

CMOS Digital VLSI Design

Prof. Habil. Dr. Ing. Decebal Popescu

Modulul 1 - continuare

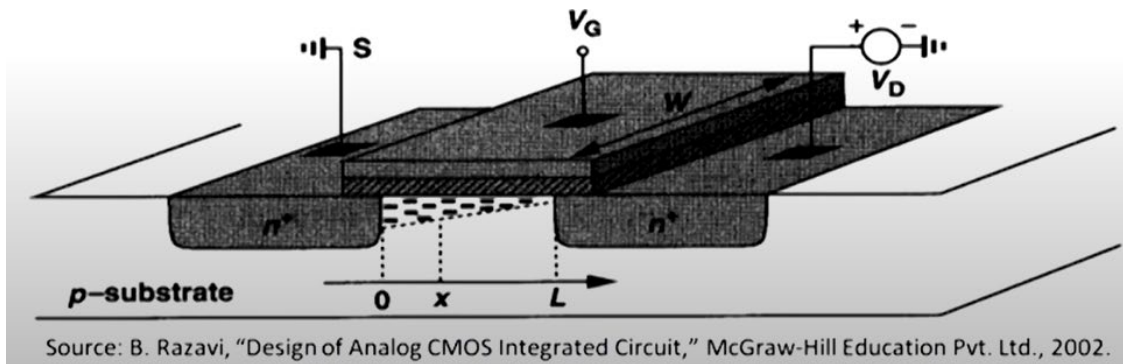
Noțiuni de bază pentru tranzistorul MOS

Cum determinăm caracteristica curent vs tensiune ($I - V$)

- În cazul în care aplicăm o tensiune pe G sau pe D cum putem prezice fluxul de curent prin dispozitiv ?
- $I = Q \times v$ unde
 - Q este densitatea sarcinii
 - v este viteza purtătorilor de sarcină
- Presupunem un nMOSFET la care S și D sunt legate la GND \Rightarrow \nexists câmp electric de la S la D. Dar avem totuși o tensiune – V_G \Rightarrow avem câmp electric transversal.
- Presupunem existența canalului invers atunci când $V_{GS} = V_{TH} \Rightarrow$ densitatea sarcinii inversate este $V_{GS} - V_{TH} \Rightarrow Q = W \times C_{ox} \times (V_{GS} - V_{TH}) \Leftrightarrow Q = W \times \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} \times (V_{GS} - V_{TH})$

Cum determinăm caracteristica curent vs tensiune ($I - V$)

- Considerăm acum că aplică o tensiune pe D, S este legat la GND iar $V_{GS} = V_{TH}$



În acest caz regiunea n^+ din dreapta va fi replasată de o diodă.

În acest caz se va forma o regiune mare de depletion în jurul D și din acest motiv regiunea de depletion este în canal.

Acest fenomen este cunoscut ca **pinch off**.

O diferență de tensiune apare în canal și atunci în oricare punct x avem $Q(x) = W \times C_{ox}(V_{GS} - V_{TH} - V(x))$ unde $V(x)$ este valoarea aproximativă a tensiunii într-un punct particular Y al canalului

$$I_D = -W \times C_{ox} \times (V_{GS} - V_{TH} - V(x)) \times v \text{ unde } v = \mu \times E = \mu \left(-\frac{dV(x)}{dx} \right) \text{ și } \mu \text{ este mobilitatea electronilor } \Rightarrow$$

Cum determinăm caracteristica curent vs tensiune ($I - V$)

- $I_D = W \times C_{ox} \times (V_{GS} - V_{TH} - V(x)) \times \mu_n \left(\frac{dV(x)}{dx} \right)$

dar

S este legată la GND = » $V(0) = 0$

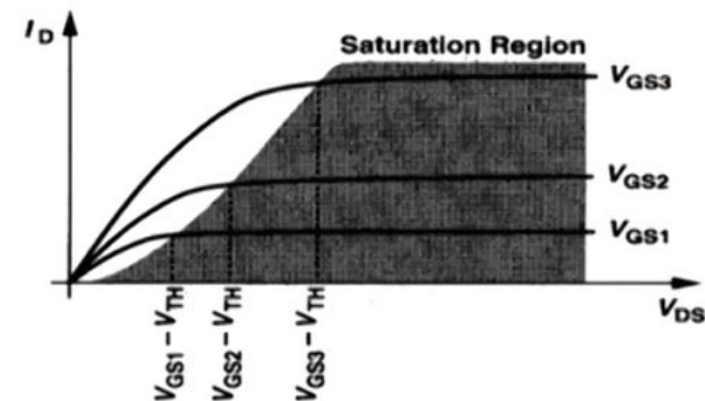
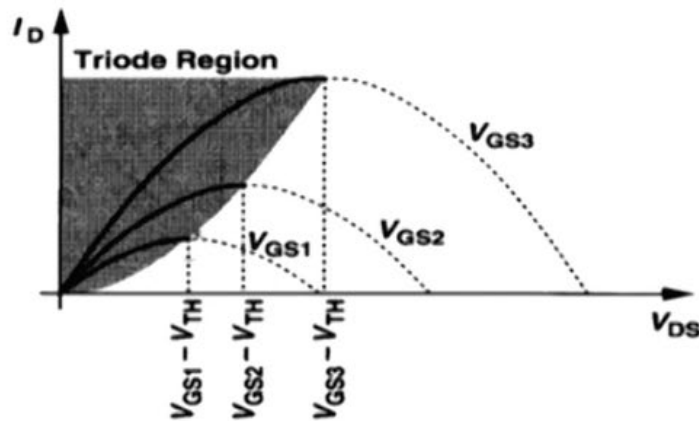
$V(L) = V_{DS}$ deoarece reprezintă cantitatea de tensiune prin drenă

$$\int_{x=0}^L I_D dx = \int_{V=0}^{V_{DS}} W \times C_{ox} \times (V_{GS} - V_{TH} - V(x)) \times \mu_n dV$$

și cum curentul este constant prin canal

$$I_D = \mu_n \times \frac{W}{L} \times C_{ox} \times \left[(V_{GS} - V_{TH})V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

Cum determinăm caracteristica curent vs tensiune ($I - V$)



Vom diferenția ultima ecuație obținută pentru a putea determina vârfurile - $\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}}$

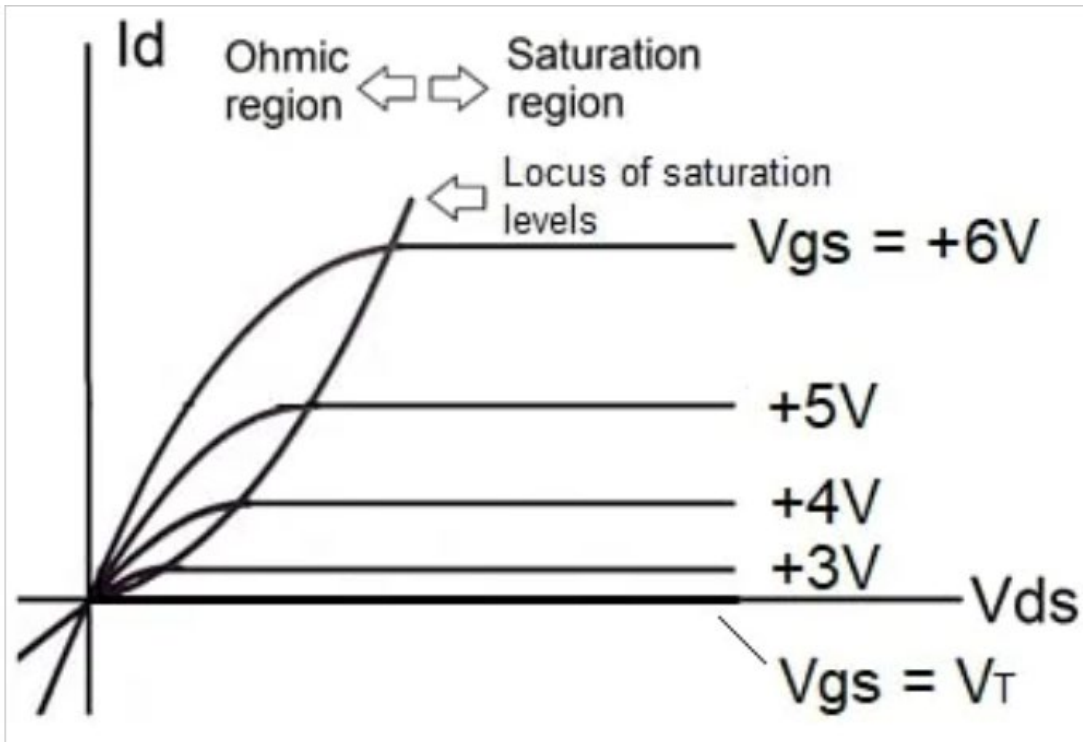
Vom determina apariția vârfului la $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$

Vârful este punctul la care I_D sau V_{DS} pierde controlul asupra fluxului purtătorilor de sarcină

Tot în ultima ecuație vom înlocui V_{DS} cu $V_{GS} - V_{TH}$ =»

$$I_{Dmax} = \mu_n \times C_{ox} \times \frac{W}{2L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

Cum determinăm caracteristica curent vs tensiune (I – V)



Sursa: <https://eepower.com/technical-articles/what-are-enhancement-mode-mosfets/#>

Pe regiunea ohmică sau liniară, $V_{GS3} > V_{GS2} > V_{GS1}$

Avem pante abrupte \Rightarrow o schimbare mică în V_{DS} va conduce la o schimbare mică a lui $I_D \Rightarrow R_{ON3} < R_{ON2} \dots \Rightarrow$ modificarea lui V_{GS} va conduce la modificarea lui R_{ON}

$$R_{ON} = \frac{1}{\mu_n \times C_{ox} \times \frac{W}{L} \times (V_{GS} - V_{TH})} \sim \frac{1}{(V_{GS} - V_{TH})}$$

Regiunea de operare **sub-threshold** – dispozitivul va funcționa chiar dacă $V_{GS} < V_{TH}$.

Dispozitivul va funcționa chiar dacă $V_{GS} = 0.49$ iar $V_{TH} = 0.5$

Funcționarea ca un switch presupune modificarea tensiunii deasupra sau sub V_{TH}

Cum determinăm caracteristica curent vs tensiune (I – V)

- În regiunea saturată – are loc când $V_{GS} - V_{TH} < V_{DS}$

$$I_{Dmax} = \mu_n \times C_{ox} \times \frac{W}{2L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

- În regiunea liniară

$$I_D = \mu_n \times \frac{W}{L} \times C_{ox} \times \left[(V_{GS} - V_{TH})V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

- Dacă $V_{DS} \ll 2 \times (V_{GS} - V_{TH})$ - regiunea deep triode

$$R_{ON} = \frac{1}{\mu_n \times C_{ox} \times \frac{W}{L} \times (V_{GS} - V_{TH})}$$

Cum determinăm caracteristica curent vs tensiune ($I - V$)

- Tranzistorul MOS poate fi utilizat ca un switch controlat de tensiune (**V**oltage **C**ontrolled **S**witch) dar și ca un rezistor variabil (**V**oltage **V**ariable **R**ezistor)
- nMOS și pMOS pot fi fabricate pe același wafer și acestea sunt blocurile de bază pentru orice circuit digital sau analog
- Tranzistorul acționează ca un rezistor în regiunea liniară și ca o sursă de curent în regiunea saturată
- Înclinarea pantei sub-threshold decide viteza de tranziție între stările ON și OFF ale tranzistorului