

20/10/2020

- 1)
- Assunto V_{in} con livelli logici 0V e 3.3V calcolare i livelli logici alto e basso di V_{out} .
 - Nel caso in cui V_{in} vari istantaneamente da 0V a 3.3V, calcolare il tempo di propagazione della porta logica.
 - Calcolare la potenza statica dissipata dal circuito per $V_{in} = 0V$ e $V_{in} = V_{DD}$.

DATI:

ATTENZIONE!

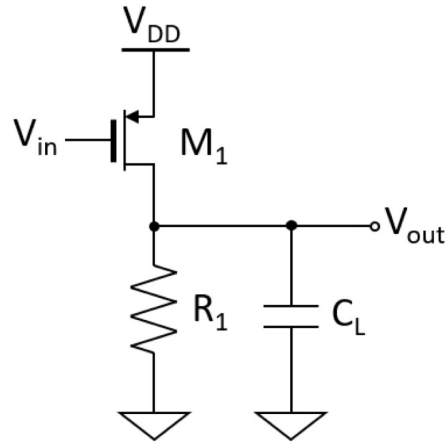
$$|k_p| = \frac{1}{2} \mu_p C'_{ox} \frac{W}{L} = 2 \frac{mA}{V^2}$$

$$|V_{tp}| = 1V$$

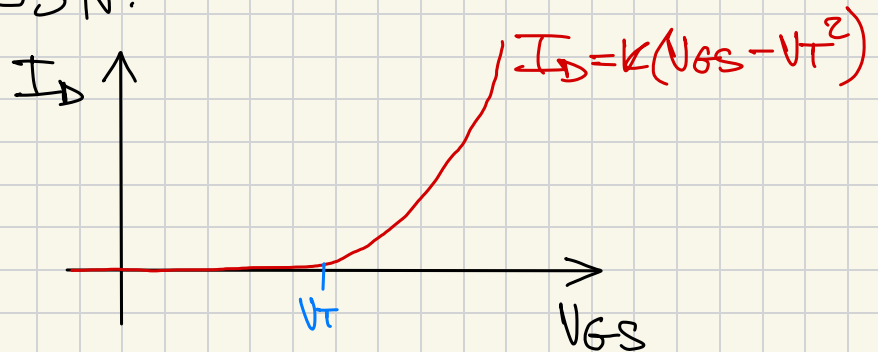
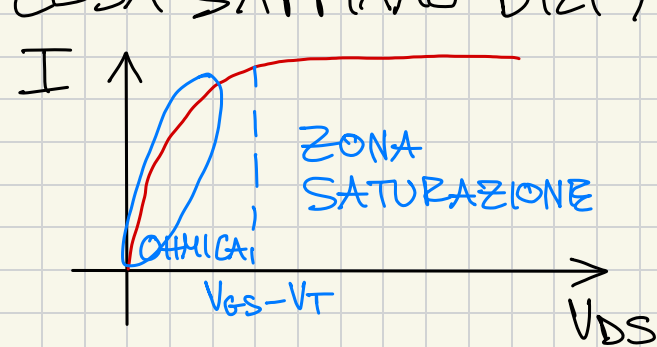
$$V_{DD} = 3.3V$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

$$C_L = 1pF$$



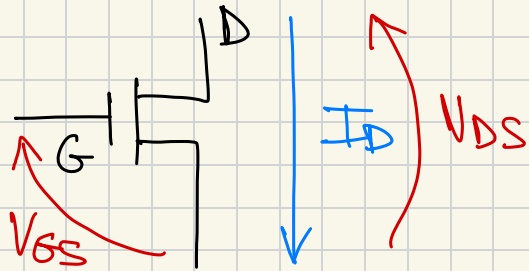
PER I MOS P SAPPIAMO CHE VI È UNA PROBLEMATICHE SULLE CONVENZIONI (INVERTITE)
 COSA SAPPIAMO DEI MOS N:



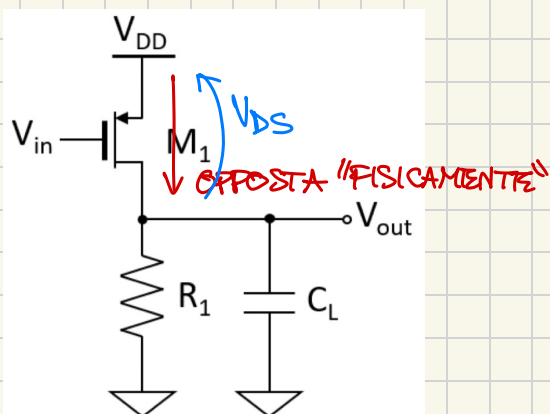
IN SATURAZIONE

IN ZONA OHMICA:

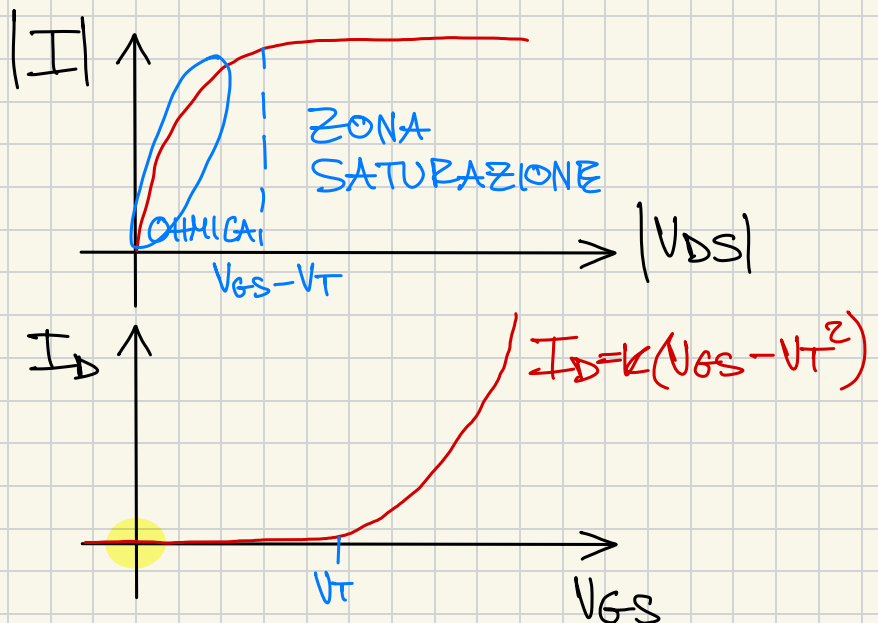
$$I_D = K \left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

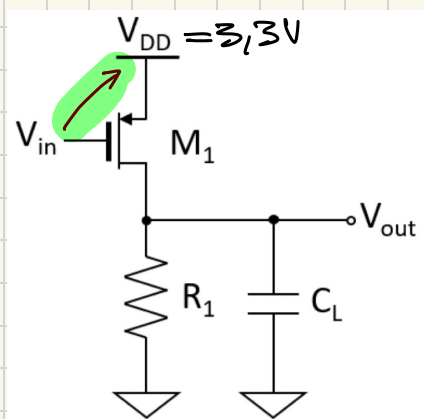


NEL MOS P LA CONVENZIONE È COME DA TESTO:



$$k_p < 0$$



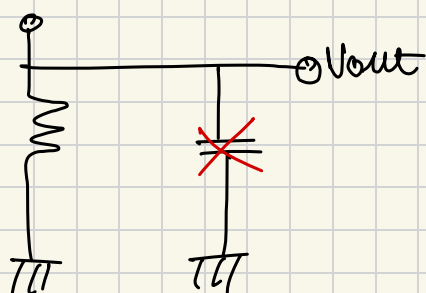


1) CON QUALE V_{in} SARÀ SICURAMENTE SPENTO?

3,3V, PERCHÉ V_{GS} SARÀ 0
LO TRATTO COME UN C.A.

3,3V

DOPO INFINITO TEMPO, C È UN C.A. $\Rightarrow V_{out} = 0V$

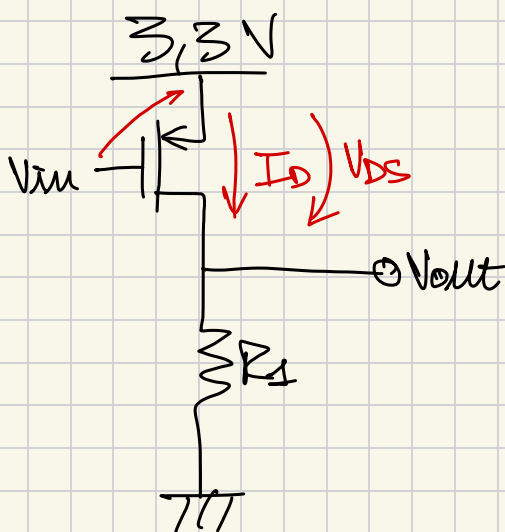


$V_{in} = 0V \Rightarrow$ IL MOS È ACCESO $\Rightarrow V_{GS} = -3,3V$

$\Rightarrow |V_{GS}| > V_T \Rightarrow$ IL MOS È ACCESO, MA IN CHE ZONA?

DOBBIAMO IPOTIZZARE

CICHIEDONO LE CONDIZIONI STATICHE: IL CONDENSATORE PER IL MOMENTO NON SI INTERESSA:



IPOTIZZIAMO ZONA OHMICA:

$$-\frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} \left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right] \quad (\text{LA CORRENTE NEL MOS})$$

$$= \frac{V_{out}}{R}$$

$$-\frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} \left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2 \right] = \frac{V_{out}}{R}$$

$\underbrace{\quad}_{2 \mu A / V^2} \quad \underbrace{\quad}_{-3,3V} \quad \underbrace{\quad}_{-1V}$

$$V_{DS} = V_{out} - 3,3V$$

$$\Rightarrow \dots \Rightarrow 2V_{out}^2 - 3V_{out} - 8,88 = 0$$

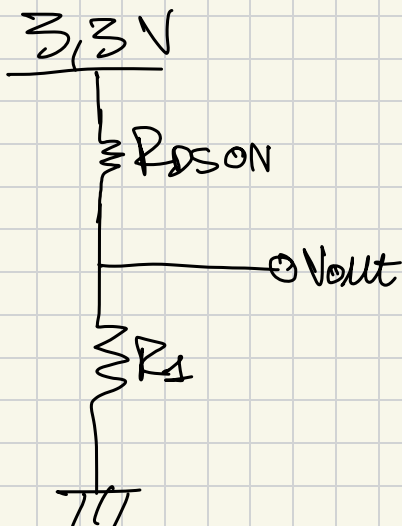
$\rightarrow 2,88V$
 $\rightarrow -2,45V$
 $V_{out} \text{ NON PUÒ ESSERE } < 0$

SE POSSIAMO PERÒ EVITARE (È PIÙ PROPENSO A ERRORI) DOBBIAMO FARE UN'APPROSSIMAZIONE, CHE TIPICAMENTE È ACCETTABILE (CIRCA L'IDEA DI NON AVERLO ANCORA VERIFICATO LO FAREMO DOPO)

I POTIZZO DI LAVORARE VICINO ALL'INIZIO DELLA ZONA OHMICA: "LA CONFONDO CON LA SUA DERIVATA"

$$USO LA R_{DS(on)} = \frac{1}{2K(V_{GS} - V_T)} \quad (\text{È LA DERIVATA DI } I_D \text{ IN } 0)$$

OTTENGO QUINDI:



$$V_{out} = 3,3V \frac{1k\Omega}{1k\Omega + R_{DS(on)}} = 2,87V$$

$$R_{DS(on)} = \frac{1}{2K(V_{GS} - V_T)} = 109\Omega$$

MA VERIFICHIAMO L'IPOTESI!

PRIMO MODO:

$$|V_{DS}| < |V_T|? \Rightarrow |3,3 - 2,97| \approx 300 \text{ mV} < \frac{3,3 - 1}{2,3 \text{ V}}$$

$\Rightarrow$ SICURAMENTE $\in$ IN ZONA OHMICA

SECONDO:

LA PIÙ "FISICA": $\rightarrow$ MOS ACCESO = HO CANALE LATO SOURCE

$\rightarrow$ MOS IN SATURAZ. = HO 0 NON CANALE LATO DRAIN

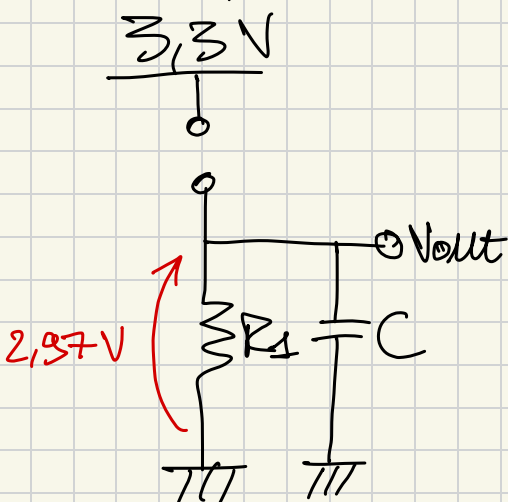
HO ENTRAMBI $\Rightarrow$ SONO IN ZONA OHMICA

b) TEMPO DI PROPAGAZIONE: TEMPO CHE PASSA TRA QUANDO L'INGRESSO COMMUTA ISTANTANEAMENTE A QUANDO L'USCITA PASSA METÀ DELLA DINAMICA (ES: $0 \rightarrow 5 \text{ V} \Rightarrow \text{METÀ} = 2,5 \text{ V}$)

ALTRA VERSIONE: 10% - 90%, 20% - 80%
(PESSIMA IDEA PERCHÉ: SE NON È REGIMITE, È VICINO)

QUI PROVIAMO AD ADOTTARE 10-90%

$V_{in} \rightarrow 0 \text{ V} \rightarrow$ MOS ACCESO
 $\rightarrow 3,3 \text{ V} \rightarrow$ MOS SPENTO



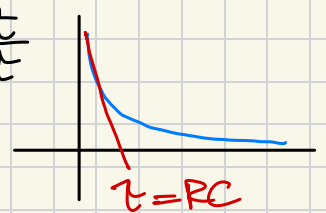
$$\tau = R_1 \cdot C$$

$$V_{out} = 2,97 \text{ V} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

A METÀ DINAMICA:

$$\frac{2,97}{2} \Rightarrow T = 0,69\tau$$

$$t = \tau \ln\left(\frac{1}{0,5}\right)$$



$$t_1 = 90\% \Rightarrow 0,9 \cdot 2,97 = 2,97 \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}} \Rightarrow t_1 = \tau \ln\left(\frac{2,97V}{2,97V \cdot 0,9}\right)$$

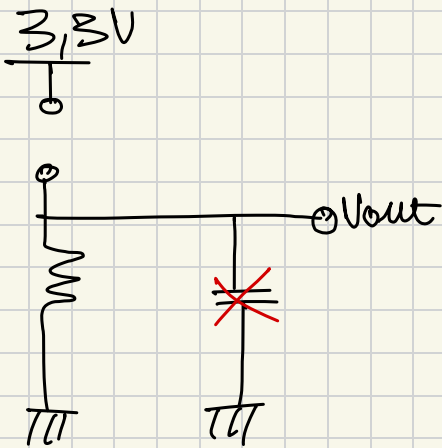
$$t_2 = 10\% \Rightarrow 0,1 \cdot 2,97 = 2,97 \cdot e^{-\frac{t_2}{\tau}} \Rightarrow t_2 = \tau \ln\left(\frac{2,97V}{2,97V \cdot 0,1}\right)$$

SI SE Moltiplica SEMPRE

$$T = t_2 - t_1$$

3) CASO $V_{in} = 3,3V \Rightarrow$ MOS SPENTO
 CIRCUITO CHIESTA STATICA $\Rightarrow C$ È UN CIRCUITO APERTO

NON PUÒ CIRCOLARE CORRENTE



$$P_{DISS}|_{V_{in}=3,3V} = 0W$$

$$P_{DISS}|_{V_{in}=0V} = V \cdot I = 3,3V \cdot \frac{2,97V}{R_d}$$

LA TENSIONE L'HO GIÀ CALCOLATA PRIMA
 (QUESTA SARÀ ANCHE QUELLA DEL MOS)

2)

- Calcolare V_{out} quando $V_{in} = 0V$.
- Dimensionare $\left(\frac{W}{L}\right)_n$ per avere $V_{out} = 0.5V$ quando $V_{in} = 5V$.
- Nel caso in cui V_{in} vari istantaneamente da $5V$ a $0V$, calcolare il tempo di propagazione della porta logica.
- Calcolare la potenza statica dissipata dal circuito per $V_{in} = 0V$ e $V_{in} = V_{DD}$.
- Calcolare la potenza dinamica quando V_{in} è un'onda quadra ideale tra $0V$ e V_{DD} con periodo $T = 1 \mu s$ e duty cycle $D=50\%$.

DATI:

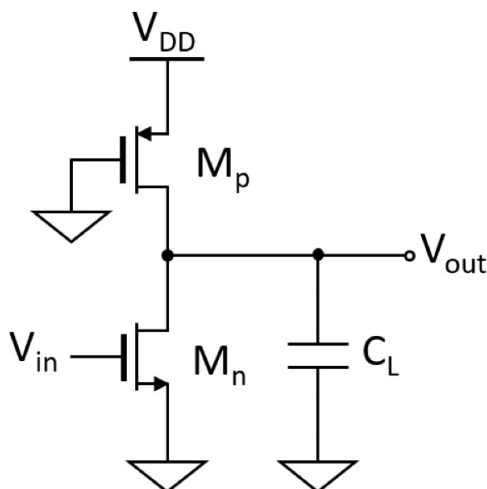
$$|k_p| = \frac{1}{2} \mu_p C'_{ox} \frac{W}{L} = 200 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$k'_n = \frac{1}{2} \mu_n C'_{ox} = 50 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$V_{tn} = |V_{tp}| = 1V$$

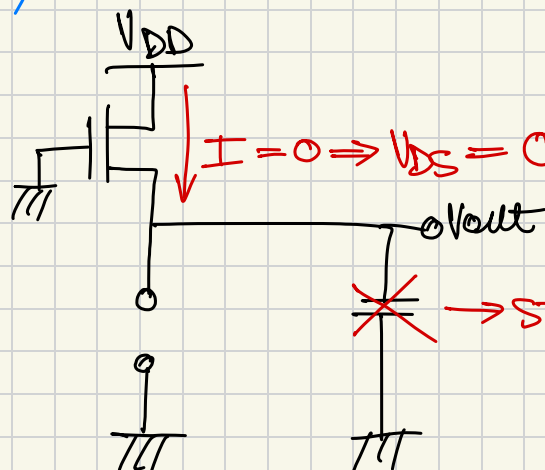
$$V_{DD} = 5V$$

$$C_L = 10pF$$



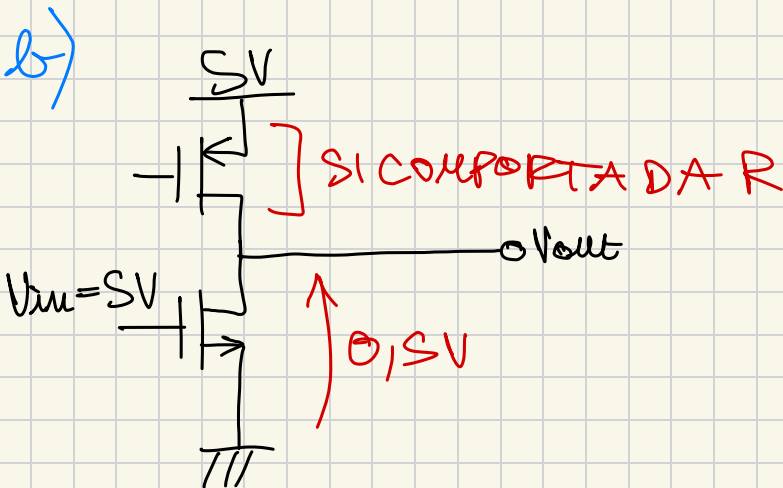
IL MOS P È SEMPRE ACCESO (C'È SEMPRE CANALE)

a) V_{GS} DEL MOS N È $0V$



SI COMPORTA DA RESIST. FLOTTANTE
 $\Rightarrow V_{out} = V_{DD} = 5V$

~~STATICA~~



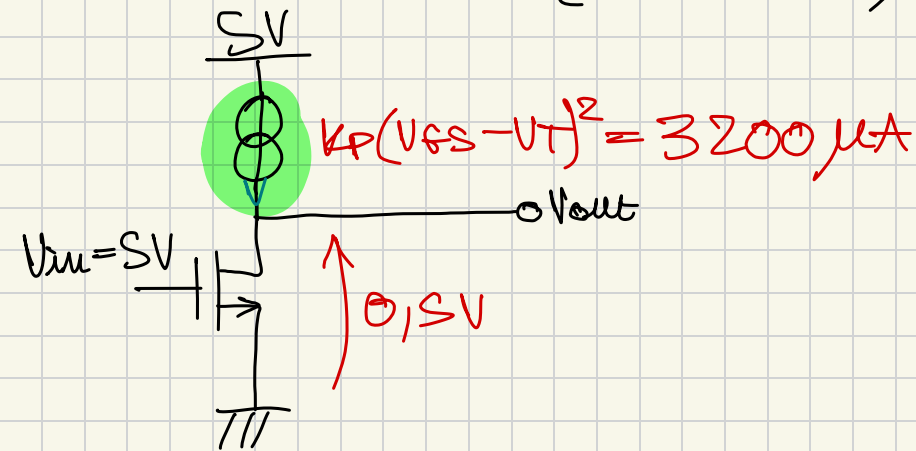
CONOSCENDO V_{out} CONOSCO TUTTE LE TENSIONI DEI MOS!

IL MOS N HA $V_{GS} = 5V$ E $V_{DS} = 0,5V$

$$\Rightarrow V_{DS} < V_{GS} - V_T = 4V \Rightarrow \text{LAVORA IN ZONA OHMICA}$$

$$0,5V$$

NEL MOS P NON HO CANALE LATO DRAIN ($0,5 < 1$), LO HO LATO SOURCE (È ACCESO) $\Rightarrow$ ZONA SATURAZIONE



SI COMPORTA DA GENERATORE

CORRENTE MOS N IN ZONA OHMICA

$$k' \cdot \frac{W}{L} \left[2(V_{GS} - V_T) V_{DS} - V_{DS}^2 \right] = k_p (V_{GS} - V_T)^2$$

$-5V \quad -1V$

RISOLVENDO...

$$\left(\frac{W}{L} \right)_N = 17$$

MA AVREI POTUTO UTILIZZARE LA $R_{DS(on)}$?
(SONO ABBASTANZA VICINO ALL'ORIGINE)

$$R_{DS} = \frac{1}{2k(V_{GS} - V_T)} \text{ MA SO CHE LA SUA } I \text{ È } 3200 \mu A$$

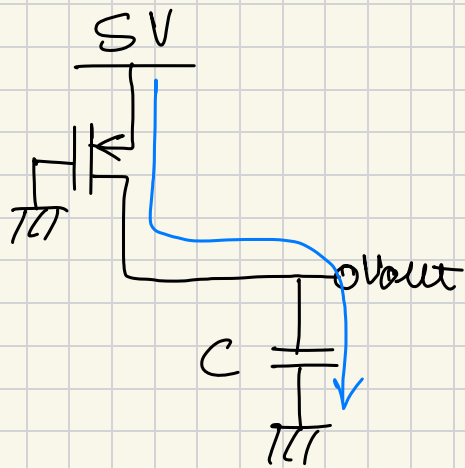
$\downarrow$
 $k \left(\frac{W}{L} \right)$

$$\Rightarrow R_{DS(on)} = \frac{0,5V}{800 \mu A} = 156 \Omega$$

$$\frac{1}{2k \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)} = 156 \Omega \quad \text{È RISOLTO} \dots \Rightarrow \left(\frac{W}{L} \right) = 16$$

VA BENISSIMO COME APPROSSIMAZIONE

c) $0V \Rightarrow$ MOS N SI SPENGE ($V_{GS} = 0V$)

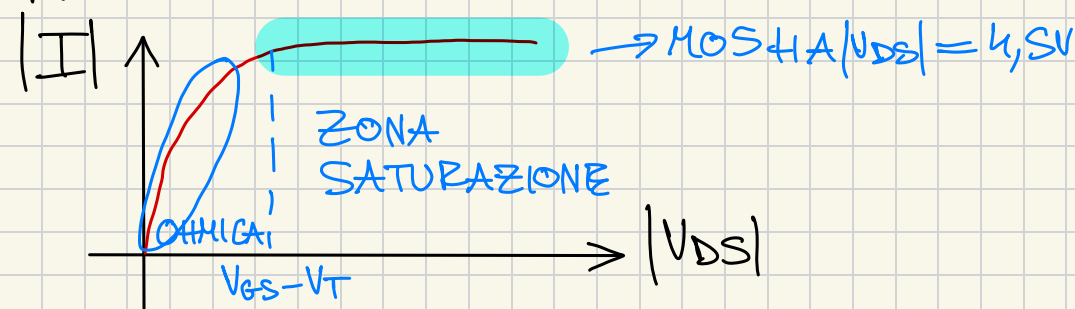


ATTENZIONE CHE QUI PARTO
DA $0,5V \Rightarrow S - 0,5 = 4,5V$
 $\Rightarrow \frac{4,5}{2} = 2,25V$ PER APPROSSIMAZ.

DI "METÀ DINAMICA" (SU USCITA)
 $\Rightarrow$ IN TOTALE, $2,75V \rightarrow [0,5 \dots 5]V$

V_{DS} È INIZIALMENTE $-4,5V$ (SATURO), FINCHÉ
CARICANDO IL CONDENSATORE NON DIVENTERÀ
OHMICO

PRIMA POSSIBILITÀ:



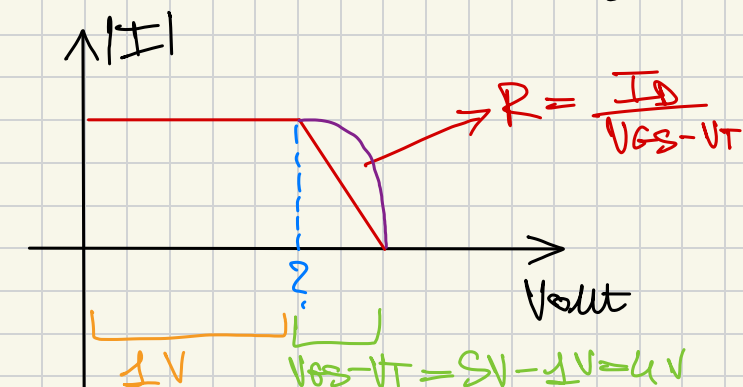
APPROSSIMO A CORRENTE COSTANTE:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{1}{2} \frac{C \cdot \Delta V}{k(V_{GS} - V_T)^2}$$

METÀ DINAMICA

SECONDA POSSIBILITÀ:

LA SECONDA PARTE LA APPROSSIMO COME UN RC:



QUINDI IL PRIMO VOLT È A CORR COSTANTE
OMEGLIO, DA 0,5V A 1V

$$I_{D,SAT} = K_P (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{C \Delta V}{I_{D,SAT}} \rightarrow (1 - 0,5) = 1,56 \mu s$$

POI HO L'ESPONENZIALE

$$1V + 4V(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{ AD } \infty, \text{ HO } 5V \text{ (REGIME)}$$

$$\tau = C \cdot R = C \cdot \frac{I_{D,SAT}}{V_{GS} - V_T}$$

$$\Rightarrow 1V + 4V(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 2,75V \Rightarrow t_2 = 7,19 \mu s$$

$$\Rightarrow t_{TOT} = (1,56 + 7,19) \mu s$$