

CMOS Digital VLSI Design

Prof. Habil. Dr. Ing. Decebal Popescu

Modulul 2

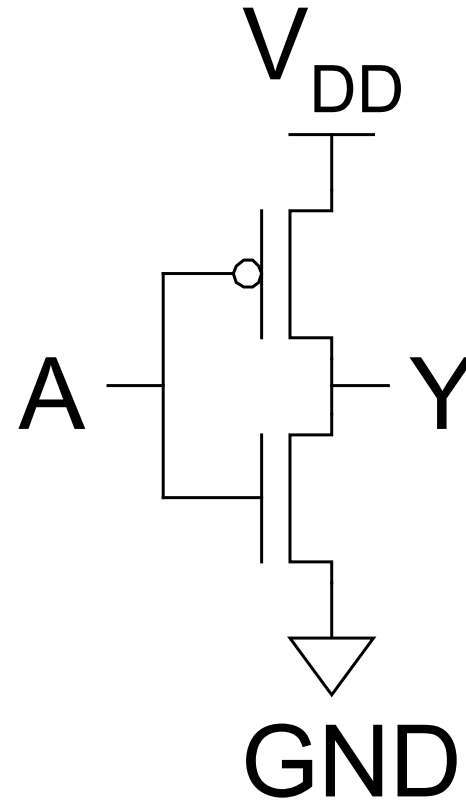
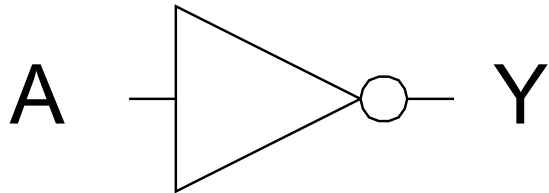
Inversorul CMOS

Inversorul CMOS

- Ideea de bază a unui inversor CMOS
- Modelul de tip switch al unui inversor
- Comportament static
- Caracteristicile de transfer ale tensiunii - V_{TC} - în cazul în care variez tensiunea de intrare (V_{in}) de la 0V la 5V cum se va comporta tensiunea de ieșire (V_{out})
- Comutarea – switching threshold – acea tensiune la care tranziția din 0 în 1 sau din 1 în 0 are loc
- Zgomot – orice semnal introdus în price circuit are un zgomot, de aceea în prima fază dorim să rejectăm acest zgomot
- Calculul câștigului = $\frac{\partial V_{out}}{\partial V_{in}}$

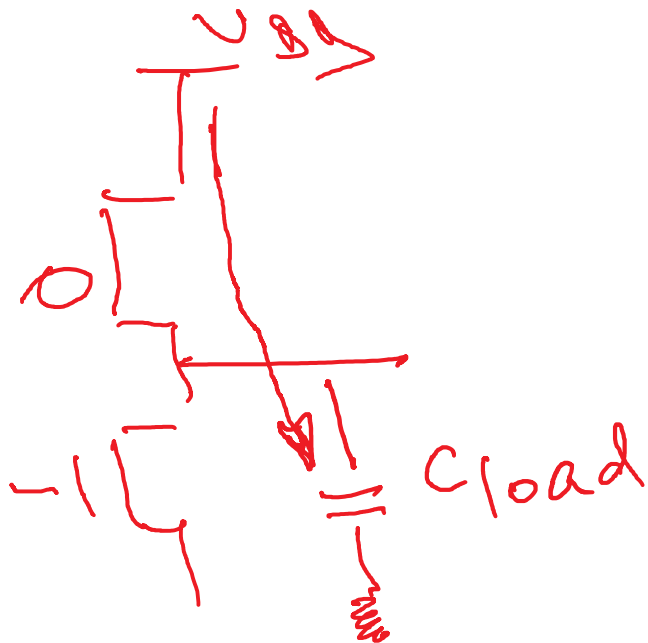
Inversorul CMOS

A	Y
0	
1	



① \rightarrow 1 pMOS = ON
 nMOS = OFF. $V_G > \underline{\underline{V_{TH}}}$

pMOS in mod saturat.

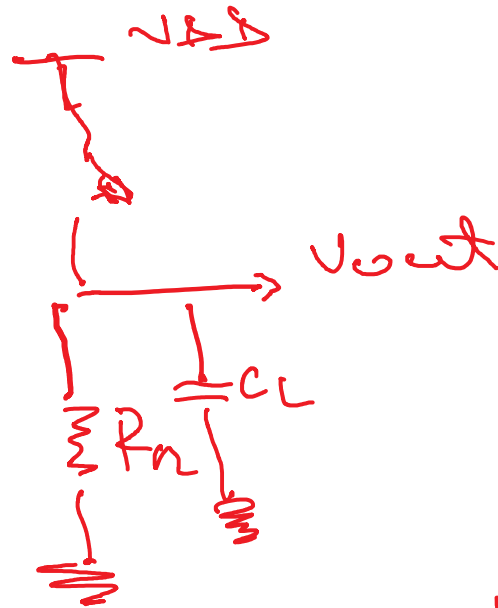


$X \rightarrow 0$ PMOS = OFF ($V_G = V_{TH}$)
NMOS = ON

NMOS functionează în
modul saturat

PMOS functionează în
cut-off.

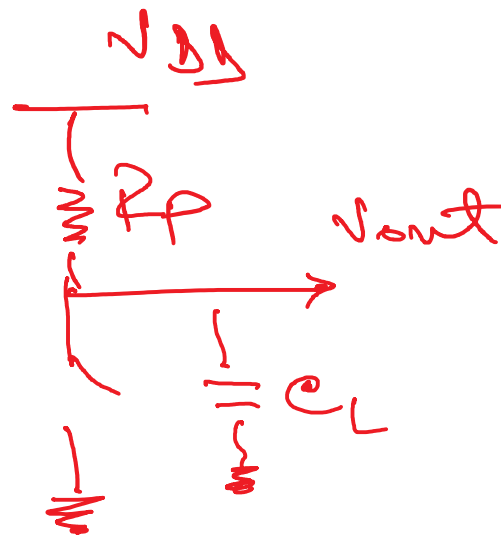
Inversorul ca un comutator – switch model



$$V_{in} = V_{DD}$$

nMOS = ON
pMOS = OFF

$$\tau = R \cdot C$$



$V_{in} = 0$
nMOS = OFF
pMOS = ON

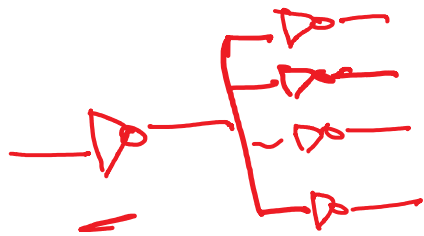
Operarea în modul static

Mod static def. ∇ switch din 0 în 1 sau din 1 în 0

1) Nu se consumă putere

∇ cale directă între VDD & GND

2) ∇ îmbunătățește fanout



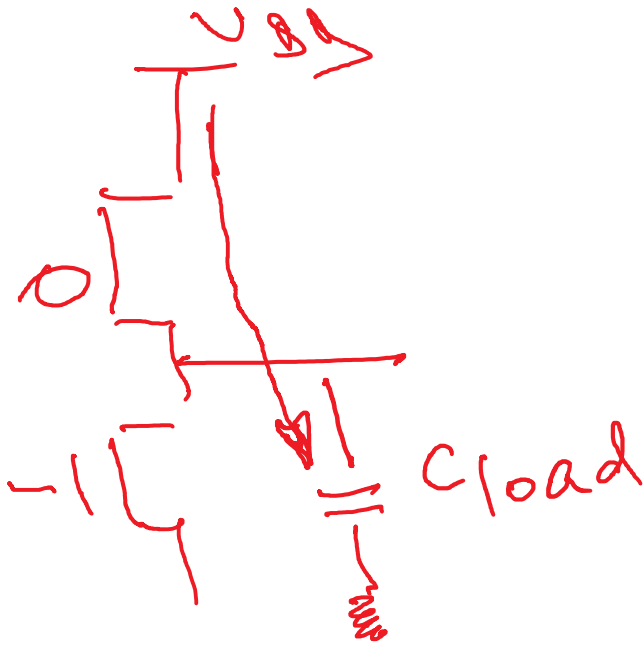
$$f = 4.$$

steady state.

3) Impedanță mică la ieșire
favorizează atenuarea zgomotului



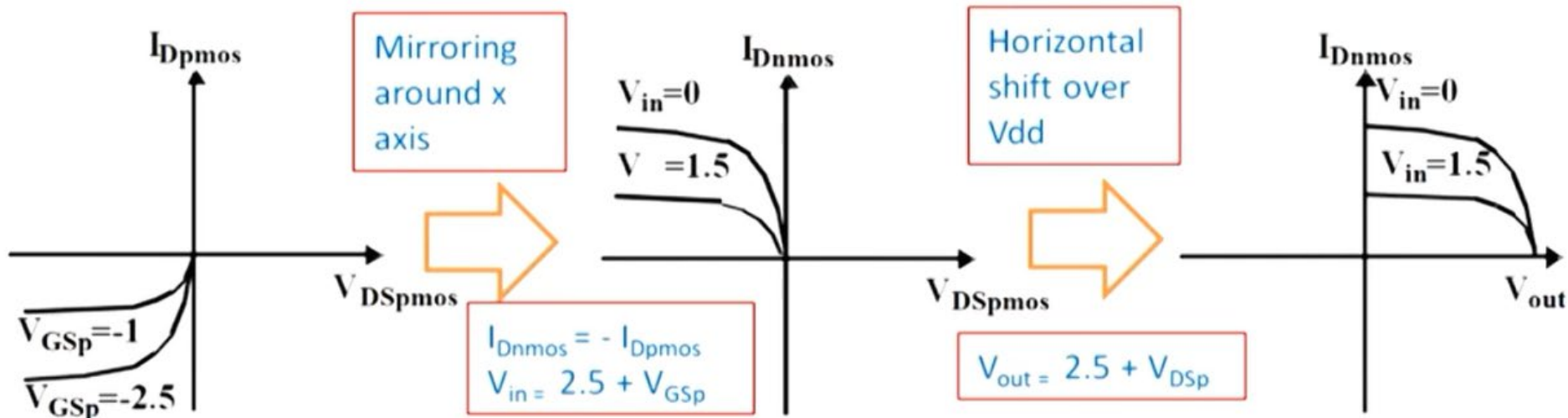
Operarea în modul static



- M1 se mai numește și dispozitiv pull down – PDD – 1 în 0
- M2 se mai numește și dispozitiv pull up (PUD) – 0 în 1
- Tot ce este deasupra lui V_{out} este PUD
- Tot ce este sub V_{out} este PDD

Caracteristicile de transfer pentru tensiune - V_{TC}

$V_{DD} = 2.5$



Source: prof. Sudeb Dasgupta course

$I_{DSp} = -I_{DSn} \rightarrow (+ \text{ pentru c\u0103 avem electroni \u0219i } - \text{ pentru c\u0103 avem g\u0103uri})$

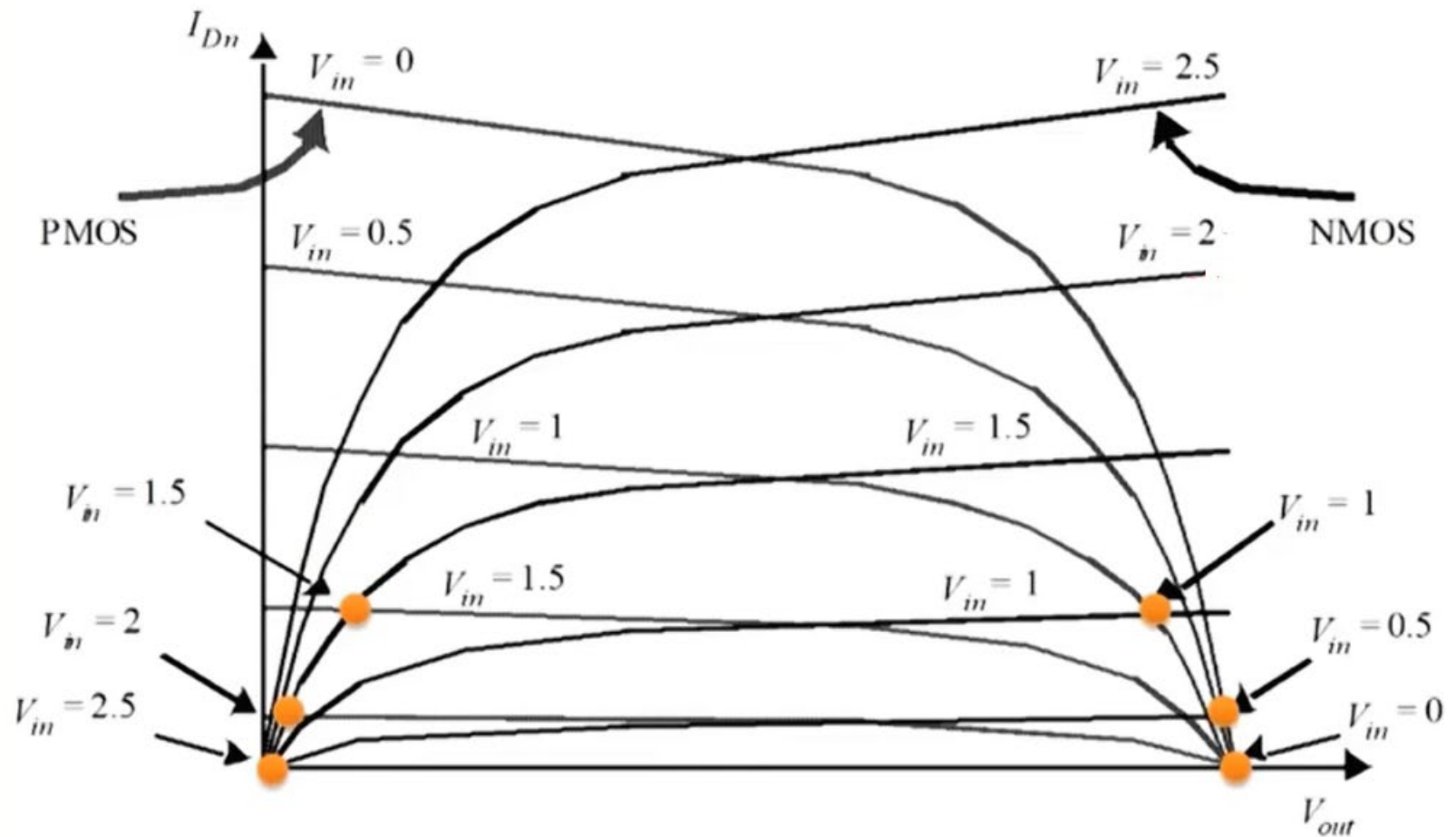
$$V_{GSn} = V_{in}$$

$$V_{GSp} = V_{in} - V_{DD}$$

$$V_{DSn} = V_{out}$$

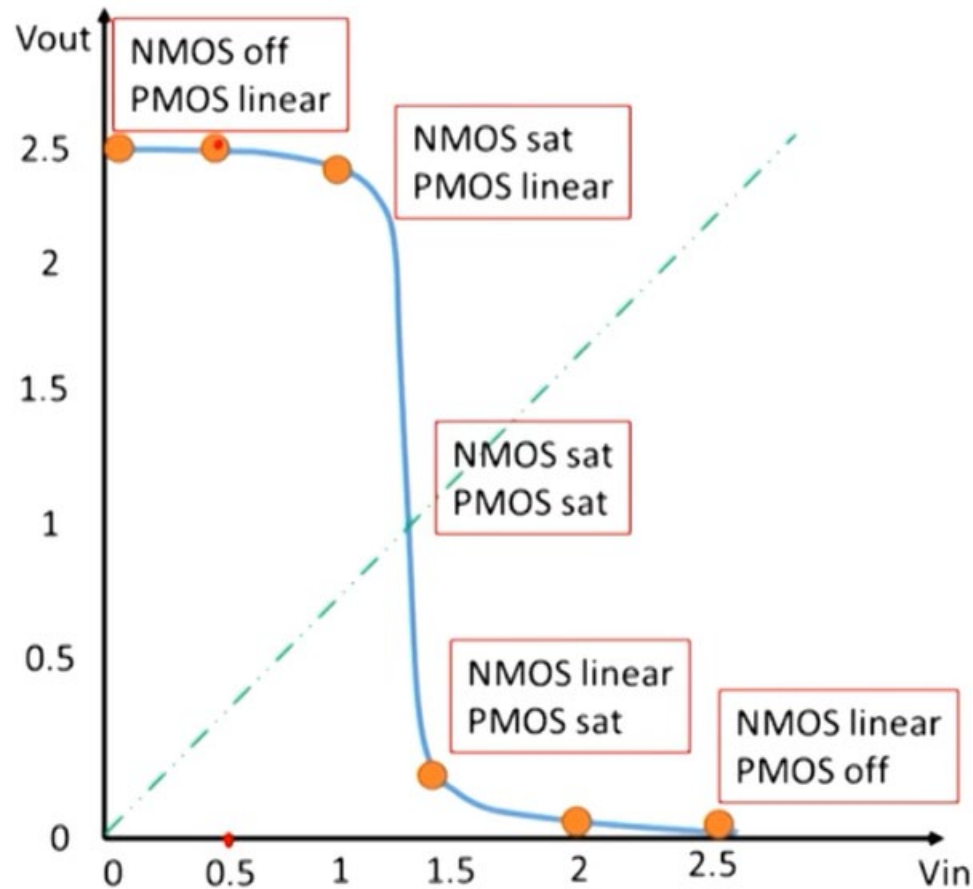
$$V_{DSp} = V_{out} - V_{DD}$$

Caracteristicile de transfer pentru tensiune - V_{TC}



Source: Digital Integrated Circuits (2nd Edition)- Jan M. Rabaey

Cracteristicile de transfer pentru tensiune - V_{TC}



Source: prof. Sudeb Dasgupta course

Pragul de comutare

- Din figura anterioară avem că tranzistorul nMOS este în modul saturat ca și tranzistorul pMOS deci $I_{DSn} = -I_{DSp}$ adică $I_{DSn} + I_{DSp} = 0$ ceea ce conduce la următoarea exprimare

$$k_n V_{DSATn} \left(V_M - V_{Tn} - \frac{V_{DSATn}}{2} \right) + k_p V_{DSATp} \left(V_M - V_{DD} - V_{Tp} - \frac{V_{DSATp}}{2} \right) = 0$$

unde

$$k_n = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$$

de unde rezultă V_M

$$V_M = \frac{\left(V_{Tn} + \frac{V_{DSATn}}{2} \right) + r \left(V_{DD} + V_{Tp} + \frac{V_{DSATp}}{2} \right)}{1+r} \quad \text{unde } r = \frac{k_p V_{DSATp}}{k_n V_{DSATn}}$$

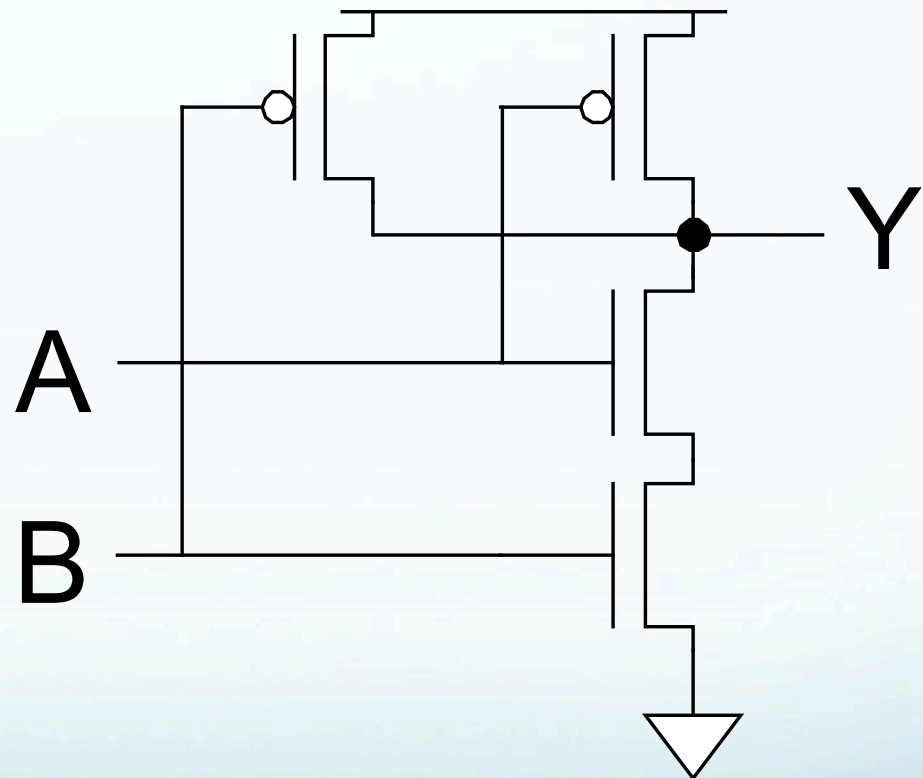
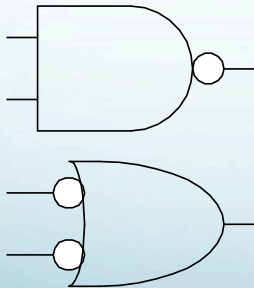
Presupunând că $V_{DSATp} = V_{DSATn}$ atunci r se va deveni $r = \frac{\mu_p W_p}{\mu_n W_n}$

Pragul de comutare

- Dacă presupun că $r = 1$ iar $V_{tn} = V_{tp}$ și $V_{DSATn} = -V_{DSATp}$ atunci $V_m = \frac{V_{DD}}{2}$
- Totodată $\frac{\mu_p W_p}{\mu_n W_n} = 1 \Rightarrow \frac{\mu_p}{\mu_n} = \frac{W_n}{W_p}$
- Având în vedere faptul că mobilitatea electronilor este de 3 ori mai mare decât mobilitatea găurilor, deci raportul de $\frac{1}{3}$ va trebui menținut și în partea dreaptă a egalității ceea ce conduce la faptul că W_p este mai mare decât W_n de cel puțin 3 ori.

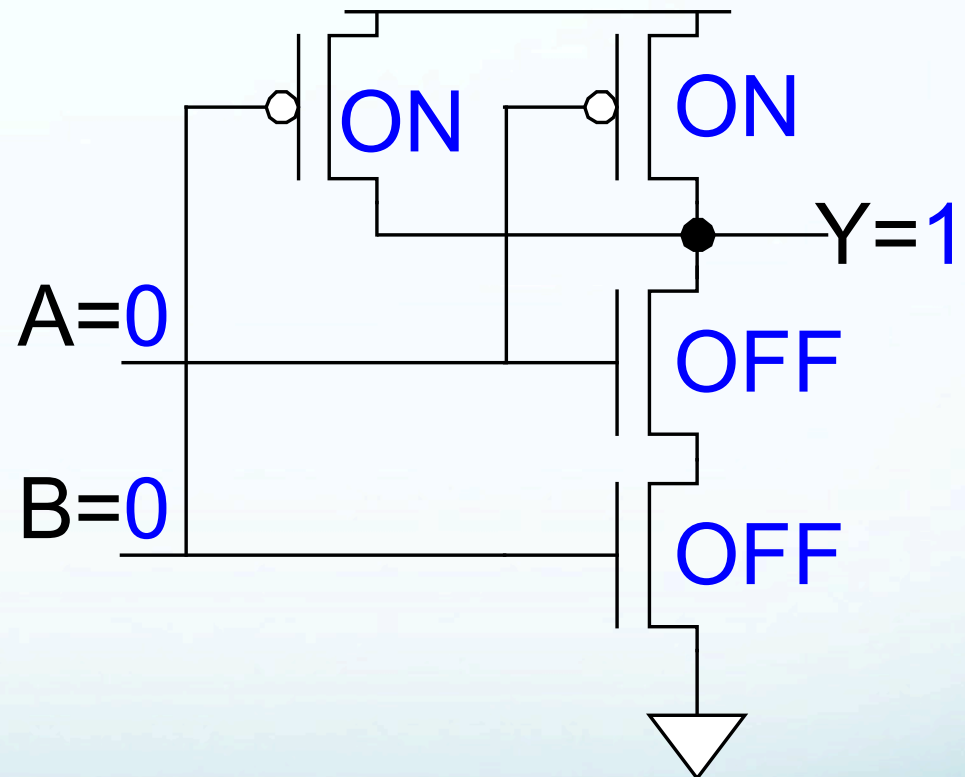
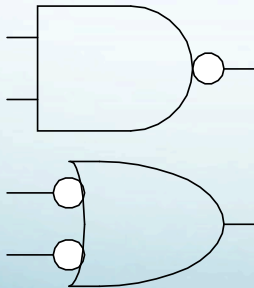
Poarta CMOS NAND

A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	



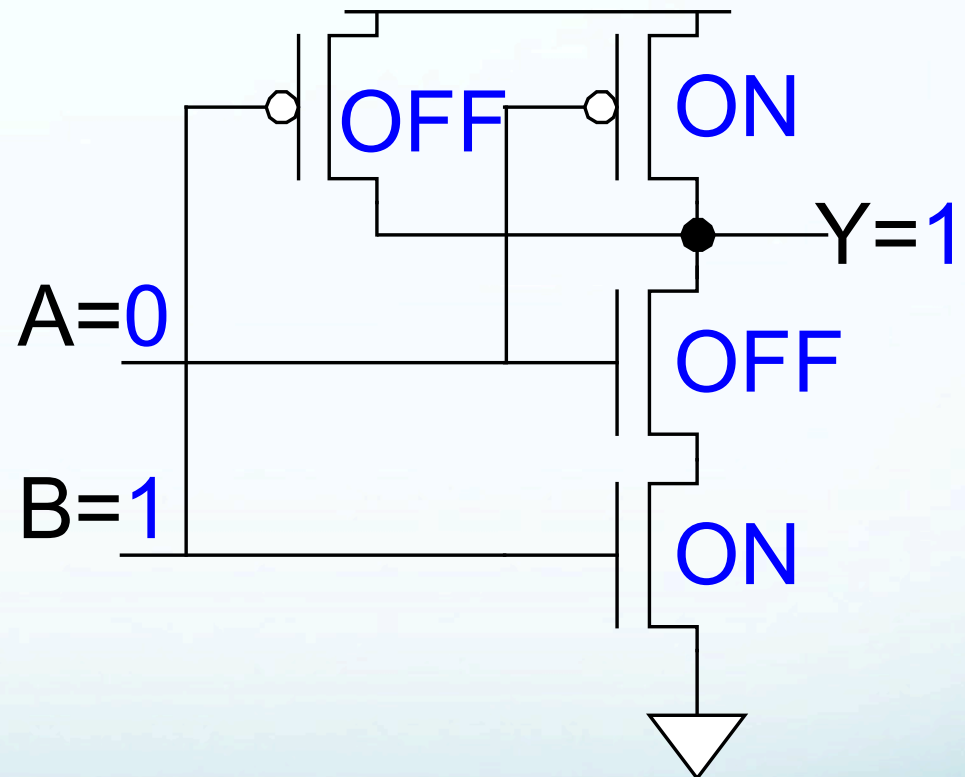
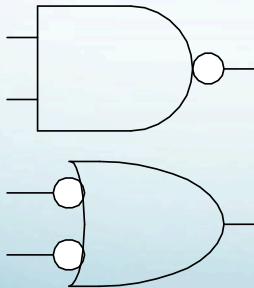
Poarta CMOS NAND

A	B	Y
0	0	1
0	1	
1	0	
1	1	



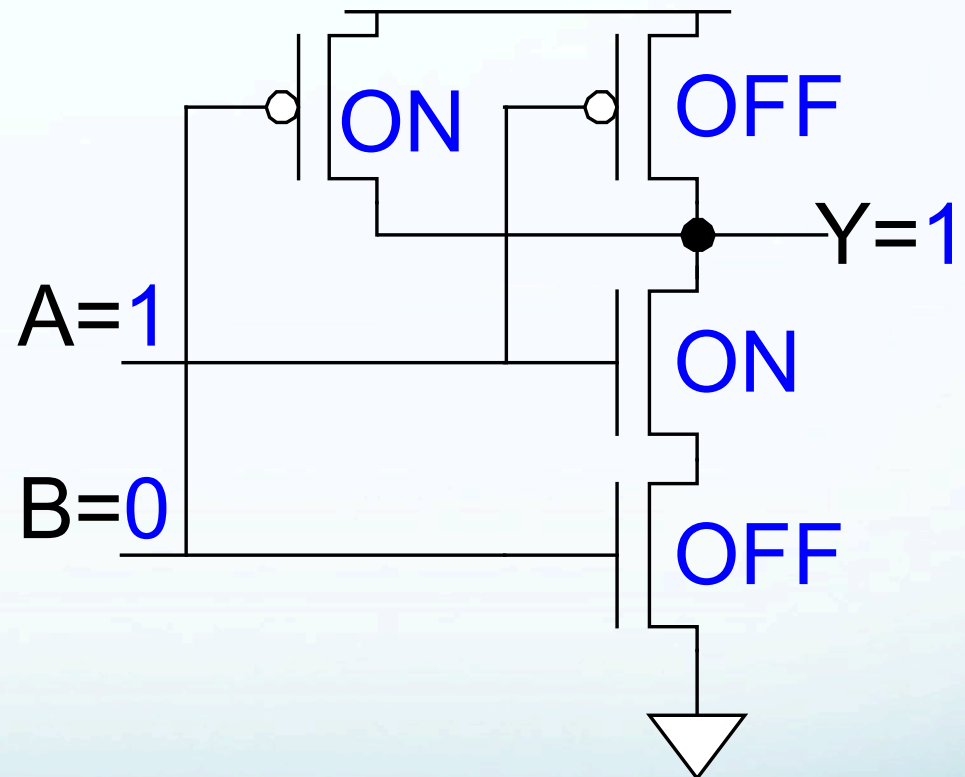
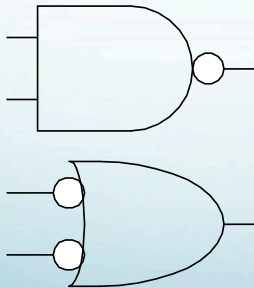
Poarta CMOS NAND

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	
1	1	



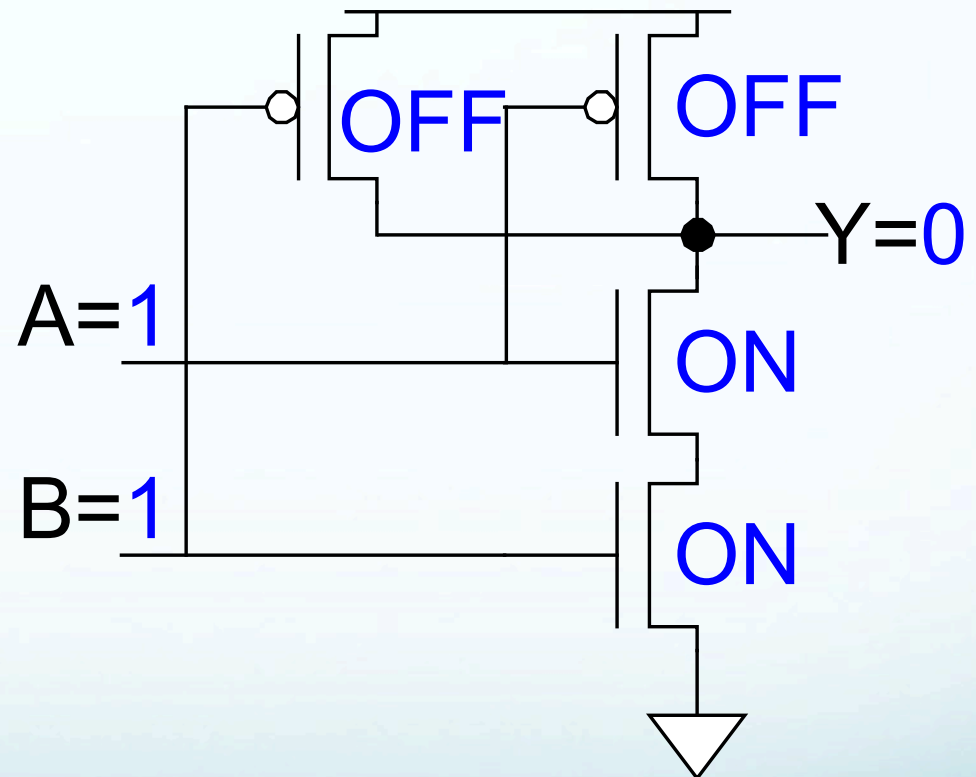
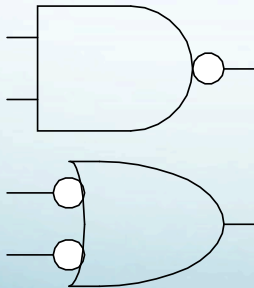
Poarta CMOS NAND

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	



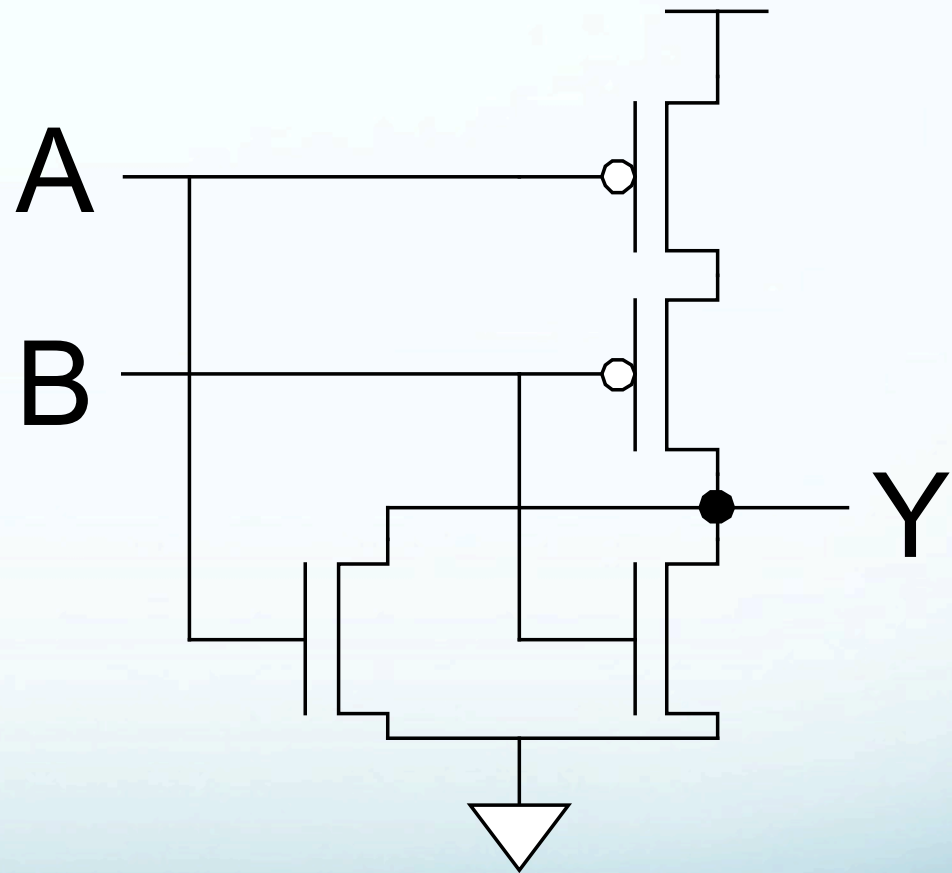
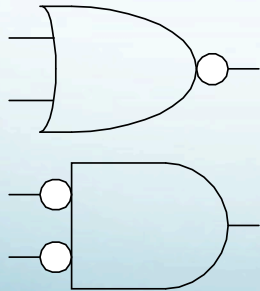
Poarta CMOS NAND

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



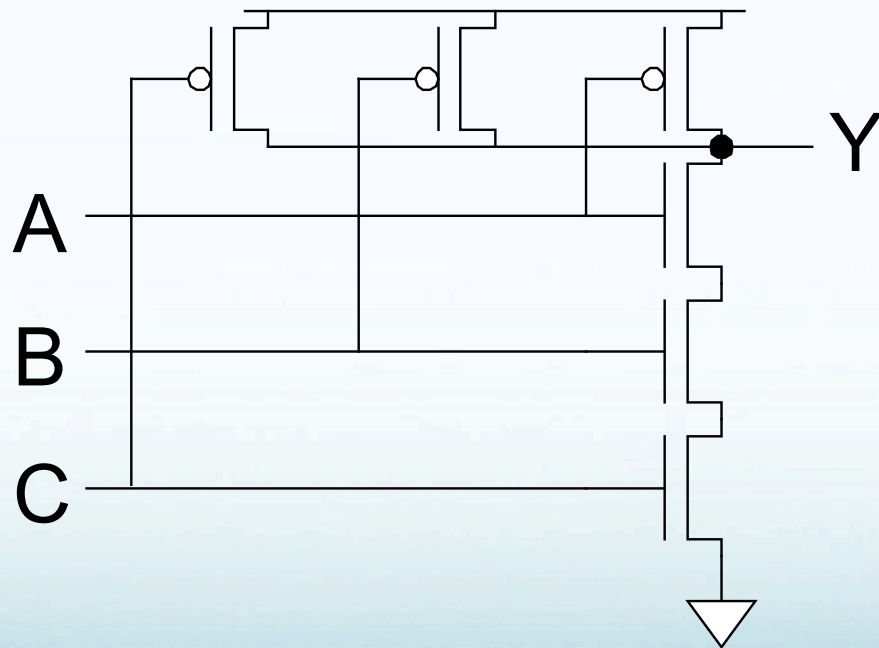
Poarta CMOS NOR

A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



3-input NAND Gate

- $Y = 0$ dacă toate intrările sunt 1
- $Y = 1$ dacă toate intrările sunt 0

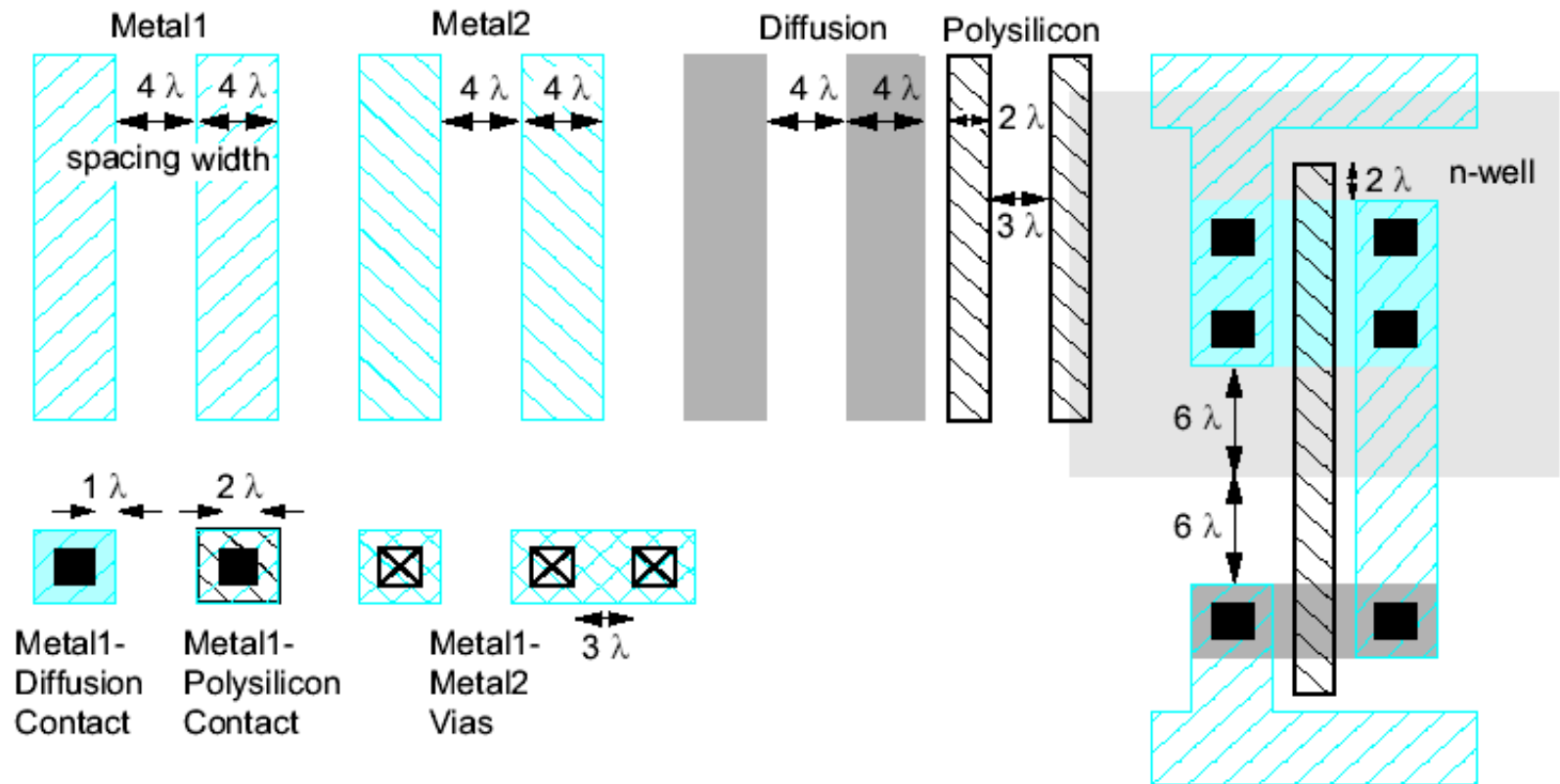


Layout

- Chip-urile sunt specificate printr-un set de măști
- Dimensiunea minimă a măștilor determină mărimea tranzistorului (deci viteza, costul, și puterea)
- Dimensiunea trăsăturii f = distanța dintre drenă și sursă
 - Setată de lățimea minimă a polysilicon
- Dimensiunea trăsăturii crește cu 30% la fiecare 3 ani
- Normalizarea dimensiunii trăsăturii când descriem regulile proiectării
- Regulile se exprimă în termeni de $\lambda = f/2$
 - a.î. $\lambda = 0.3 \mu\text{m} - 0.6 \mu\text{m}$ într-un proces

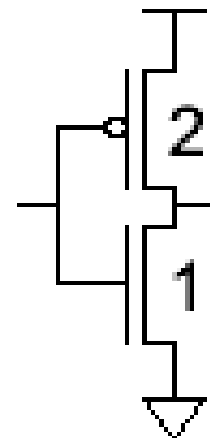
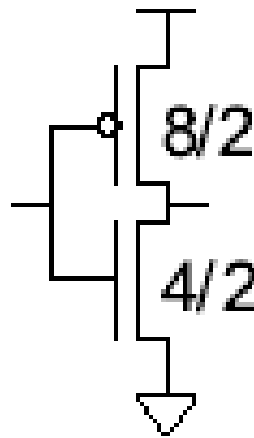
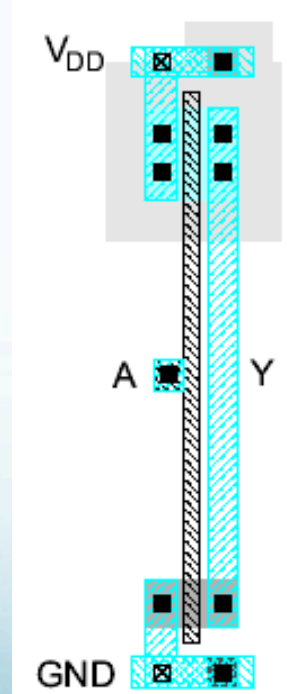
Reguli de proiectare

- Reguli de proiectare elementare



Inversorul

- Dimensiunile tranzistorului sunt specificate ca Lățime/Lungime
 - Dimensiunea minimă $4\lambda / 2\lambda$, uneori denumită unitatea 1
 - Pentru un proces de $0.6\ \mu\text{m}$, $W=1.2\ \mu\text{m}$, $L=0.6\ \mu\text{m}$



Sumar 1

- Tranzistoarele MOS sunt o stivă de porți, oxid, silicon
- Pot fi vizualizate ca switch-uri controlate electric
- Construim porți logice din switch-uri
- Desenăm măștile layout-ului specific din tranzistori