



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Departament d'Arquitectura de Computadors

Tema 1

Introducció

Estructura de Computadors (EC)

2023 - 2024 Q2

Adrià Armejach (adria.armejach@upc.edu)





Mesura del rendimento



Rendiment

Com sabem si un computador A ofereix millor rendiment que un computador B?

Rendiment

- Temps d'execució (o de resposta)
 - Temps transcorregut entre l'inici i el final d'una tasca
 - El rendiment és l'invers d'aquest temps
- Productivitat (throughput)
 - Nombre de tasques completades per unitat de temps
 - Rendiment en servidors web, bases de dades, ...

Exemple rendiment

- Un computador A té 1 CPU que tarda 10 ms en completar una tasca. B té 200 CPUs que tarden cada una 20 ms en completar la mateixa tasca. Quin té més rendiment?
 - A té menor temps d'execució
 - B té major productivitat

Relació entre temps d'execució i productivitat

- A menor temps d'execució, més productivitat
- Augmentar la productivitat pot disminuir el temps d'execució, però només en cas de congestió, ja que es redueix el temps d'espera a les cues

Temps d'execució

- Temps de CPU + Temps d'espera d'E/S + Temps d'espera mentre s'executen altres tasques (encuat)
- A EC només tindrem en compte el **temps de CPU**
- **Rendiment** = $1 / t_{\text{exe}}$

Speed-up

- Guany de rendiment o speed-up
 - Quantes vegades més ràpid s'executa una tasca després d'introduir una millora en el programa o en l'arquitectura
 - $\text{Speed-up} = \text{Rendiment}_{\text{millorat}} / \text{Rendiment}_{\text{original}} = t_{\text{original}} / t_{\text{millorat}}$
 - Exemple:
 - $T_{\text{original}} = 10\text{s}$
 - $T_{\text{millorat}} = 5\text{s}$
 - $\text{Speed-up} = 10 / 5 = 2$ (vegades més ràpid)

Factors que influeixen en el temps d'execució

- $t_{\text{exe}} = n_{\text{cicles}} \times t_c = n_{\text{cicles}} / f_{\text{clock}}$
 - n_{cicles} : número de cicles de rellotge que tarda l'execució
 - t_c : temps de cicle (període)
 - f_{clock} : freqüència del rellotge
- Dos maneres de reduir el temps d'execució
 - Reduir el número de cicles
 - Augmentar la freqüència del rellotge

Reduir n_{cicles}

- $n_{\text{cicles}} = n_{\text{ins}} \times \text{CPI}$
1. Executar un menor número d'instruccions (n_{ins})
 2. Reduir el número de cicles per instrucció (CPI)
 - CPI és el promig de cicles per instrucció de tot el programa

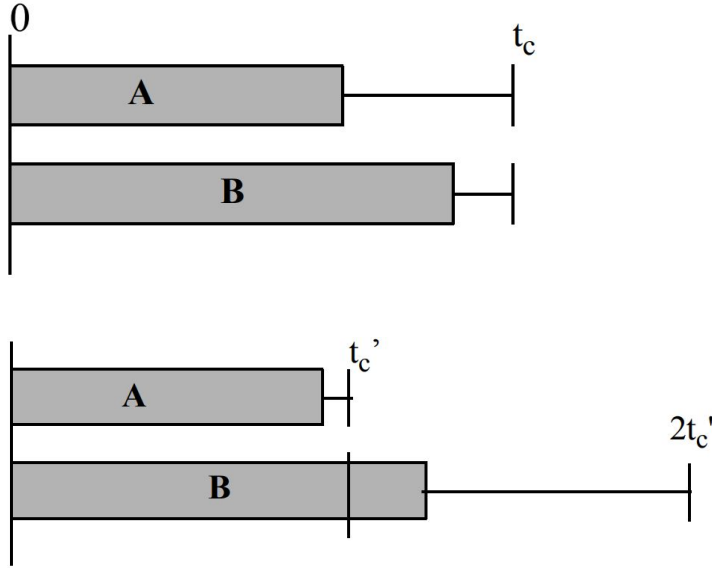
Reduir n_{cicles}

- $n_{\text{cicles}} = n_{\text{ins}} \times \text{CPI}$
- Per reduir n_{ins} s'ha de millorar el compilador
- El CPI depend del retard de cada tipus d'instrucció i del número d'instruccions de cada tipus
 - $\text{CPI} = (n_1 \times \text{CPI}_1 + n_2 \times \text{CPI}_2 + \dots + n_m \times \text{CPI}_m) / n_{\text{ins}}$
 - Per reduir el CPI:
 - Millorar el disseny de la microarquitectura
 - Substituir instruccions costoses per instruccions simples (mult per sll)
- $t_{\text{exe}} = n_{\text{ins}} \times \text{CPI} \times t_c$
- $t_{\text{exe}} = (n_1 \times \text{CPI}_1 + n_2 \times \text{CPI}_2 + \dots + n_m \times \text{CPI}_m) \times t_c$

Exemple

- Volem comparar dues versions d'un programa en un mateix computador, que disposa de 3 tipus d'instruccions A, B i C, amb CPI de 1, 2 i 3 respectivament. El programa 1 consta de: 2 instruccions d'A, 1 de B i 2 de C. El programa 2 consta de: 4 instruccions d'A, 1 de B i 1 de C.
 - Quin és més ràpid?
 - Quins són els CPI promig de les dos versions?

Augmentar la freqüència de rellotge (reduir el temps de cicle)



- Es redueix la latència per les instruccions de tipus A
- Les instruccions de tipus B passen a requerir 2 cicles
- El benefici depèn del número d'instruccions de tipus A i B
- No sempre millora el rendiment

Exemple

- El processador A té $t_{cA} = 500\text{ps}$ i $\text{CPI}_A = 2$. Suposem que el redissenem per tal que usi un temps de cicle menor: el nou processador B té $t_{cB} = 250\text{ps}$. Però això comporta augmentar el nombre de cicles del programa de test, és a dir que augmenta el CPI promig: $\text{CPI}_B = 3$
 - Serà més ràpid el nou disseny?

Exemple

- Suposem un computador A, amb $f_A = 2\text{GHz}$, que executa un programa en $t_{\text{exe}} = 10\text{s}$. Amb certes millores al circuit, s'executa en 6s, però augmenta el número de cicles en un factor 1,2.
 - Quina freqüència de rellotge té el nou disseny?



Llei d'Amdahl



Llei d'Amdahl

- “El màxim guany (speed-up) que es pot aconseguir minimitzant el retard d’una part està limitat per la fracció de temps que representa aquesta part sobre el temps total”
- Speed-up total al millorar una part P en un factor S :
$$S_t = \frac{1}{(1 - P) + \frac{P}{S}}$$
- Màxim speed-up possible al millorar una part P :
$$S_{max} = \frac{1}{1 - P}$$
- Si millorem una part del programa que abarca un 80% del temps:
 - Quin és el guany màxim que podem tenir?



Mesures de dissipació de potència

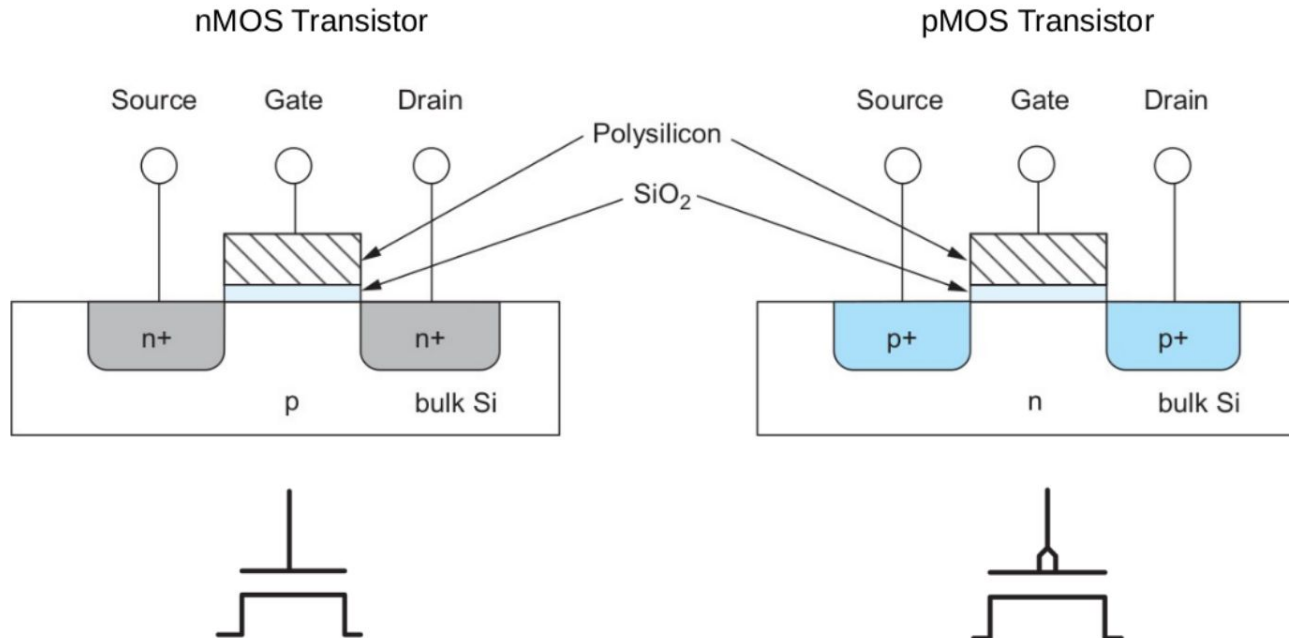


“Llei” de Moore

- “La densitat de transistors en un chip es duplica cada 2 anys”
 - Gordon Moore, cofundador de Intel, 1965

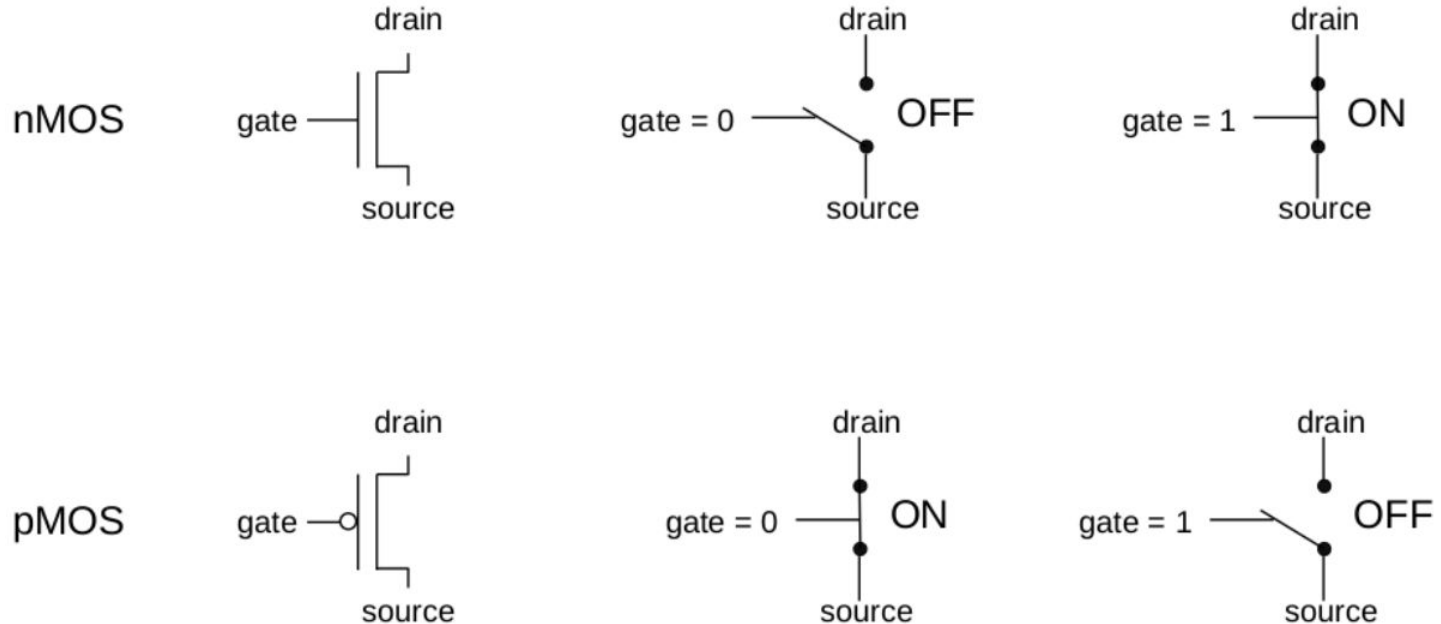
Transistors de la familia CMOS: nMOS i pMOS

- Complementary Metal–Oxide–Semiconductor



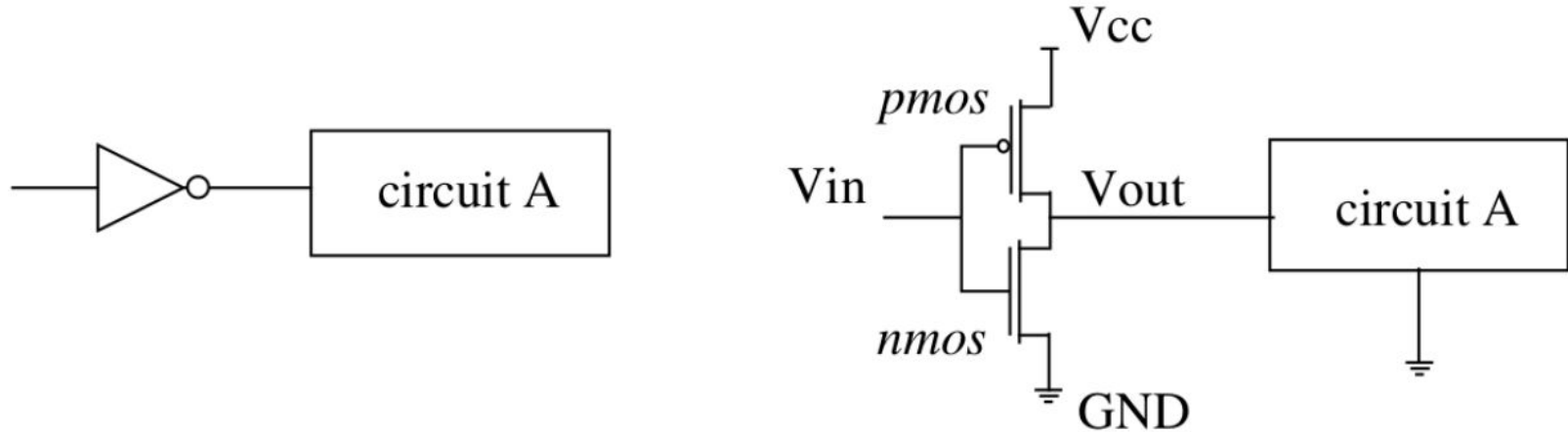
Transistors nMOS i pMOS

- MOS: Metal-Oxide-Semiconductor



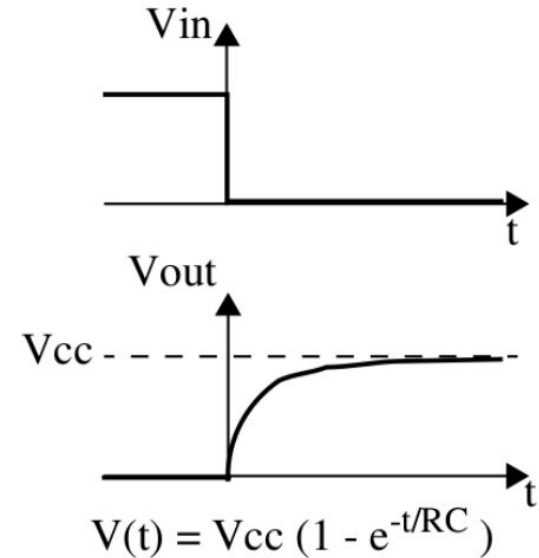
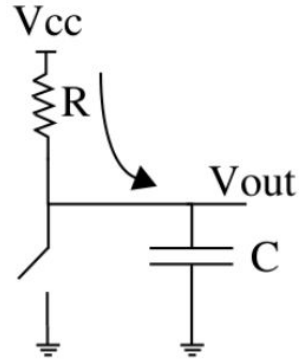
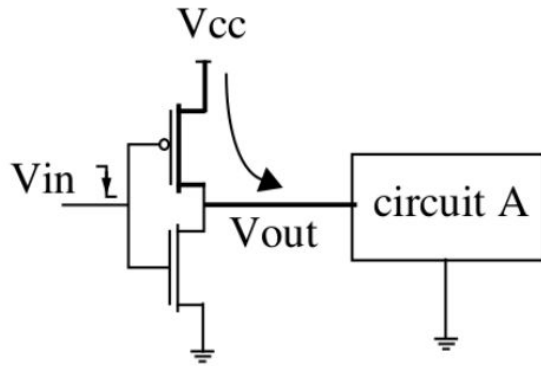
Tecnología CMOS

- Complementary Metal–Oxide–Semiconductor



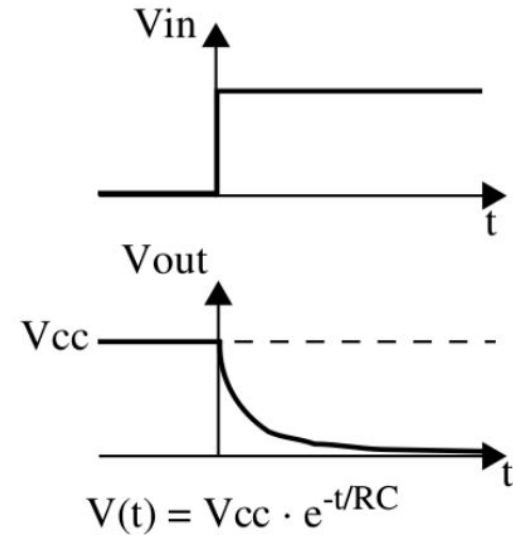
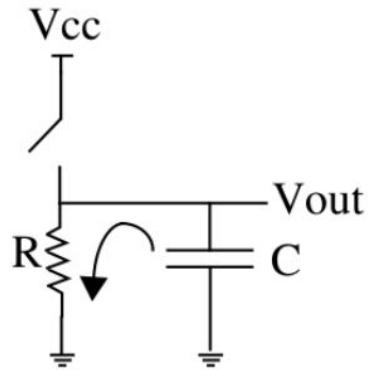
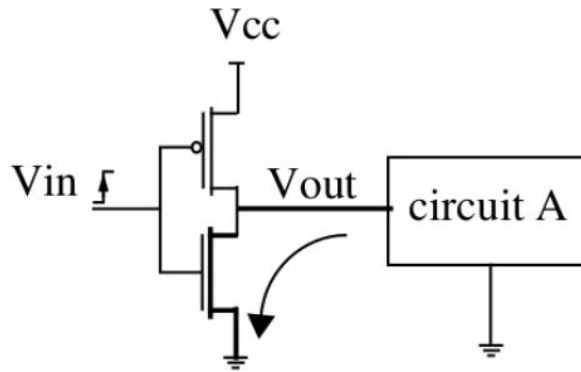
Tecnologia CMOS - Càrrega

- Complementary Metal–Oxide–Semiconductor



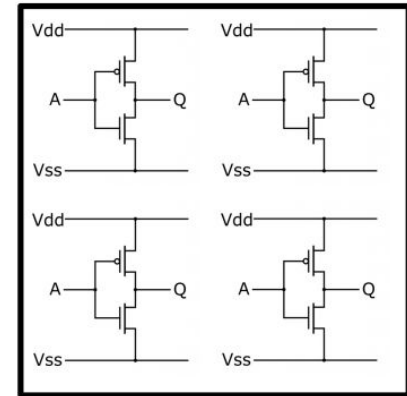
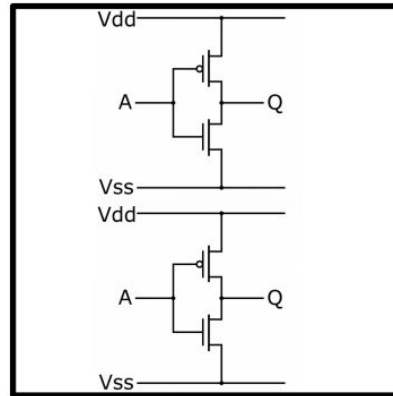
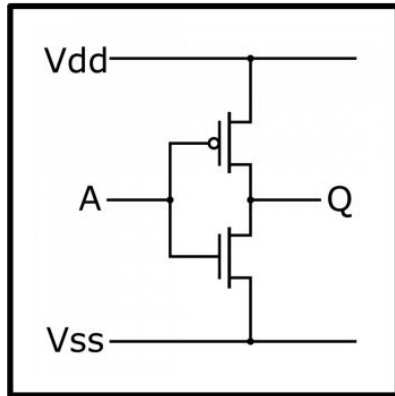
Tecnología CMOS - Descàrrega

- Complementary Metal–Oxide–Semiconductor



“Llei” de Moore

- “La densitat de transistors en un chip es duplica cada 2 anys”
 - Gordon Moore, cofundador de Intel, 1965



Our World
in Data

in Data

100

MD Eng Rome

e and Max Roser.

e and Max Roser.

Conseqüències de la “lleï” de Moore

- Transistors més petits
- Reducció del temps de commutació dels transistors
- Ha permès augmentar la freqüència de rellotge (f)
- Major dissipació i consum energètic

Potència dinàmica

- Consum d'energia produït pels corrents de càrrega i descàrrega dels transistors (commutació) per unitat de temps
 - P: Potència dinàmica (Watts)
 - α : Factor d'activitat - fracció de transistors que commuten per cicle
 - C: Capacitancia (Farads)
 - V: Voltatge (Volts)
 - f_{clk} : Freqüència de rellotge

$$P_{\text{dinàmica}} = \alpha \cdot C \cdot V^2 \cdot f_{clk}$$

Potència estàtica

- Consum d'energia produït per corrents de fuga en els transistors en circuit-obert
 - I_{leak} : corrent de fuga que circula per transistors en circuit obert

$$P_{\text{estatica}} = I_{\text{leak}} \cdot V$$

Potència total i energia dissipada

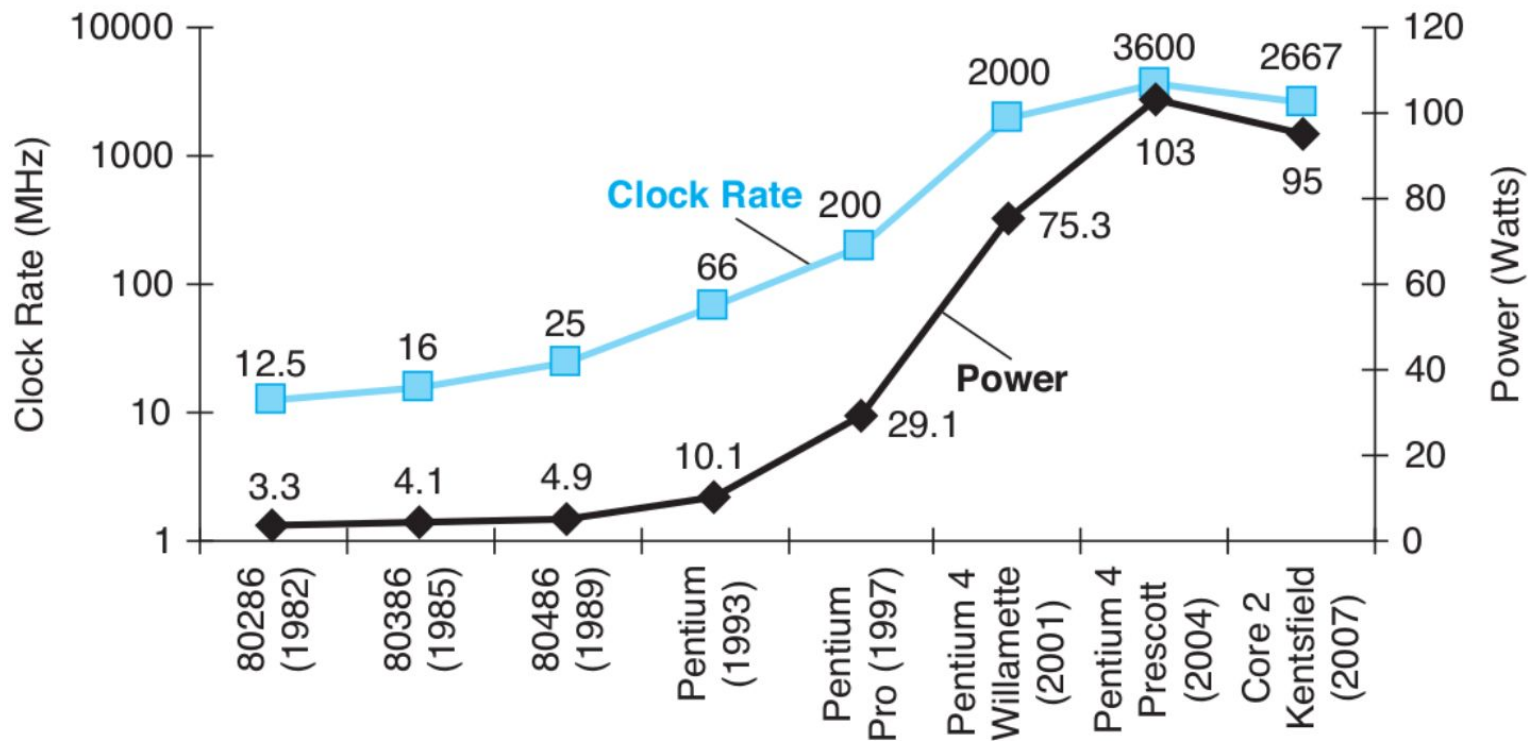
- Potència total: $P = P_{\text{dinàmica}} + P_{\text{estàtica}}$

$$P_{\text{total}} = \alpha \cdot C \cdot V^2 \cdot f_{\text{clk}} + I_{\text{leak}} \cdot V$$

- Energia dissipada en un temps t , en Joules:

$$E = t \cdot P$$

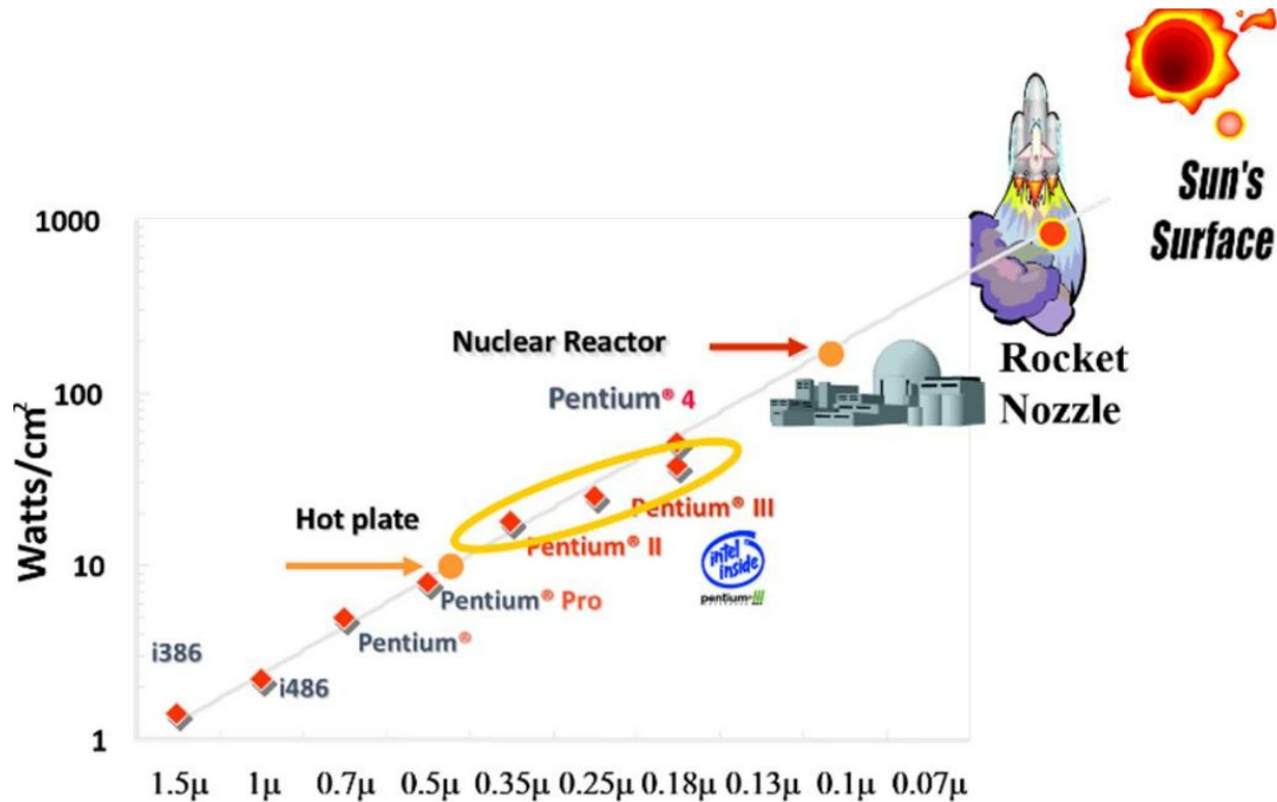
Frecuencia vs. potència



Potència, Energia i Temperatura

- L'energia consumida en converteix en calor
 - Sistema de refrigeració per evitar excés de temperatura
 - Thermal Design Power (TDP)
- Dispositius mòbils
 - Alimentats per bateries
 - Espai reduït per el sistema de refrigeració
- Hem arribat a un punt on la potència no es pot dissipar
 - La freqüència de rellotge maxima s'ha estancat

Power Density



Tècniques de reducció de consum

- Clock gating
 - Permet reduir α
 - Inhabilitar selectivament certs circuits
- Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS)
 - Permet reduir temporalment voltatge i freqüència
 - Més lent pero consumeix molt menys
- Power gating
 - Talla temporalment l'alimentació de certs circuits

Essentials

[Export specifications](#)

Product Collection	11th Generation Intel® Core™ i7 Processors
Code Name	Products formerly Rocket Lake
Vertical Segment	Desktop
Processor Number ?	i7-11700K
Status	Launched
Launch Date ?	Q1'21
Lithography ?	14 nm
Use Conditions ?	PC/Client/Tablet
Recommended Customer Price ?	\$399.00 - \$409.00

CPU Specifications

Total Cores ?	8
Total Threads ?	16
Max Turbo Frequency ?	5.00 GHz
Intel® Turbo Boost Max Technology 3.0 Frequency [†] ?	5.00 GHz
Intel® Turbo Boost Technology 2.0 Frequency [‡] ?	4.90 GHz
Processor Base Frequency ?	3.60 GHz
Cache ?	16 MB Intel® Smart Cache
Bus Speed ?	8 GT/s
TDP ?	125 W