

Curs 4:

Modulul 3
Disiparea puterii

Puterea

- Puterea totală este dată de suma dintre:
 - Disiparea puterii dinamice – P_{dim}
 - Disiparea puterii statice - P_{st}
 - Disiparea puterii de scurt-circuit – P_{sc}
 - *Device parameter* în esență înseamnă aspect ratio, adică $\frac{W}{L}$
 - *Circuit parameter* – capacitanța

Ce urmărim ?

- Ce este disiparea puterii ?
- Ce metode putem aplica ca să reducem puterea disipată fără a compromite performanța circuitului ?

Definiții

Energia	Puterea
Se măsoară în Joules sau Kwh	Se măsoară în Watts sau Kw
Abilitatea unui sistem de a face ceva sau de a produce o schimbare	Cantitatea de energie necesară pentru o unitate de timp dată
Nu există activitate fără energie	Puterea medie – cantitatea de energie consumată pe unitatea de timp. Termenul de putere este uzual folosit
	Puterea instantanee – energia consumată dacă unitatea de timp tinde către 0 ($t \rightarrow 0$)
	Puterea electrică instantanee: $P(t) = v(t) * i(t)$

Energia electrică - $E = P(t) * t = v(t) * i(t) * t$

Cunoaștem că $P = \frac{E}{t} \Rightarrow E = P * t = v(t) * i(t) * t \text{ q.e.d}$

Disiparea puterii

- Energia electrică în circuitele CMOS

$$E = P * delay$$

- Ca să reducem P trebuie să reducem E și delay-ul ($E \downarrow$ și $delay \downarrow = \gg P \downarrow$)
- Problema este că P și delay-ul nu cresc sau scad împreună
- $P \uparrow = \gg delay \uparrow$ prin reducerea frecvenței
- $delay \downarrow = \gg P \downarrow = \gg$ trebuie optimizată energia mai degrabă decât puterea $= \gg$ optimizare individuală pentru P și delay

Disiparea puterii

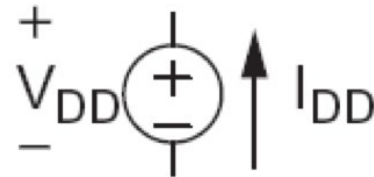
Puterea este condusă de la o sursă de tensiune atașată pinilor V_{DD} ai unui circuit.

Formule utilizate

- Puterea instantanee: $P(t) = i_{DD}(t) * V_{DD}$
- Energia: $E = \int_0^T P(t) dt$
- Puterea medie: $P_{avg} = \frac{E}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt$

Puterea în elemente

$$P_{VDD}(t) = I_{DD}(t)V_{DD}$$



$$P_R(t) = \frac{V_R^2(t)}{R} = I_R^2(t)R$$



$$E_C = \int_0^\infty I(t)V(t)dt = \int_0^\infty C \frac{dV}{dt} V(t)dt$$

=

$$= C \int_0^{V_C} V(t)dV = \frac{1}{2} CV_C^2$$



Încărcarea capacitorului

Când ieșirea porții are un front pozitiv

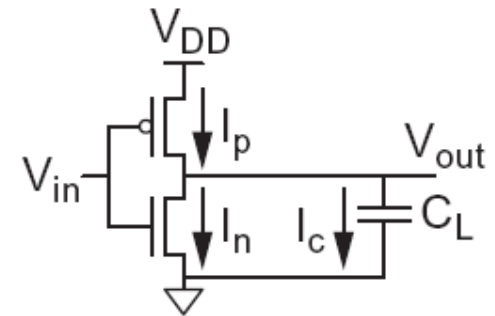
- Energia înmagazinată în capacitor

$$E_C = \frac{1}{2} C_L V_{DD}^2$$

- Dar energia condusă de la sursă este

$$E_{VDD} = \int_0^\infty I(t) V_{DD} dt = \int_0^\infty C_L \frac{dV}{dt} V_{DD} dt = C_L V_{DD} \int_0^{V_{DD}} dV = C_L V_{DD}^2$$

- Jumătate din energia de la V_{DD} este disipată în tranzistorul pMOS ca și căldură, cealaltă jumătate este memorată



Când ieșirea porții are front coborâtor

- Energia din capacitor este transmisă la GND
- Disipare ca și căldură în tranzistorul nMOS

Factorul de activitate

Presupunem frecvența ceasului sistemului = f

$$\text{Fie } f_{sw} = \alpha * f = f_{0 \rightarrow 1} = P_{0 \rightarrow 1} * f$$

unde:

- α = factor de activitate;
- $P_{0 \rightarrow 1}$ este probabilitatea de comutare din 0 în 1 a ieșirii și există tabele speciale

Exp: Dacă presupunem că avem 10 ciclii de ceas și un semnal care comută de 4 ori din 0 în 1 atunci $\alpha = \frac{4}{10}$

Puterea dinamică:

$$P_{\text{switching}} = \alpha C V_{DD}^2 f$$

Probabilitatea de comutare

Poarta	P_Y
AND 2	$P_A P_B$
AND 3	$P_A P_B P_C$
OR 2	$1 - \bar{P}_A \times \bar{P}_B$
NAND 2	$1 - P_A \times P_B$
NOR 2	$\bar{P}_A \times \bar{P}_B$
XOR 2	$P_A \times \bar{P}_B + \bar{P}_A \times P_B$

Estimarea factorului activitate

- Dacă semnalul este un ceas $\alpha = 1$
- Dacă semnalul comută odată/ciclu $\alpha = \frac{1}{2}$
- Pentru porțile dinamice care comută de 0 sau 2 ori / ciclu $\alpha = \frac{1}{2}$
- Datele propagate prin ANDs și ORs (sau porți statice) au un factor de activitate mic
Depinde de proiectare, dar tipic $\alpha \approx 0.1$
- $\alpha = 0.1$ vom avea aprox. 90% reducere în P_{sw} fără a altera frecvența \Rightarrow performanța circuitului nu se va diminua.

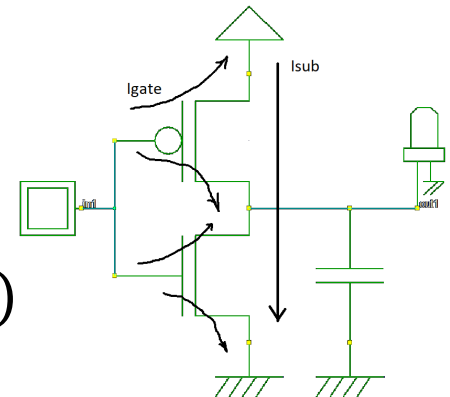
Puterea disipată în scurt circuit

Când tranzistoarele comută, rețelele nMOS și pMOS pot fi momentan ON la același moment de timp ($V_{in} = \frac{V_{DD}}{2}$)

Apare curentul de “scurt circuit”.

$$P_{sc} = V_{DD} * I_{sc} * (P_{0 \rightarrow 1} + P_{1 \rightarrow 0})$$

$$P_{leak} = I_{leak} * V_{DD} \cong V_{DD}(I_{sub} + I_{gate})$$



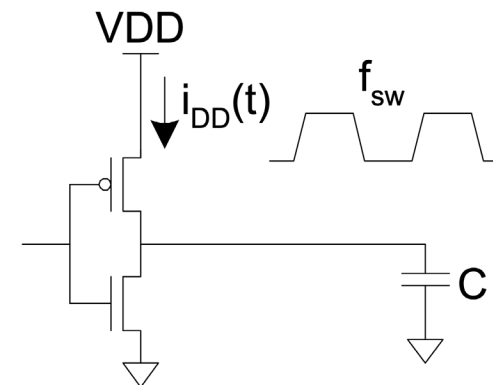
Ecuatia puterii în CMOS

$$P = \alpha f C_L V_{DD}^2 + V_{DD} * I_{peak} (P_{0 \rightarrow 1} + P_{1 \rightarrow 0}) + V_{DD} * I_{peak}$$

- Observăm că dacă frecvența crește va crește și puterea dinamică
- V_{DD} crescut progresiv \Rightarrow descreșterea quadratică a puterii dinamice
- **Puterea dinamică**
- Este necesară când încărcăm/descărcăm capacitatea în condiții de comutare a circuitului
- Un ciclu implică ieșirea 0 sau 1
- Pe frontul crescător al ieșirii sarcina $Q = C * V_{DD}$ este necesară
- Pe frontul descrescător sarcina se duce la GND
- Acestea se repetă de $T f_{sw}$ ori într-un interval T

Puterea de comutare – Puterea dinamică consumată

$$P_{dinam} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{DD}(t) V_{DD} dt = \frac{V_{DD}}{T} \int_0^T i_{DD}(t) dt =$$
$$= \frac{V_{DD}}{T} [T f_{sw} C V_{DD}] = C V_{DD}^2 f_{sw}$$



Reducerea puterii dinamice

$$P_{comutatie} = \alpha C V_{DD}^2 f$$

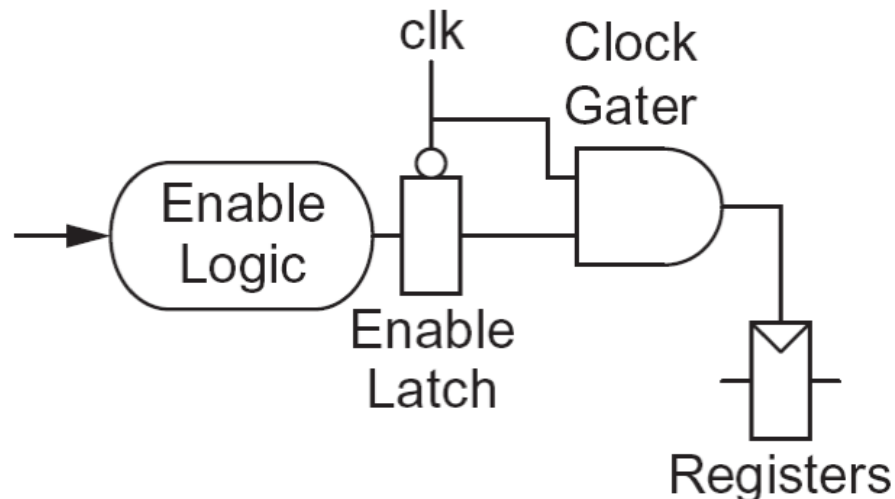
Încercăm să minimizăm:

1. Factorul de activitate
2. Capacitanța
3. Tensiunea de alimentare
4. Frecvența

Poarta ceas

Cea mai bună metodă de reducere a activității este oprirea ceasului registrelor din blocurile nefolosite

- Activitatea ceasului salvată ($\alpha = 1$)
- Eliminăm toate activitățile de comutare în bloc
- Este necesar să determinăm dacă blocul va fi utilizat



Puterea statică

Puterea statică este consumată chiar când chip-ul este inactiv.

Circuite ratio – acele circuite în care $\frac{W}{L}$ a rețelei trage-sus și a rețelei trage jos determină funcționarea circuitului

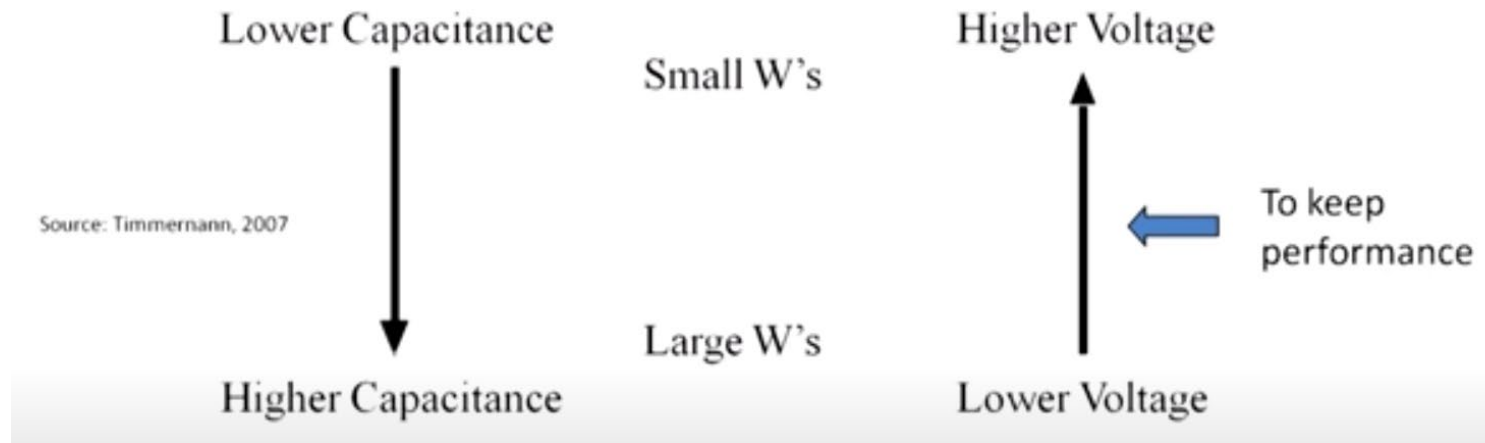
Pentru a o reduce:

- Utilizarea selectivă de circuite ratio
- Utilizarea selectivă de dispozitive cu V_t mică
- Reducerea scurgerilor – dispozitive tip stivă, temperatură scăzută

Efectele reducerii puterii dinamice

- Reducerea drastică a lui V_{DD} are un efect quadratic. Are un efect negativ asupra performanței în special când V_{DD} se apropie de $2V_T$
- Reducerea lui C_L
 - Îmbunătățește performanța
 - Menține tranzistorii la o dimensiune minimă
- Reducerea activității de comutare $f_{0 \rightarrow 1} = P_{0 \rightarrow 1} * f$
 - Funcția de clock rate
 - Impactată de decizii de proiectare ale arhitecturii și logicii

Dimensionarea tranzistorului pentru minimizarea puterii



- Creșterea lui W \Rightarrow creșterea lui C_L
- V_{DD} nu trebuie să scadă sub o anumită valoare pentru a menține performanța