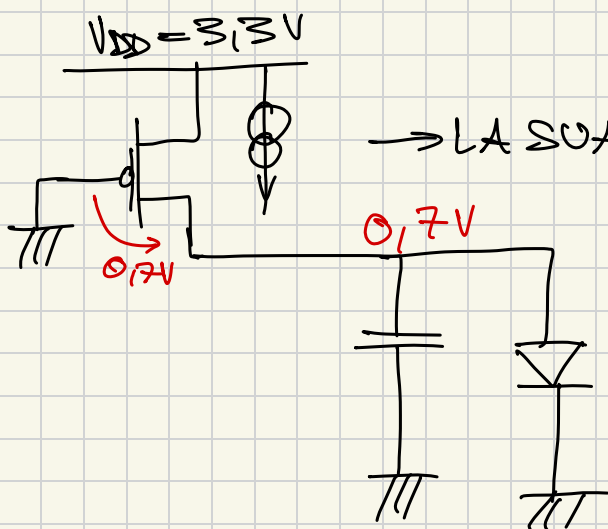
⇒ LA I_{SAT} CARICA IL
CONDENSATORE

INIZIALMENTE QUINDI ANCHE
DIODO SPENTO, MA A 0.7V
SI ACCENDE



VEDIAMO A 0.7V SU V_{out}

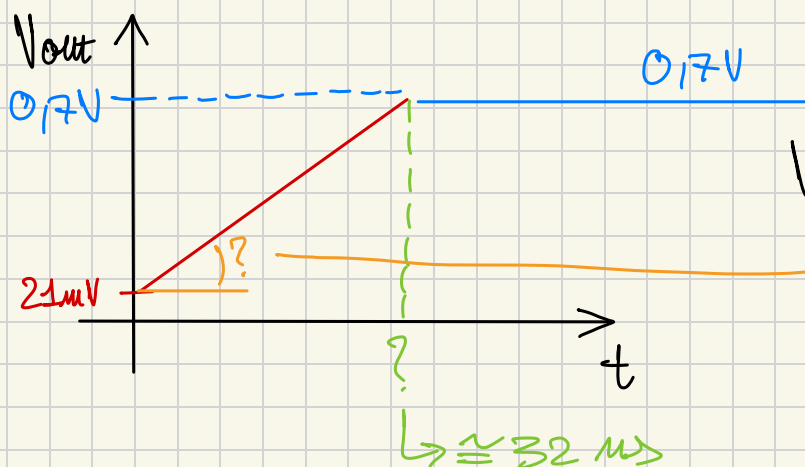
CHI MIDICE SE
UNA RETTA (MOS SATURO)
FINO A 0.7V?



→ LA SUA V_T È 1.2V

⇒ NON HO CANALE LATO
DRAIN

⇒ IL MOS RIMANE SATURO

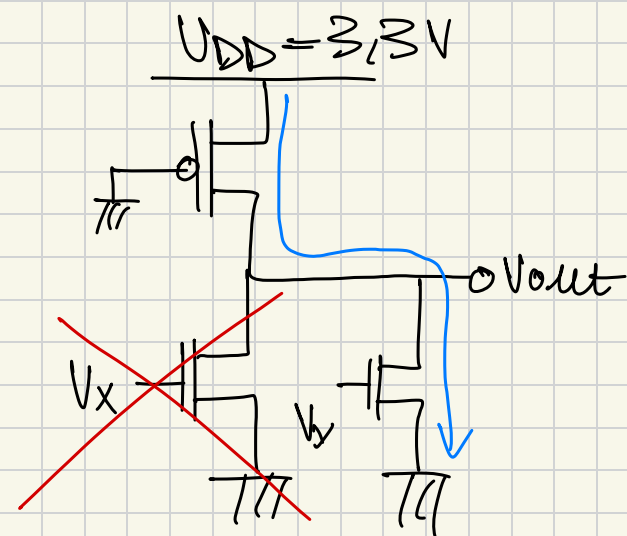


CARICA DEL CONDENSATORE:

$$V_{out} = \frac{I_{SAT}}{C} \cdot t + 21mV$$

3) $V_x = 0V$
 $V_y = \square \square \square$, $f = 100 \text{ kHz}$, $D = 50\%$

INIZIAMO A STUDIARE PRIMA SENZA C E D:



DOVREI TEORICAMENTE
 FARE TUTTI I CONTI,
 MA RAGIONIAMO

→ È SEMPRE SPENTO

MA SE V_y È ALTO, COM'È L'USCITA?

CASO $V_x = 3.3V \Rightarrow V_{out}$ SARÀ IL DOPIO DI PRIMA
 PERCHÉ SUPPONENDO M_2 ANCORA OHMICO,
 M_1 È ANCORA LO STESSO GENERATORE DI
 CORRENTE DI PRIMA, MA CARICA LA C_{DS1} , CHE
 È PIÙ ALTA $\left(\frac{1}{2K(V_{GS} - V_t)} \right)$ → K È LA METÀ DI PRIMA

$\Rightarrow V_{out} = 4.2 \text{ mV}$ (CHE CONFERMA COMUNQUE LE
 IPOTESI)

→ 0.72 mA

$\Rightarrow P = 3.3V \cdot I_{SAT} = 0.73 \text{ mW}$

MA SE V_y È BASSO, IL MOS N È SPENTO!
 NON CIRCOLA CORRENTE!

$\Rightarrow P = 0W$

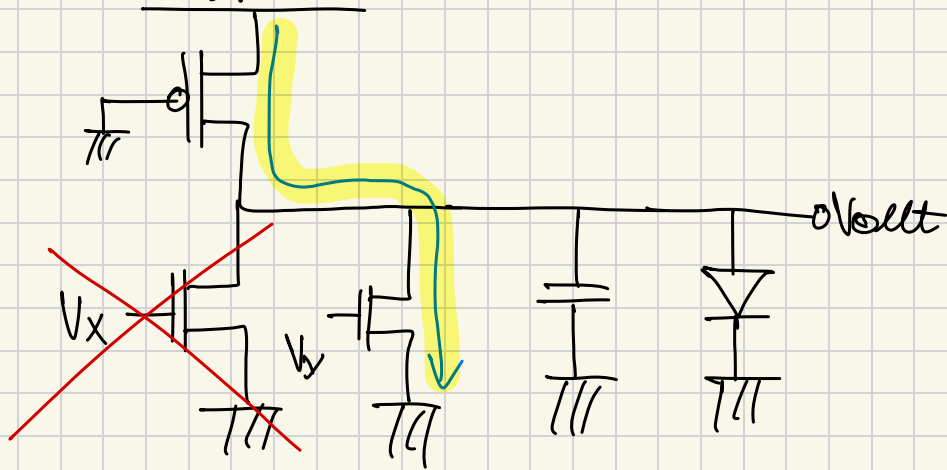
DUTY CYCLE È 50% (METÀ TEMPO ALTO)

$$\Rightarrow P = \frac{1}{2} \underbrace{(0 + 0,73 \text{ mW})}_{\text{MEZZA TEMPO}} = 0,365 \text{ mW}$$

GUARDIAMO ORA AL CASO CON C E D

$$V_y = 0 \text{ V}$$

$$U_{DD} = 3,3 \text{ V}$$



HO ANCORA POTENZA STATICA? SÌ, HO UN **PERCORSO CONDUTTIVO** CHE VA AL CONDENSATORE A CARICARLO E POI RIMANE SUL DIODO

$$\Rightarrow P_{\text{STAT}} = 3,3 \text{ V} \cdot I_{\text{BAT}} = 0,73 \text{ mW}$$

E CON $V_y = 3,3 \text{ V}$, IL MOS SI ACCENDE, SCARICA IL CONDENSATORE E D È SPENTO

$$\Rightarrow P_{\text{STAT}} = 3,3 \text{ V} \cdot I_{\text{SAT}} = 0,73 \text{ mW}$$

MANCA PERÒ LA POTENZA DINAMICA

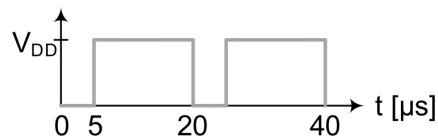
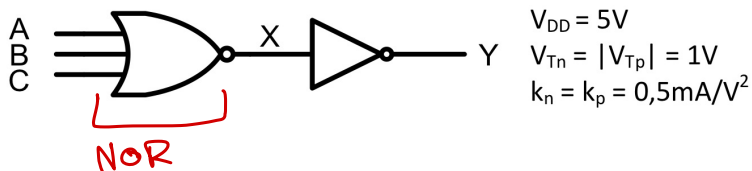
$$P = C \underbrace{\Delta V_1}_{\substack{\text{ESCURSIONE SUC} \\ (0,7 \text{ V} - 42 \text{ mV})}} \underbrace{\Delta V_2}_{\substack{\text{DADOVE PRENDO LA CARICA} \\ 3,3 \text{ V}}} f_{\text{out}} \uparrow 100 \text{ kHz}$$

DA TdE 23/01/2019:

2)

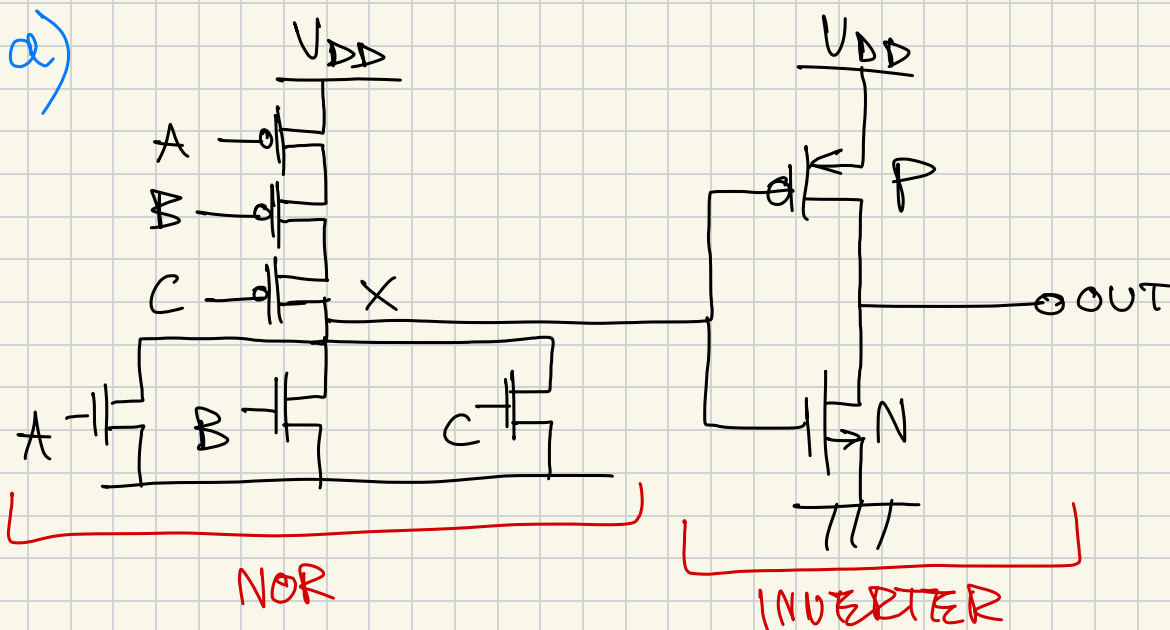
Esercizio 1.

Si consideri la seguente rete logica a tre ingressi (A,B,C) e singola uscita (Y) alimentata tra 0 e V_{DD} :



- Disegnare l'implementazione in logica CMOS della rete e ricavare la tabella della verità (sia in termini di livelli logici che di tensioni).
- Assumendo una capacità di ingresso dell'inverter pari a $C_L = 0,1pF$, calcolare il minimo e massimo tempo di propagazione (0-50%) della prima porta per entrambi i fronti della sua uscita X (basso $\rightarrow$ alto t_{pLH} e alto $\rightarrow$ basso t_{pHL}).
- Calcolare la potenza dinamica dissipata dalla rete considerando il segnale periodico di ingresso ad onda quadra (con duty cycle del 75%) mostrato in figura ed applicato a tutti gli ingressi contemporaneamente (si consideri la stessa C_L del punto b).

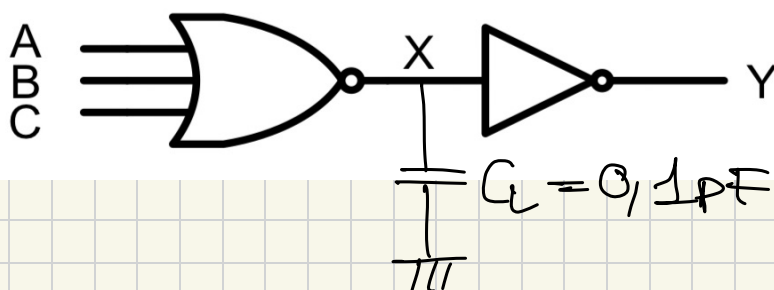
a)

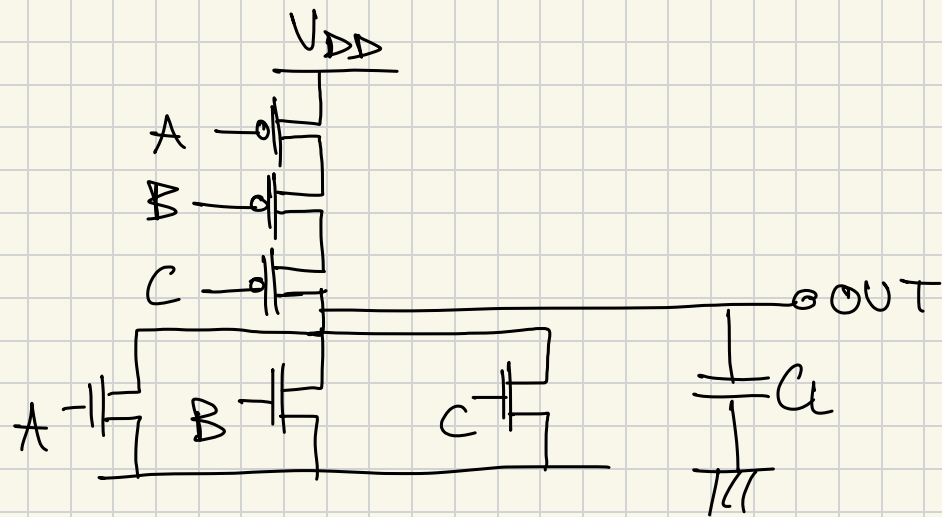


A	B	C	OUT
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

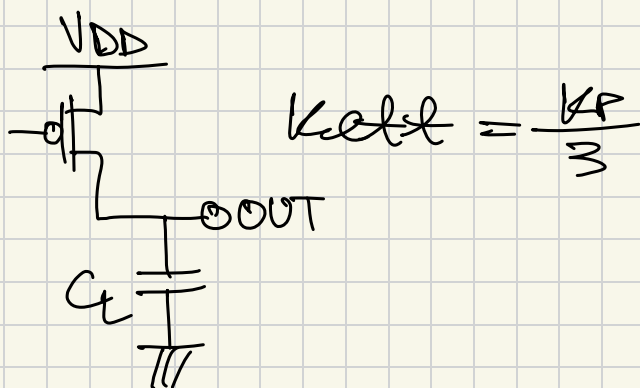
MA SE L'ABBIAMO DISEGNATA IN LOGICA CMOS, IL LIVELLO ALTO È V_{DD} , IL LIVELLO BASSO È 0V

b)

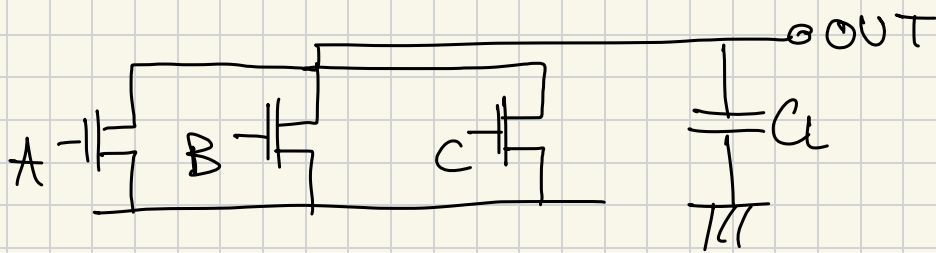




L'UNICO MODO PER CARICARE LA CAPACITÀ È ACCENDERE I 3 MOS P:



LO LASCIAMO MOMENTANEAMENTE IN SOSPESO E PER SCARICARE?



IN QUANTI MODI POSSO SCARICARE?

- 1) $k_{eff} = k_N$
- 2) $k_{eff} = 2k_N$
- 3) $k_{eff} = 3k_N$

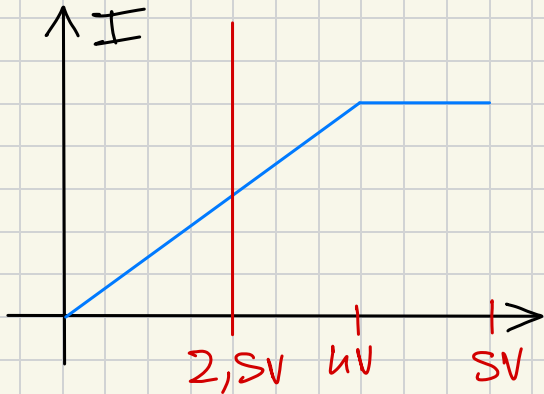
MA CI SERVE DAUVERO PIÙ DI TUTTI I CONTI?

NEL CASO 1 RIVIENE 30ps, NEL CASO 2 15ps, NELL'ULTIMO 10ps

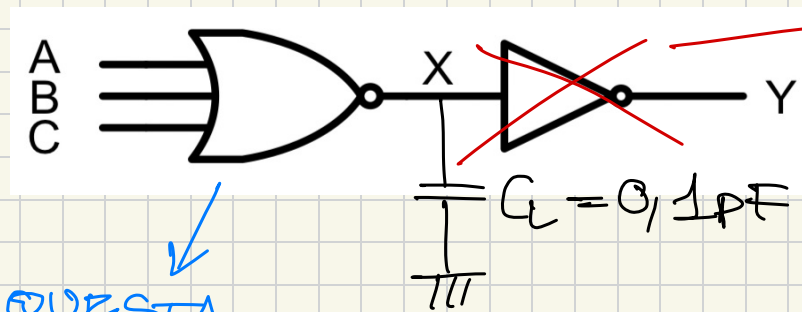
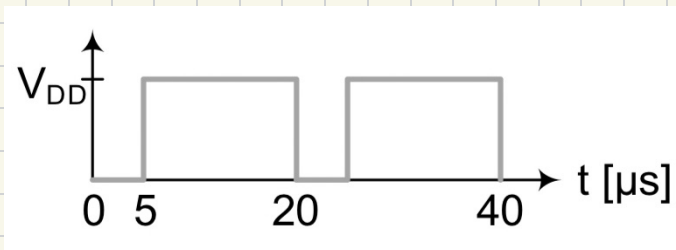
MA SAPPIAMO CHE ANCHE PER IL MOS P È TUTTO SPECCHIATO!

$$\Rightarrow k_{eff} = \frac{1}{3} k_p \Rightarrow 30 \mu s$$

(AUREI COMUNQUE POTUTO FARE TUTTI I CONTI)



C



NON ABBIAMO UNA CAPACITÀ ALLA SUA USCITA

QUESTA DISSIPERÀ

È CMOS, L'UNICA POTENZA È DINAMICA

→ 0.1 pF

$$P = C V_{DD}^2 \frac{1}{20 \mu s} = 0.125 \mu W$$

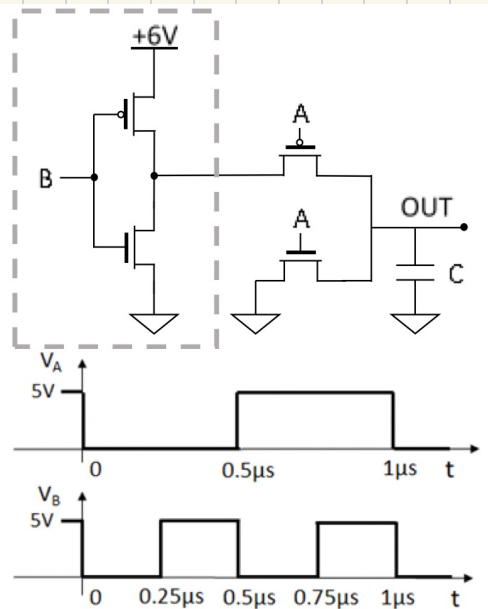
È CMOS, ↓
SICARICA 50 KHz
È SCARICA
COMPLETAMENTE

Esercizio 2

Nel circuito digitale in figura, i livelli di tensione dei segnali digitali A e B sono 0V e 5V.

Dati: $V_{Tp} = -1V$, $|k_p| = 0.9 \frac{mA}{V^2}$, $V_{Tn} = 1.5V$, $k_n = 0.5 \frac{mA}{V^2}$, $C = 1.5pF$.

- Determinare la soglia logica del solo circuito nel riquadro tratteggiato.
- Scrivere la tabella della verità del circuito completo.
- Considerando B a livello basso, calcolare il tempo necessario affinché l'uscita OUT raggiunga una tensione pari a 3.5V a seguito di una commutazione istantanea di A da livello alto a basso.
- Agli ingressi A e B del circuito sono applicate le due onde periodiche riportate in figura. Disegnare su un grafico quotato l'andamento dell'uscita $V_{OUT}(t)$ (trascurando il ritardo di commutazione della porta) e calcolare la potenza dinamica dissipata dal circuito.



Esercizio 3

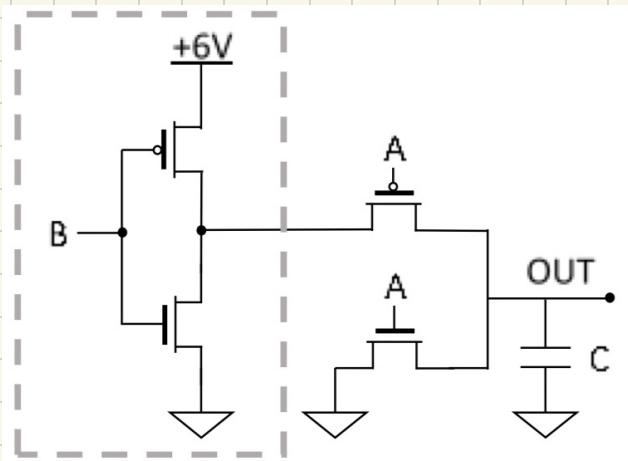
Nel circuito in figura, i diodi hanno tensione di accensione $V_{di} = 0.7V$

STO ALIMENTANDO LE PORTE LOGICHE A TENSIONE PIÙ BASSA DI $V_{DD} \Rightarrow$ ATTENZIONE!

a) COME LA VOLTA SCORSA, UGUAGLIO CORRENTE DI SATURAZIONE DEI DUE MOS NELL'INVERTER

b)

A	B	OUT
0	0	1 (6V)
0	1	0 (1V)
1	0	0 (V)
1	1	0 (V)

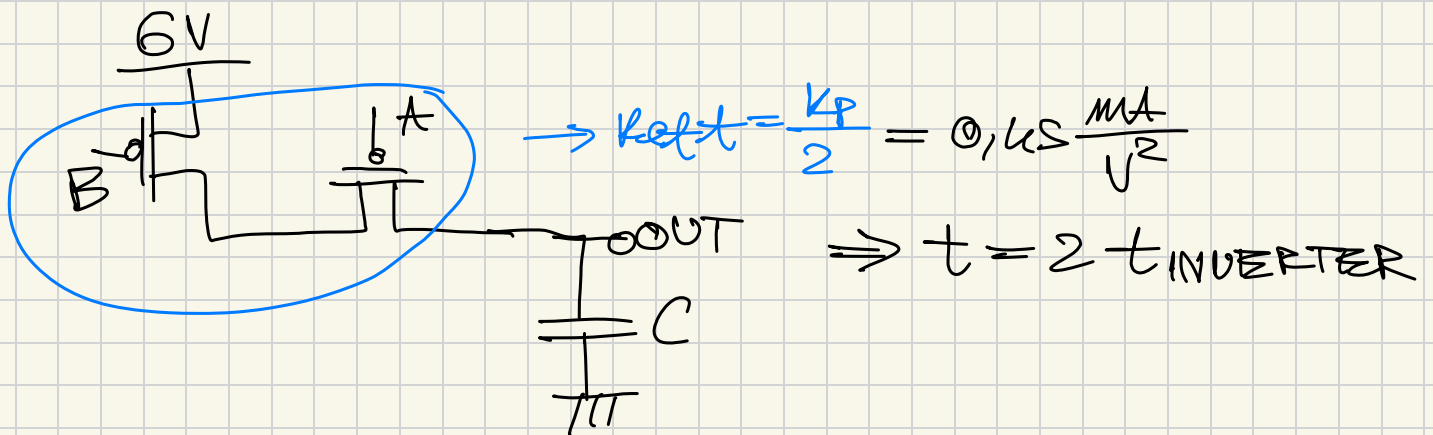


SE A È ALTO, L'USCITA È BASSA? ATTENZIONE, NON È UNA PORTA CMOS, CI POTREBBE ESSERE UN MOS P CHE "TIRA"

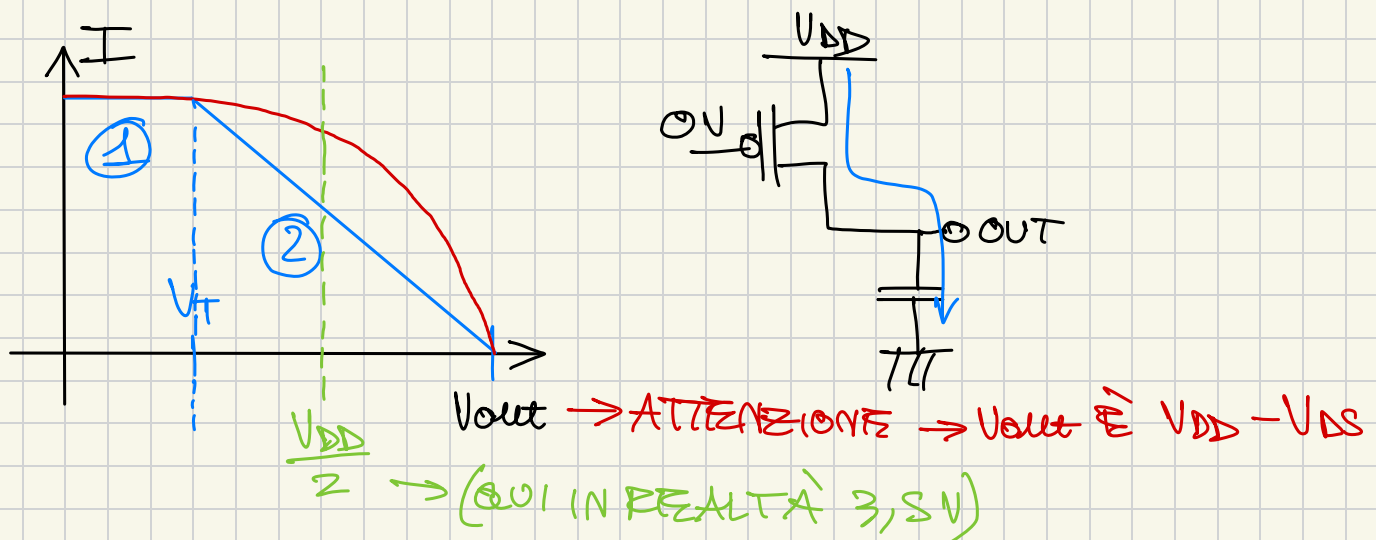
A=0, B=0, CARICO CON DUE MOS P
A=0, B=1, STO SCARICANDO CON UN MOS P!
 $\Rightarrow$ NON SI SCARICA COMPLETAMENTE!
NOTIAMO INOLTRE CHE 1V È < DI METÀ DINAMICA

DA UNA DOMANDA: IL FATTO CHE $V_{GS} = V_T = 1V$ È UN PROBLEMA? NO, PIÙ

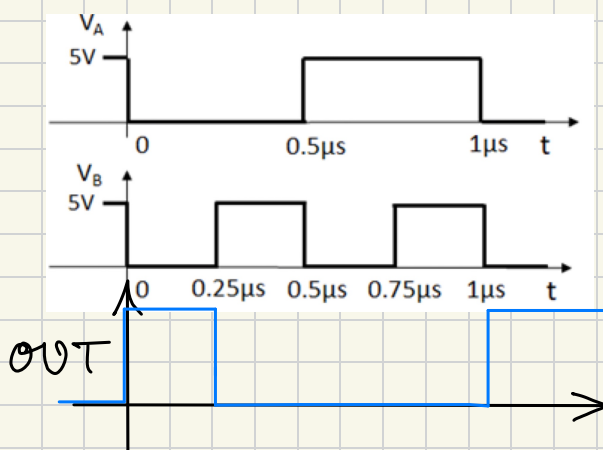
c) $B=0$, A VA DA 1 A 0



RIVEDIAMO COME CALCOLARE IL TEMPO DI DI COMMUTAZIONE DELL'INVERTER:

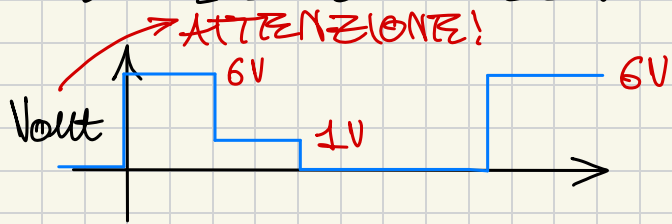


d) PARTO DALLA TABELLA DELLE VERITÀ TROVATA PRIMA:



NON VI È POTENZA STATICA $\Rightarrow P = C \Delta V_1 \Delta V_2 f_{ck}$

$T = 1 \mu s$ E COMMUTA 1 VOLTA SOLA $\Rightarrow f = 1 \mu Hz$
 PER ESSERE ESATTI:

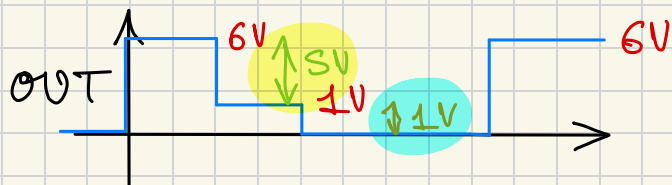


MA A LIVELLO FISICO, MI INTERESSA IL ΔV SUL
 CONDENSATORE, CHE È 6V (PERCHÉ ARRIVA SIA
 A 6V CHE A 0V)

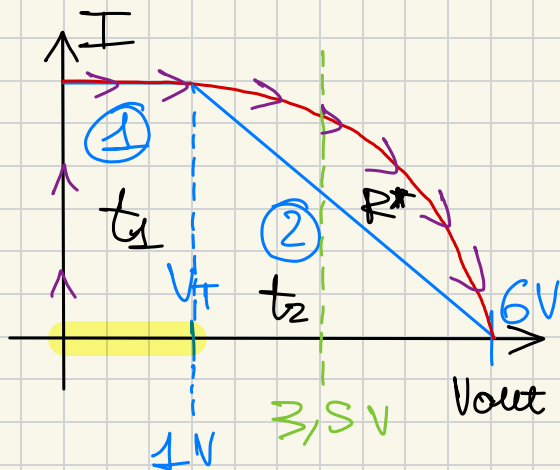
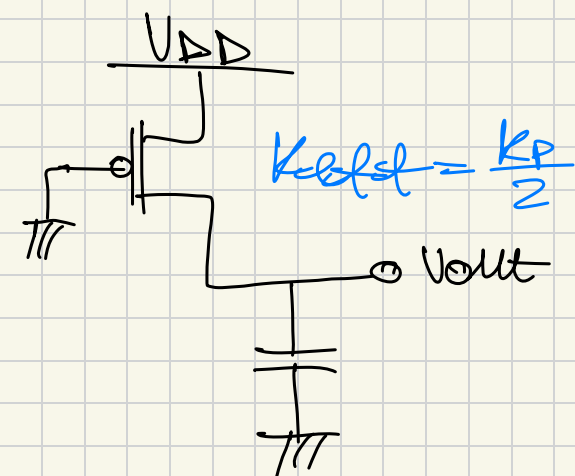
$$P = C \quad \Delta V_1 \quad \Delta V_2 \quad f_{CK}$$

$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$
 1,5pF 6V 1μHz

LA SOLUZIONE LO SCRIVE COME 5V + 1V



DA UNA DOMANDA, TEMPO DI COMMUTAZIONE AL
 PUNTO C)



$$t = t_1 + t_2$$

$$t_1 = \frac{Q}{I} = \frac{C \Delta V}{I_{SAT}}$$

$\rightarrow 1V$

$$CON \quad I_{SAT} = k'_{eff} (V_{GS} - V_T)^2$$

$\swarrow 6V \quad \searrow 1V$

$$R^* = \frac{V_{GS} - V_T}{I_{SAT}}$$

Vout è un esponenziale crescente che arriva a 6V

$$V_{out} = 5V(1 - e^{-t/\tau}) + \underline{1V} = 3,5V$$

MA ATTENZIONE! LO PARTO DA 1V

$$\tau = R^* C$$

$$t = t_2 \Rightarrow \text{RISOLVO} \dots$$