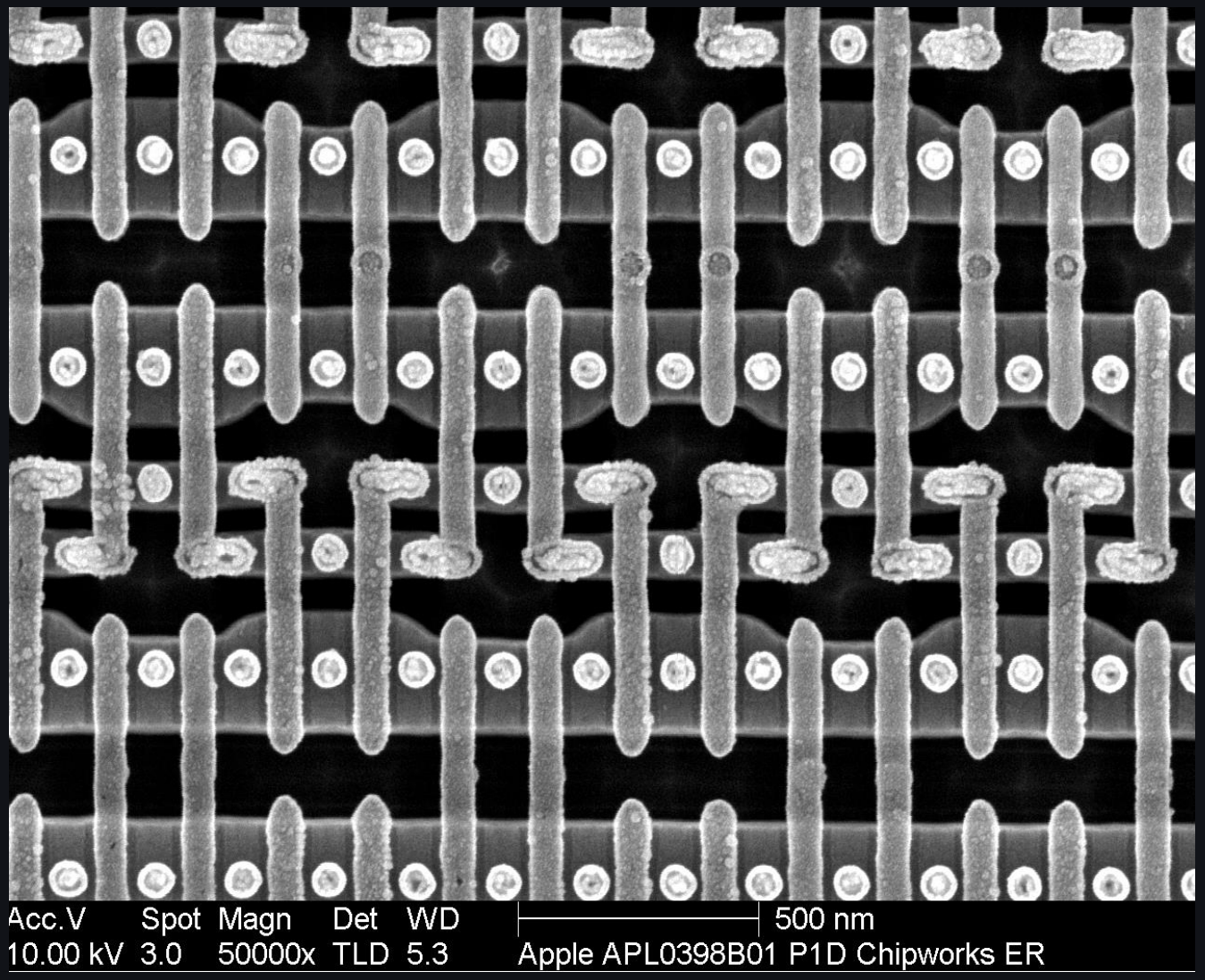
Bryteren uten finger

Kapittel 6 · Transistor, strøm og spenning



Alle lysark er laget av GPT bildegenerator

Telefonen din blir varm.



Ingenting beveger seg i prosessoren.
Hva er det da som blir varmt?



1

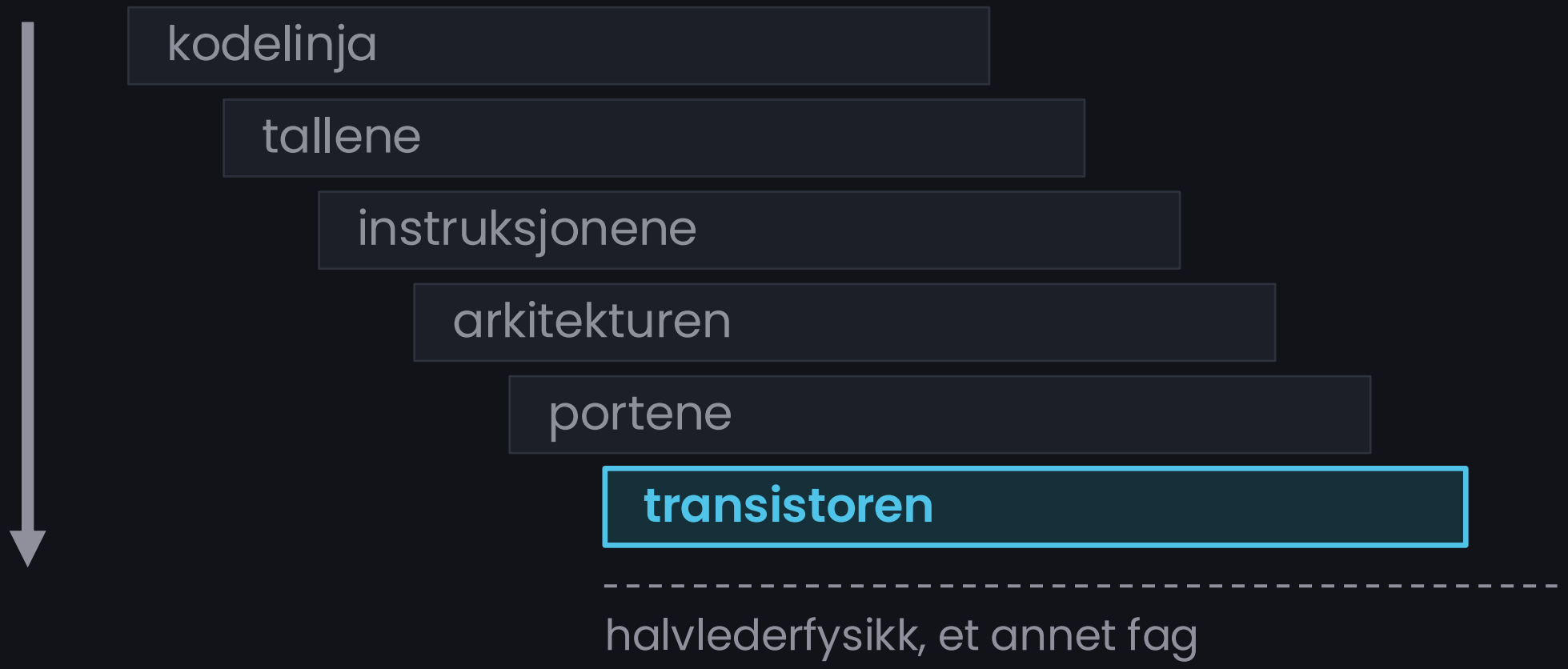
Hvorfor blir maskinen varm, når ingenting beveger seg?

2

Hvorfor sluttet prosessorene å bli raskere rundt 2004?

3

Hvorfor åtte kjerner, og ikke én som er åtte ganger så rask?



Her er bunnen. Herfra går veien opp igjen.

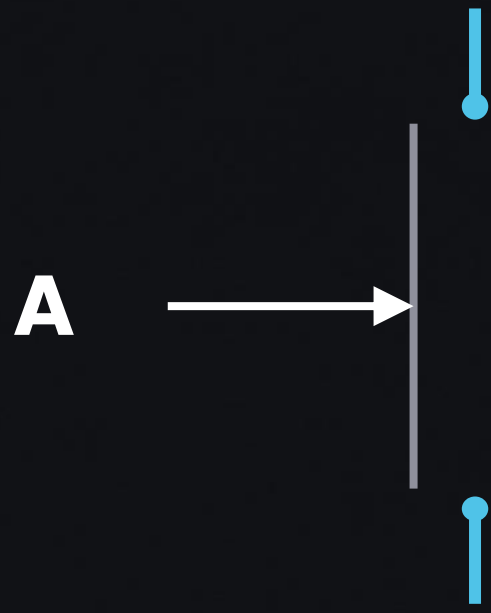


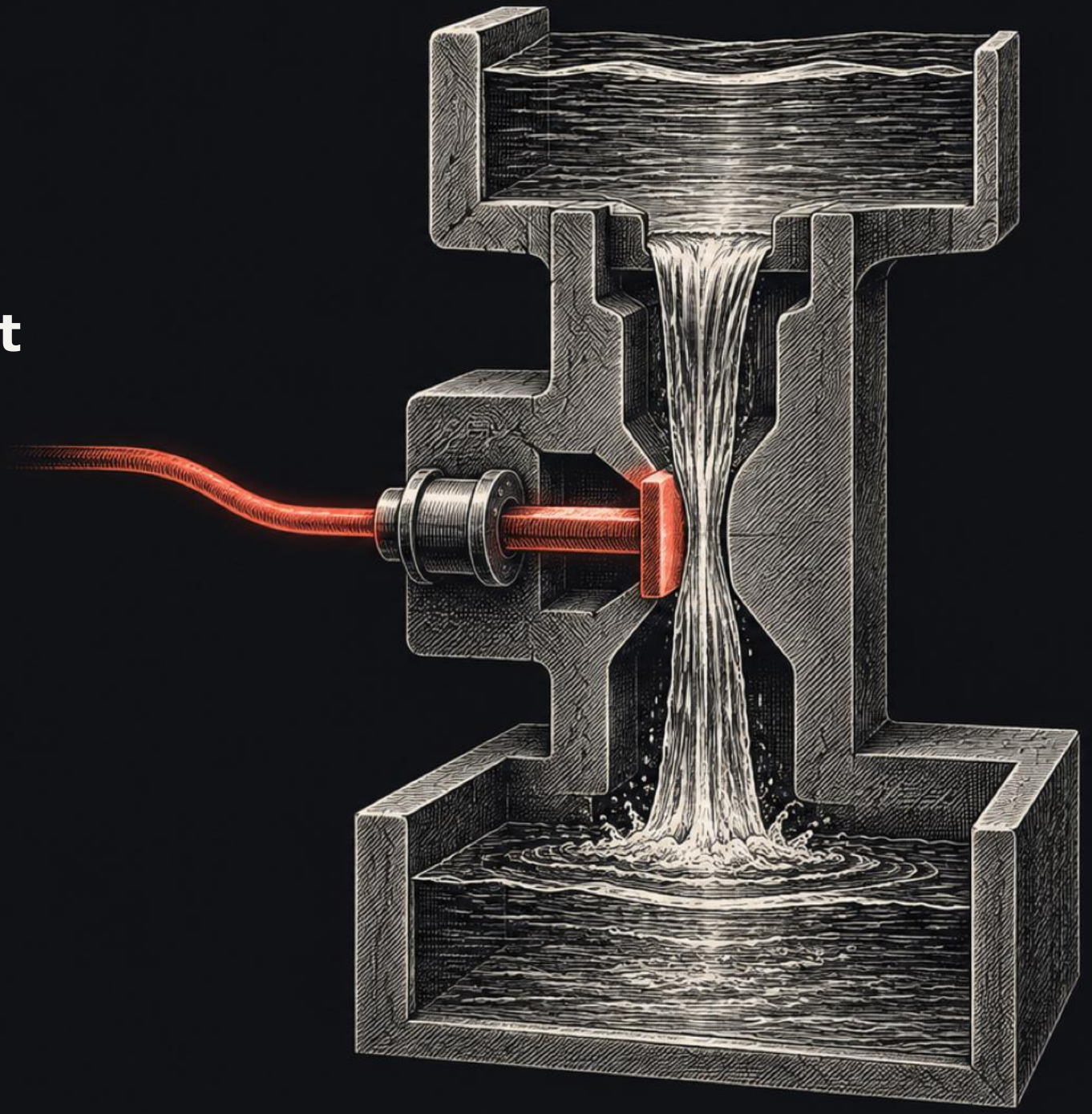
Portene finnes ikke. De er tegninger.

Transistoren

En bryter som styres av et elektrisk signal i stedet for av en finger

Styringen velger om strøm får gå mellom de to andre tilkoblingene.



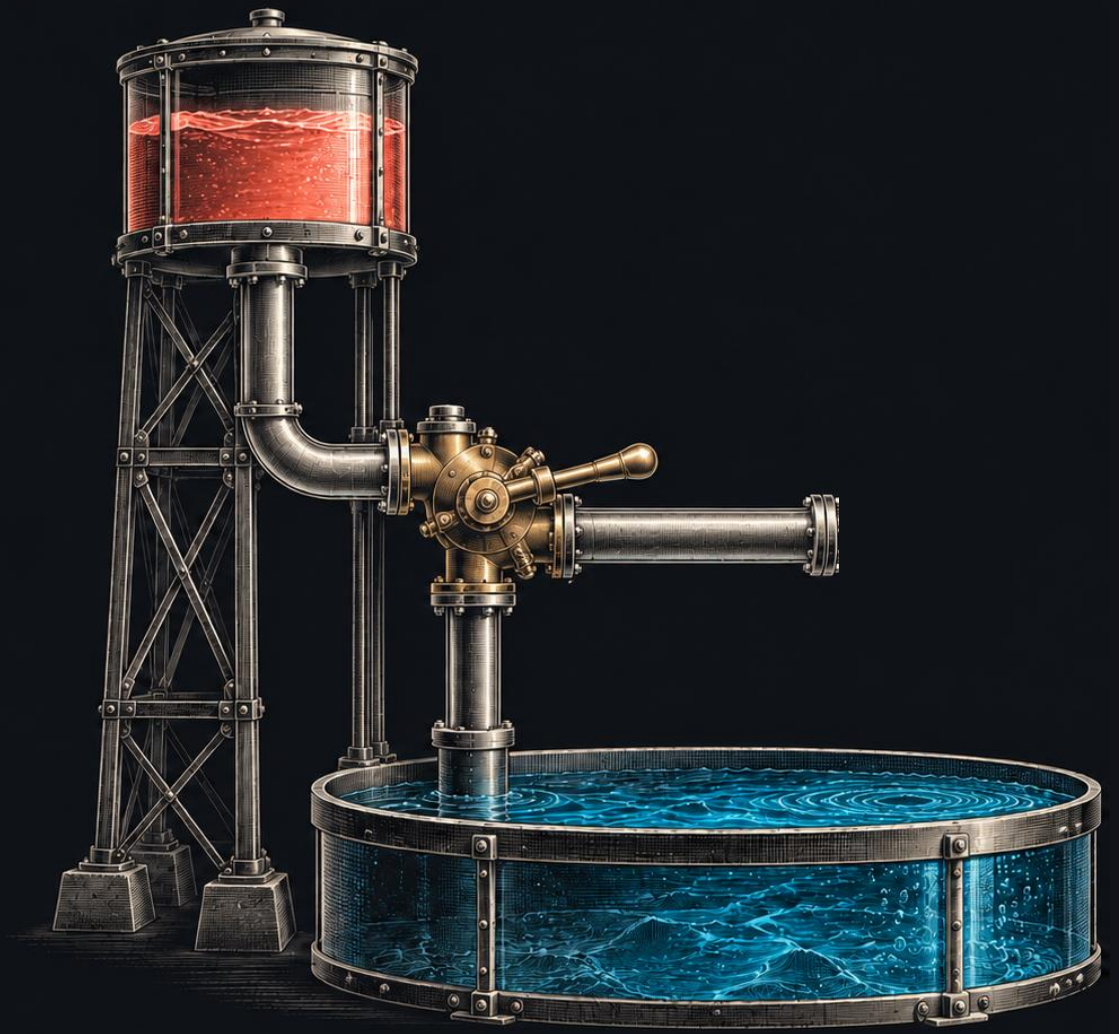


Spenning, strøm og jord

Spenning er fallhøyde. Strøm er det som faktisk renner.

En port kobler utgangen enten opp mot VDD eller ned mot GND.

Et bit er en fysisk tilstand som må holdes oppe av forsyningen.

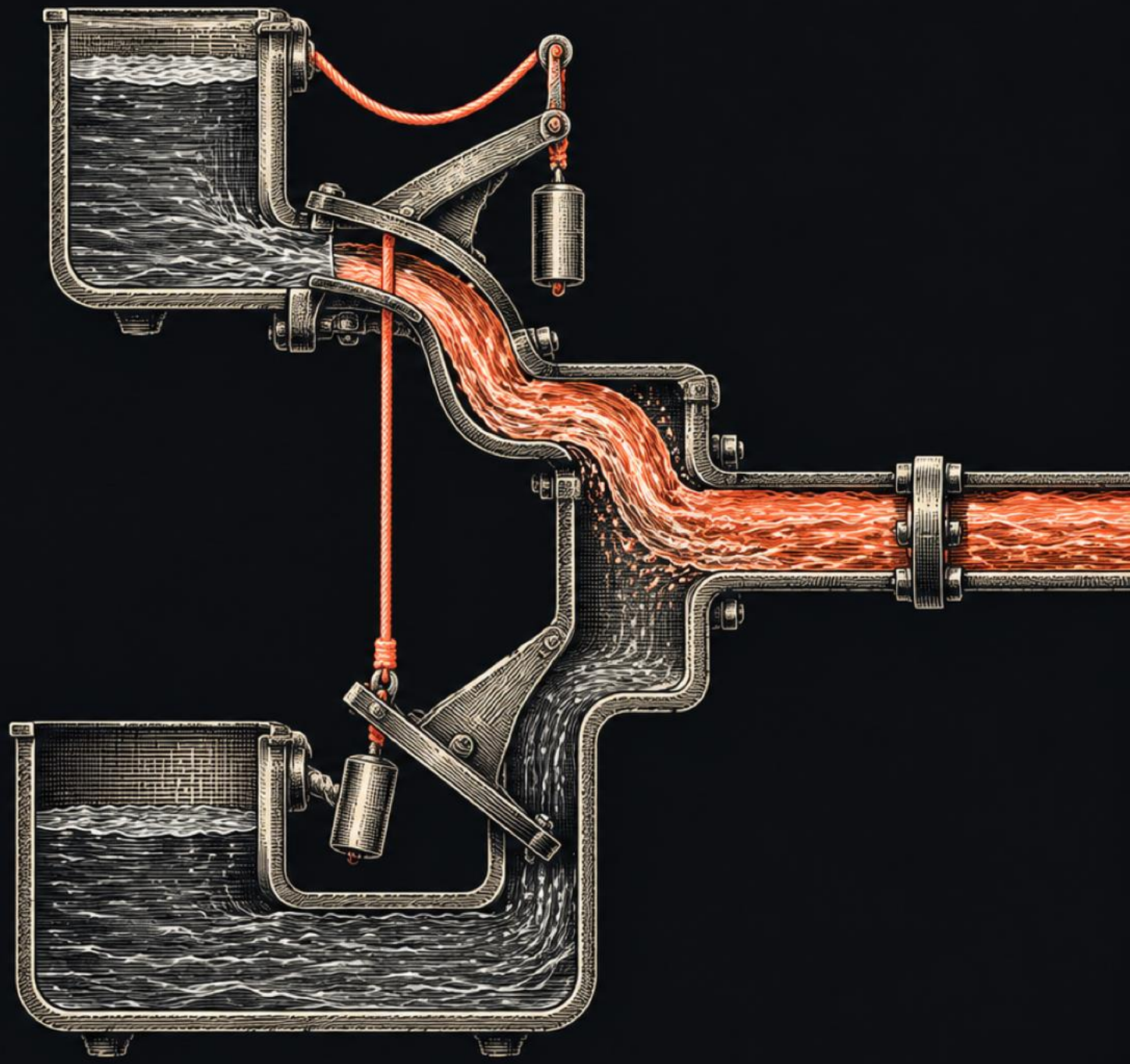


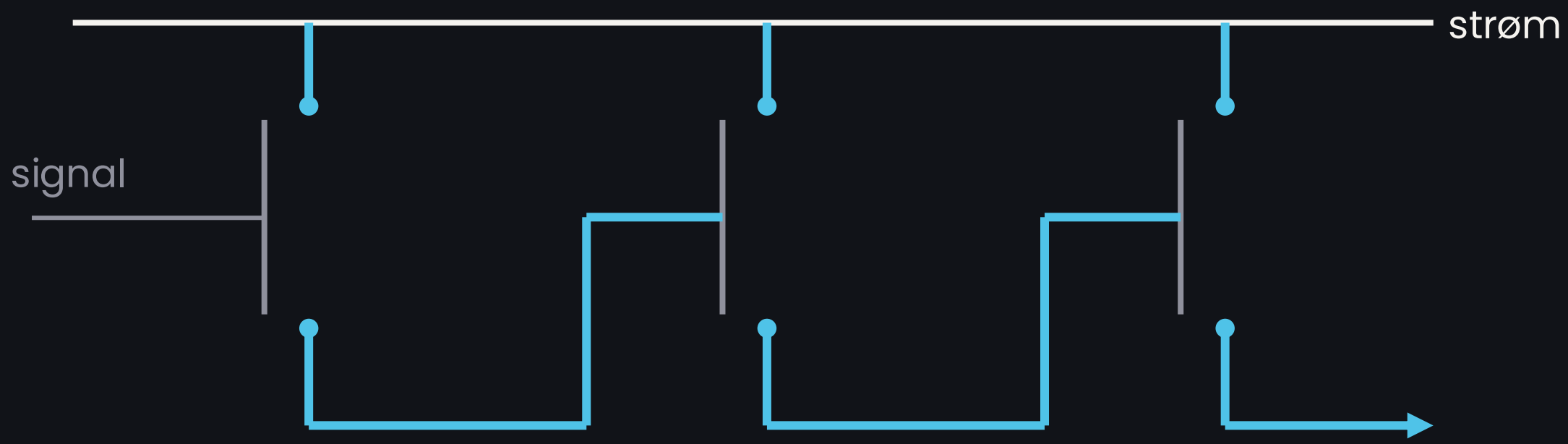
Inverteren

To transistorer velger én av to veier

A = 0 åpner veien mot VDD
A = 1 åpner veien mot GND

Inngangen bærer ikke verdien videre. Den velger bare veien.





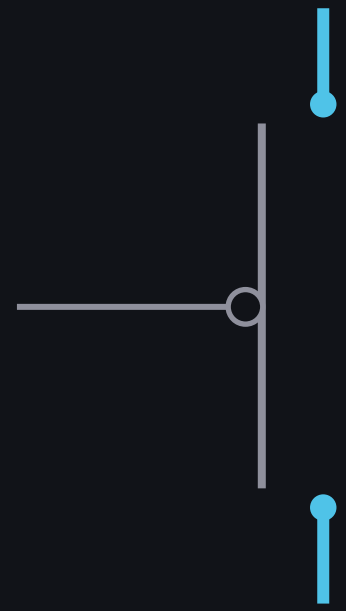
Utgangen fra én bryter styrer den neste.

Ingen trenger å stå der og trykke.



nMOS

leder når styringen er 1



pMOS

leder når styringen er 0



nMOS

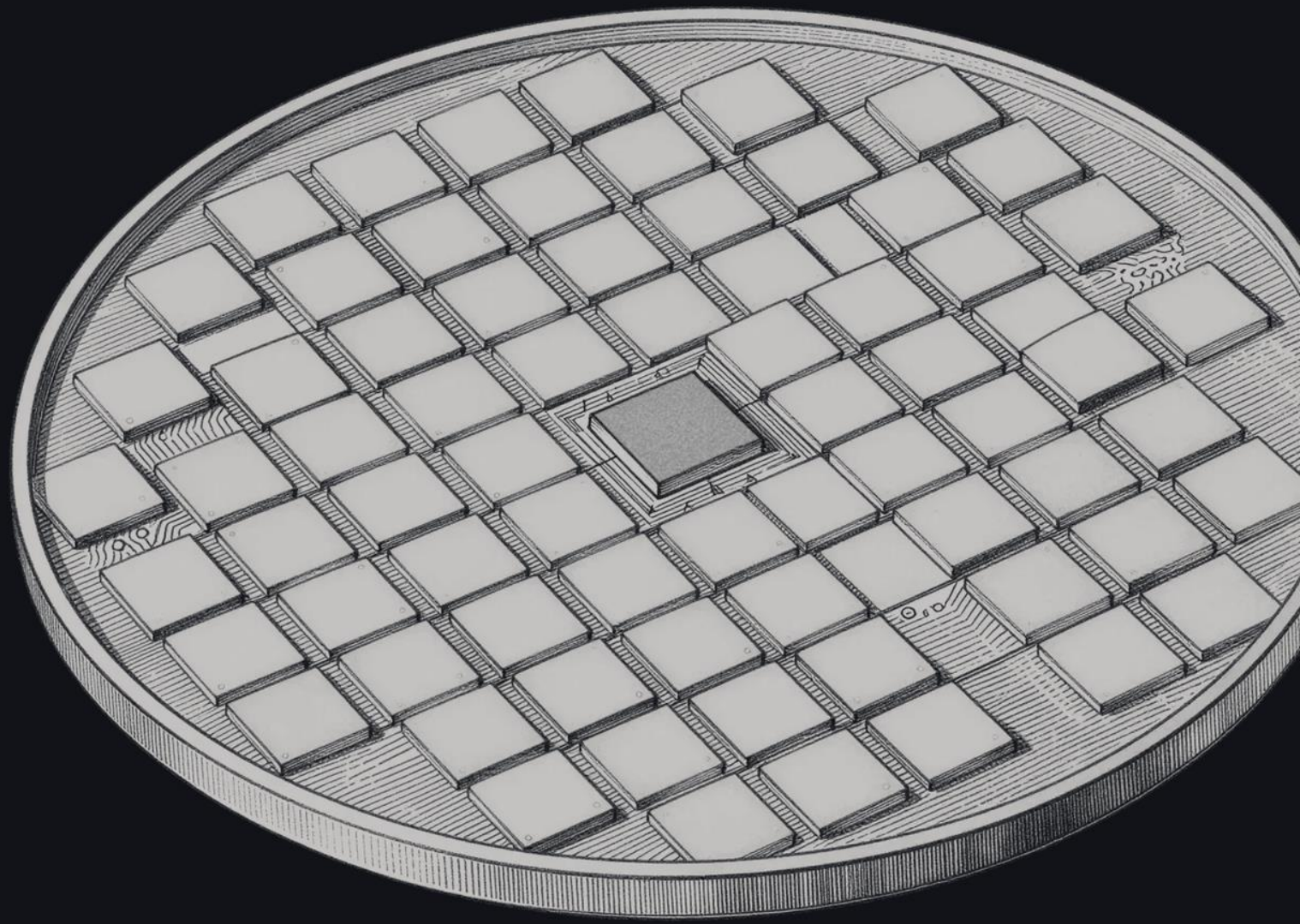
leder når styringen er 1



pMOS

leder når styringen er 0

Titalls milliarder i telefonen din.



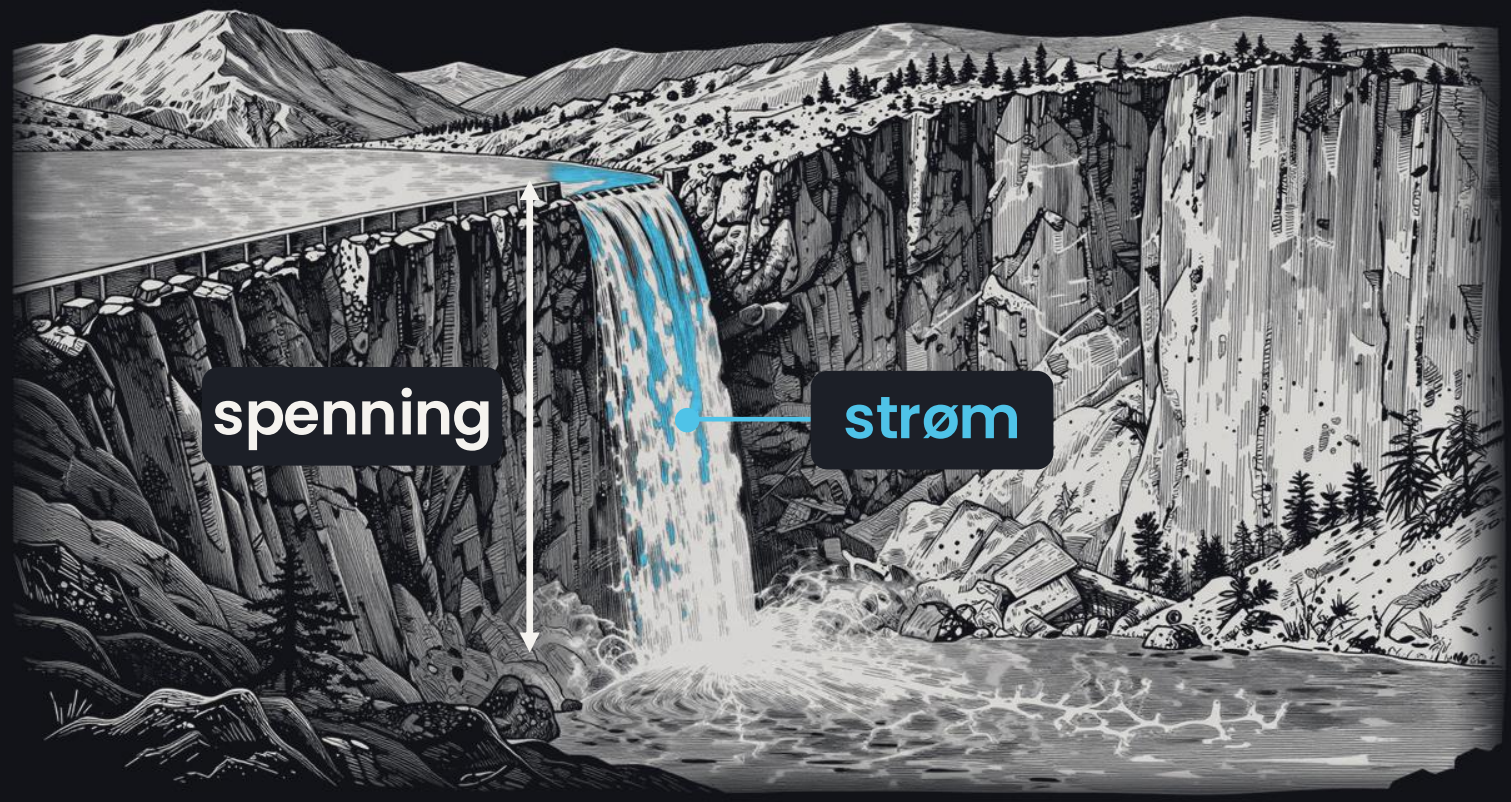
Et bit er ikke en ting. Det er en tilstand som må holdes oppe.

Slipper du den, faller den.



Spenning er høyde. Strøm er det som renner.

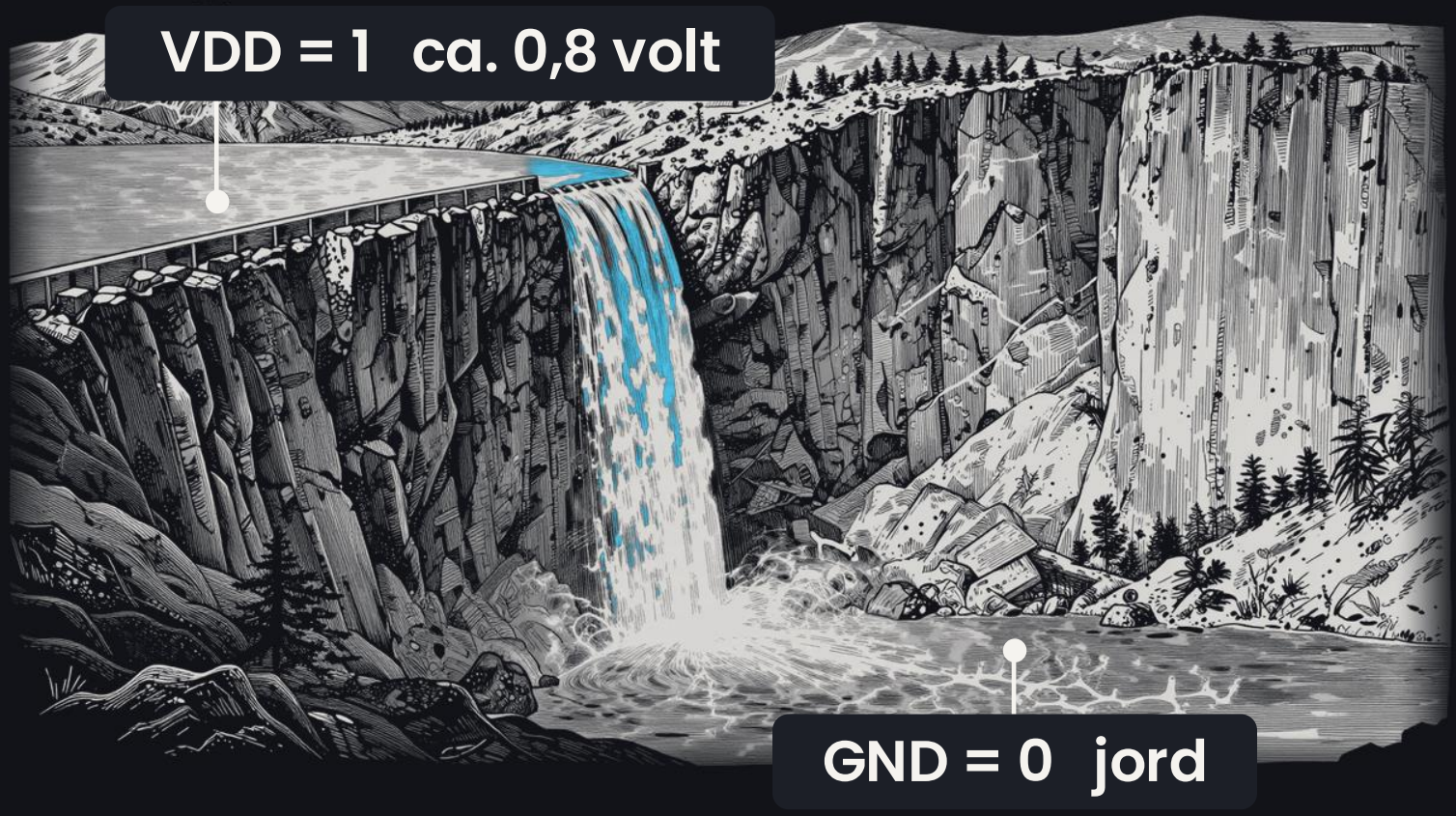
Stor høyde og stengt kran gir ingen strøm. Det er en stengt transistor.



VDD er 1.
GND er 0.

Mer er det ikke i oversettelsen fra strøm til logikk.

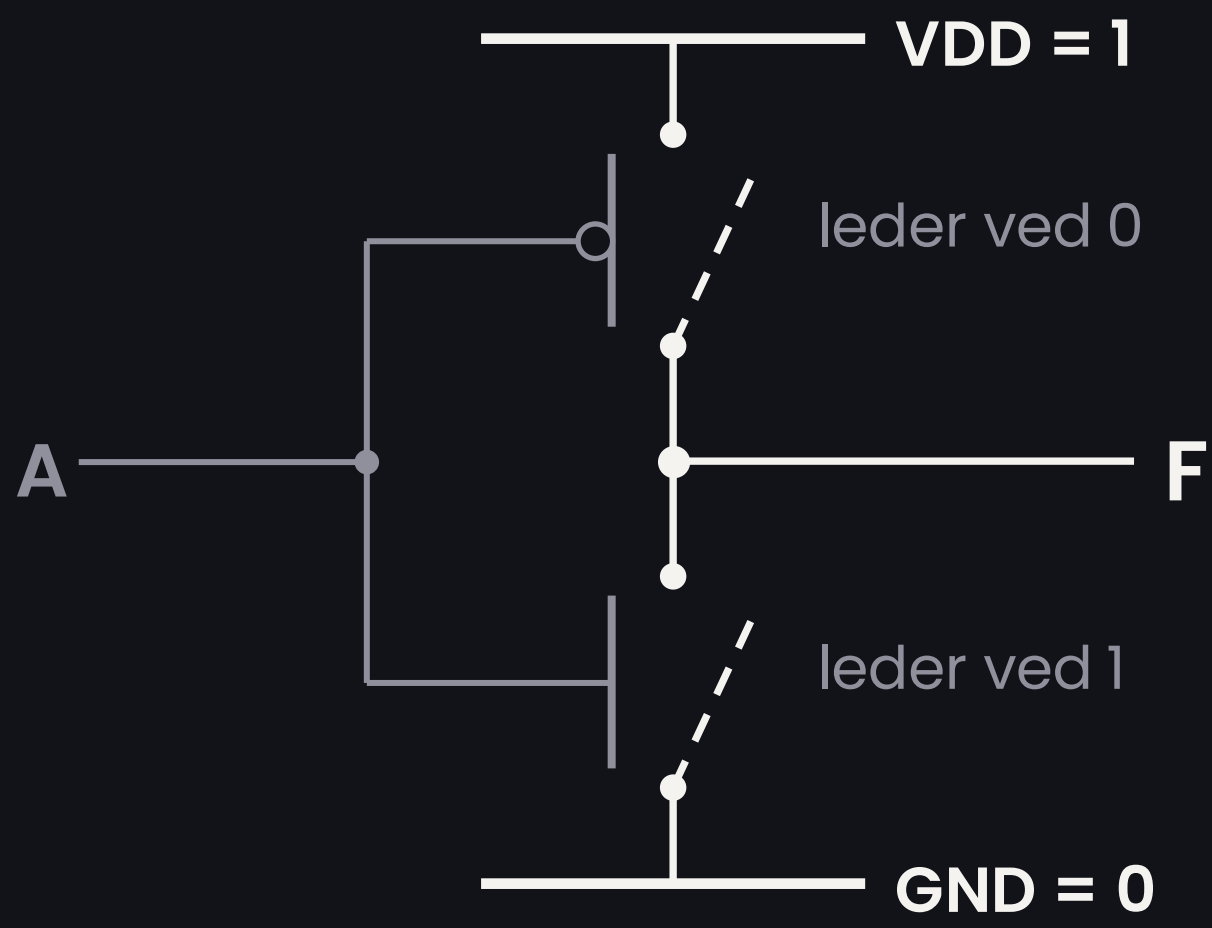
Strømmen går alltid fra høyt til lavt.



Jord er havet.

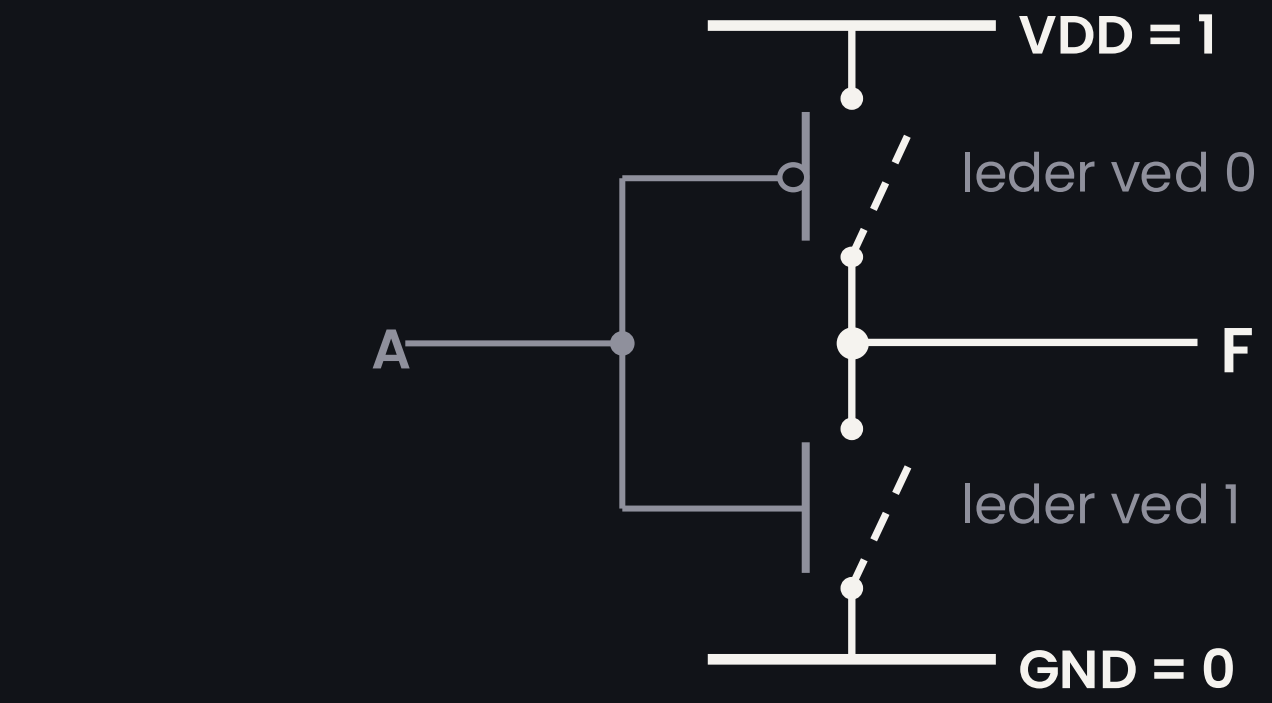
Et badekar mer eller mindre merkes ikke. Derfor betyr 0 volt det samme over hele brikken.

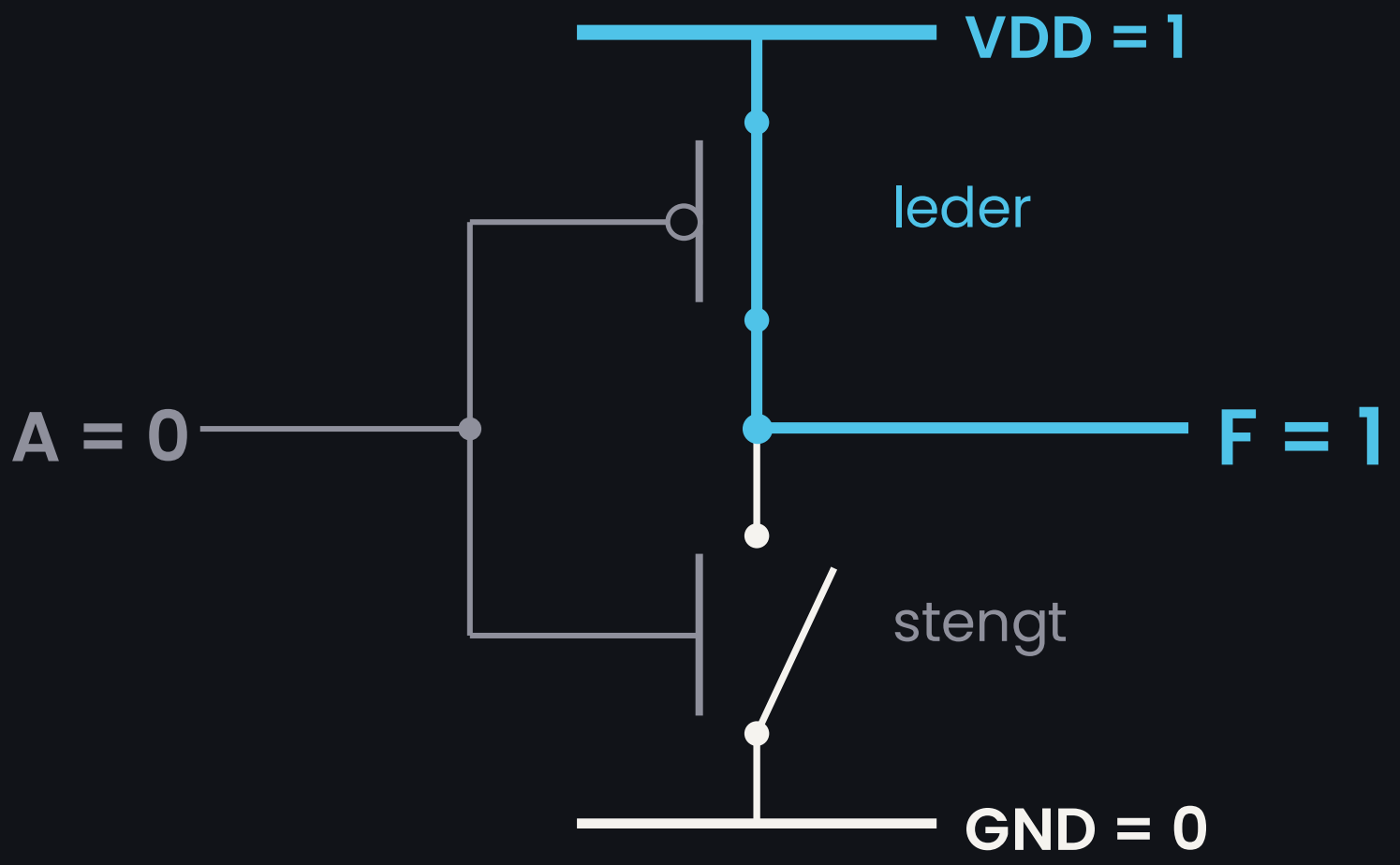




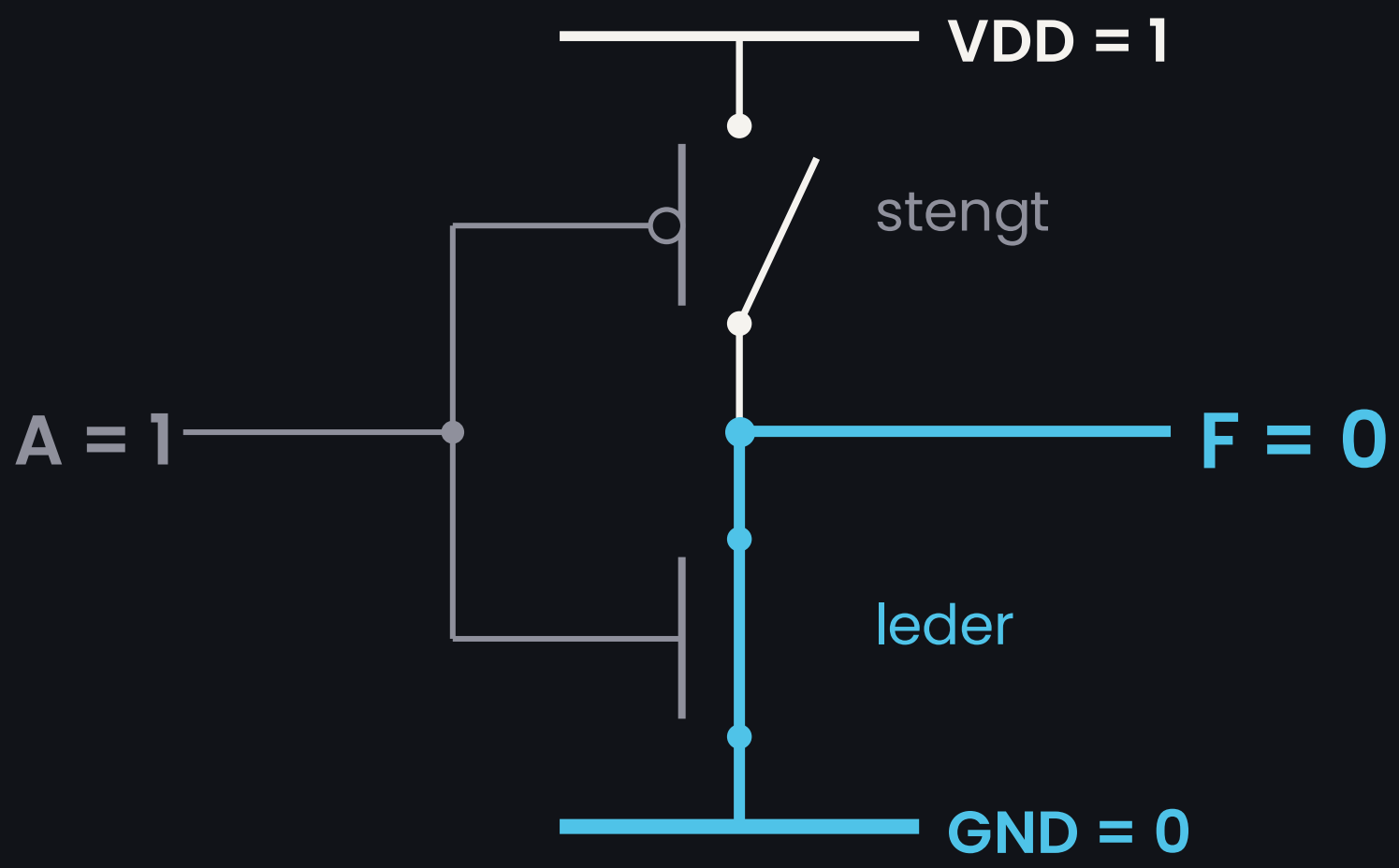
Den første porten vi bygger: to brytere

Inngangen A er 0. Hva blir utgangen F?





A = 0: veien opp leder. F blir 1.



A = 1: veien ned leder. F blir 0.

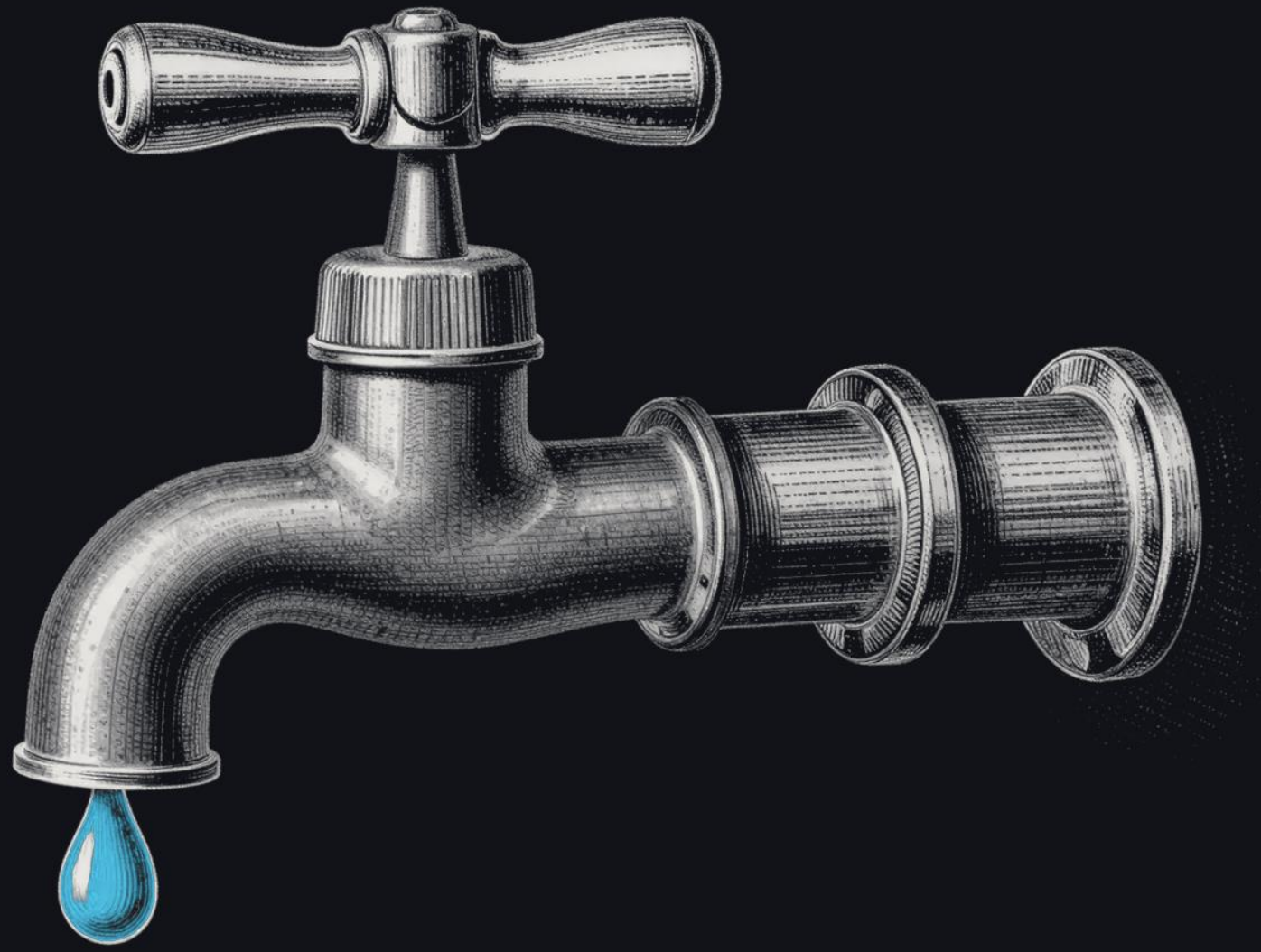
Derfor kan telefonen ligge en uke på bordet.

To typer som utfyller hverandre: CMOS.



Husk ordet «nesten».

Stengt er ikke helt stengt.
Det kommer tilbake når
vi skal forklare varmen.



En ledning kan ha hvilken som helst spenning mellom 0 og 0,8 volt. Logikken kjenner to verdier. Hvordan går det i hop?



0 og 1 er områder, ikke tall



tolkes som 1

0,74 V og 0,79 V er samme ener

udefinert: her lover kretsen ingenting

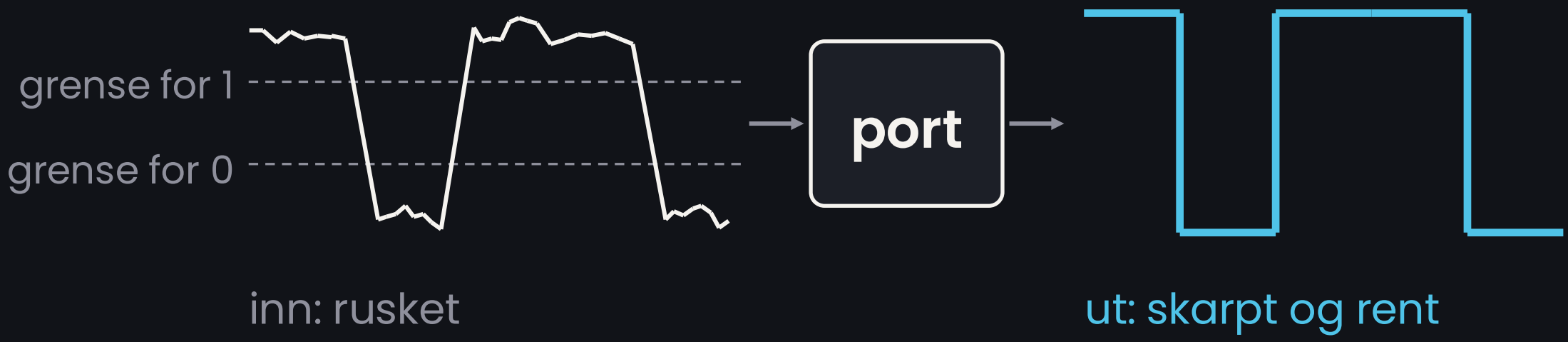
tolkes som 0

Det brede beltet i midten gir støymargin.

Havner signalet på grensa, kan det falle begge veier.

Derfor er beltet i midten bredt, med vilje.





Hver port vasker signalet rent.

Derfor tåler signalet tusen porter etter hverandre.

Digitalt er ikke mer nøyaktig.

Det retter seg selv, hele tiden.



Fra signal til tid

Nå har vi en port som virker.
Neste spørsmål er når den blir ferdig.

Tid i en krets

Utgangen endrer seg ikke øyeblikkelig.

Den må lade eller tømme et fysisk system.



Kapasitans

Utgangen er et badekar som må fylles eller tømmes.

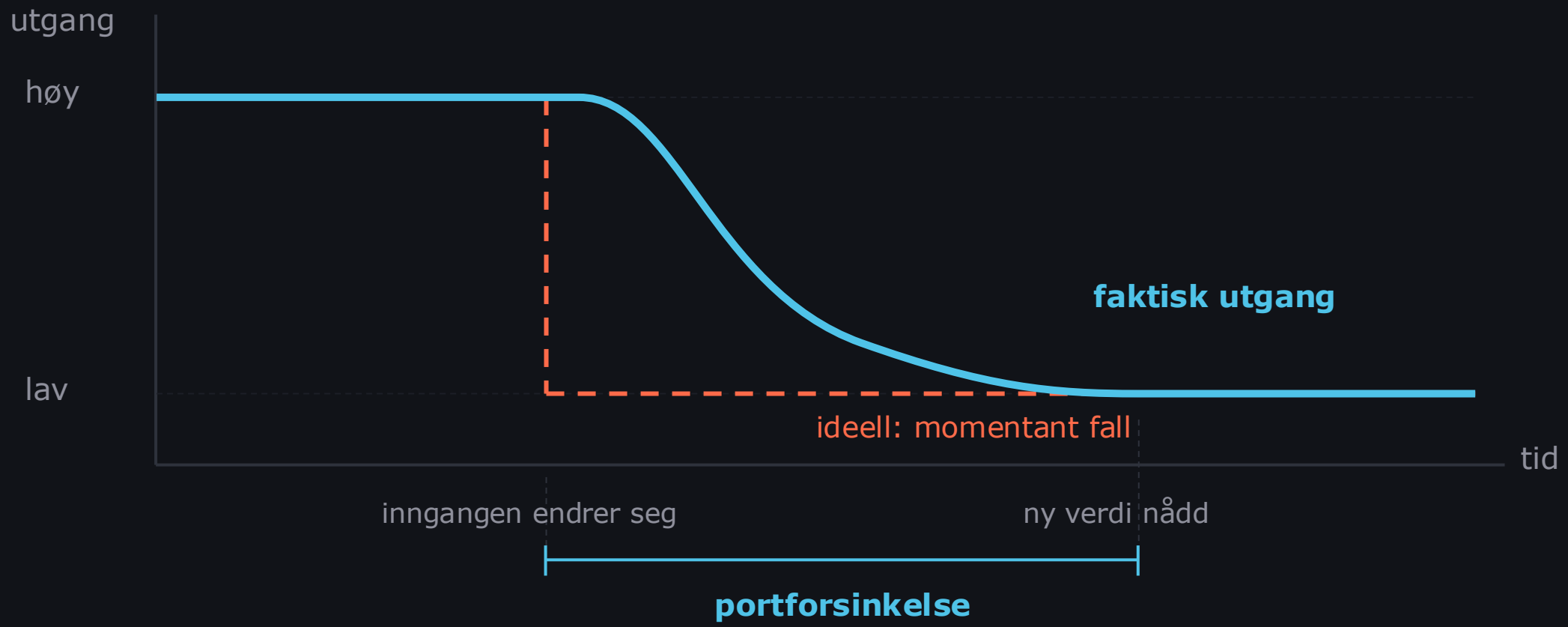
Større kar gir mer å flytte og lengre tid.

Kapasitans oppstår fordi ledninger og transistorer er fysiske.



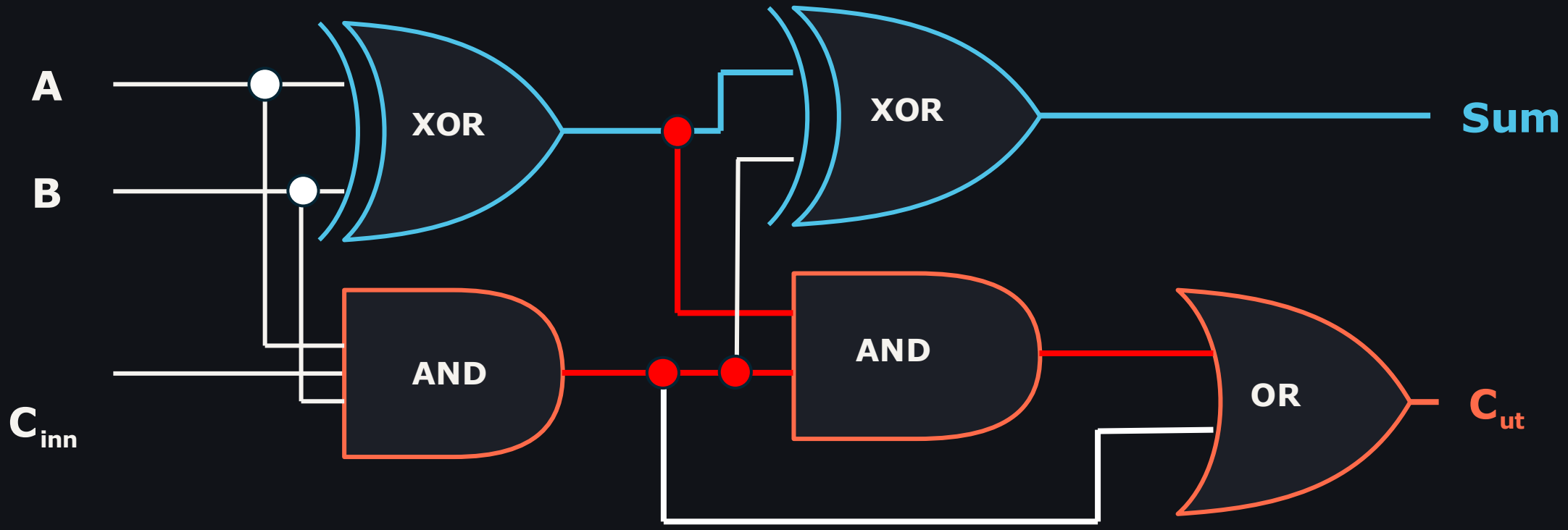
Portforsinkelse

Tiden fra inngangen endrer seg til utgangen har nådd den nye verdien.



Den kritiske veien

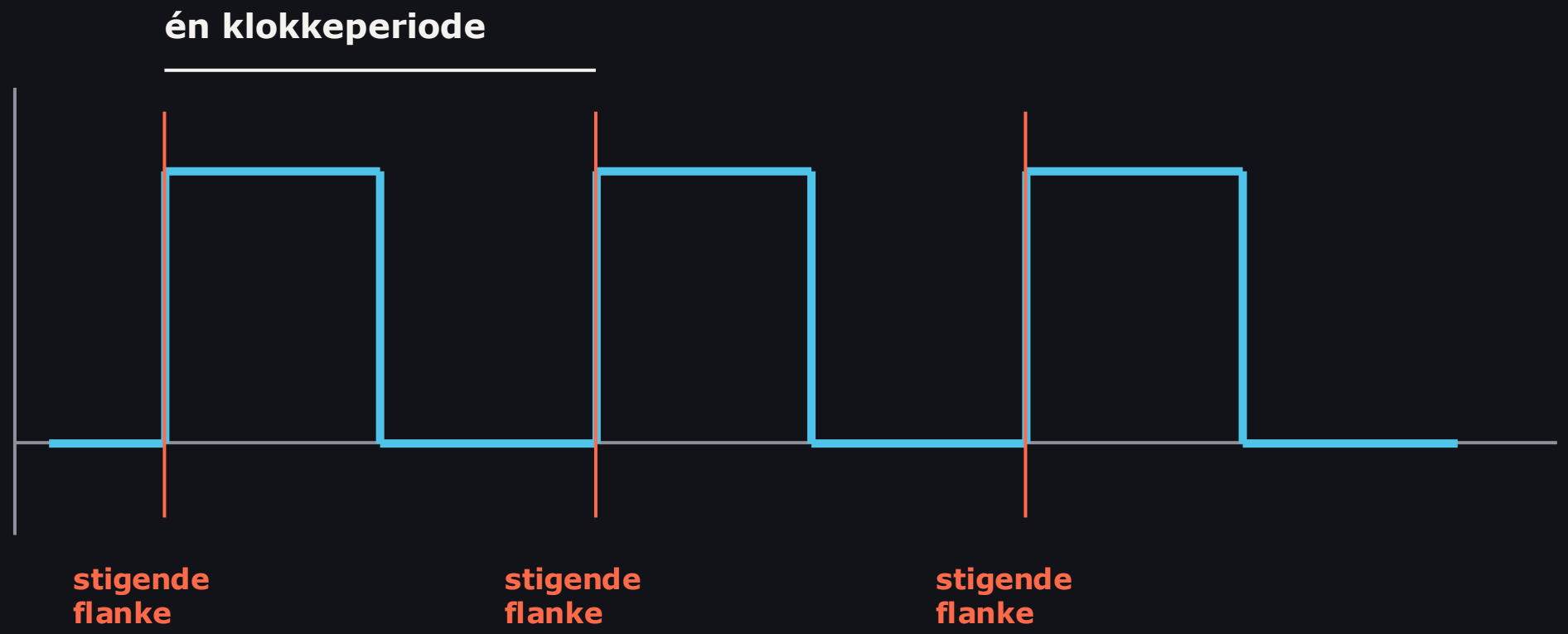
Kretsen bruker tiden til den lengste kjeden av avhengigheter, ikke summen av alle portene.



3 porter på rad = 15 ps

Klokka

Klokka bestemmer når det er trygt å lagre et resultat.



De raske kretsene venter. Den kritiske veien setter tempoet for alle.

Frekvens og periode

$$f = 1 / T$$

Frekvens = én delt på klokkeperioden

3 GHz

T = 333 ps

4 GHz

T = 250 ps

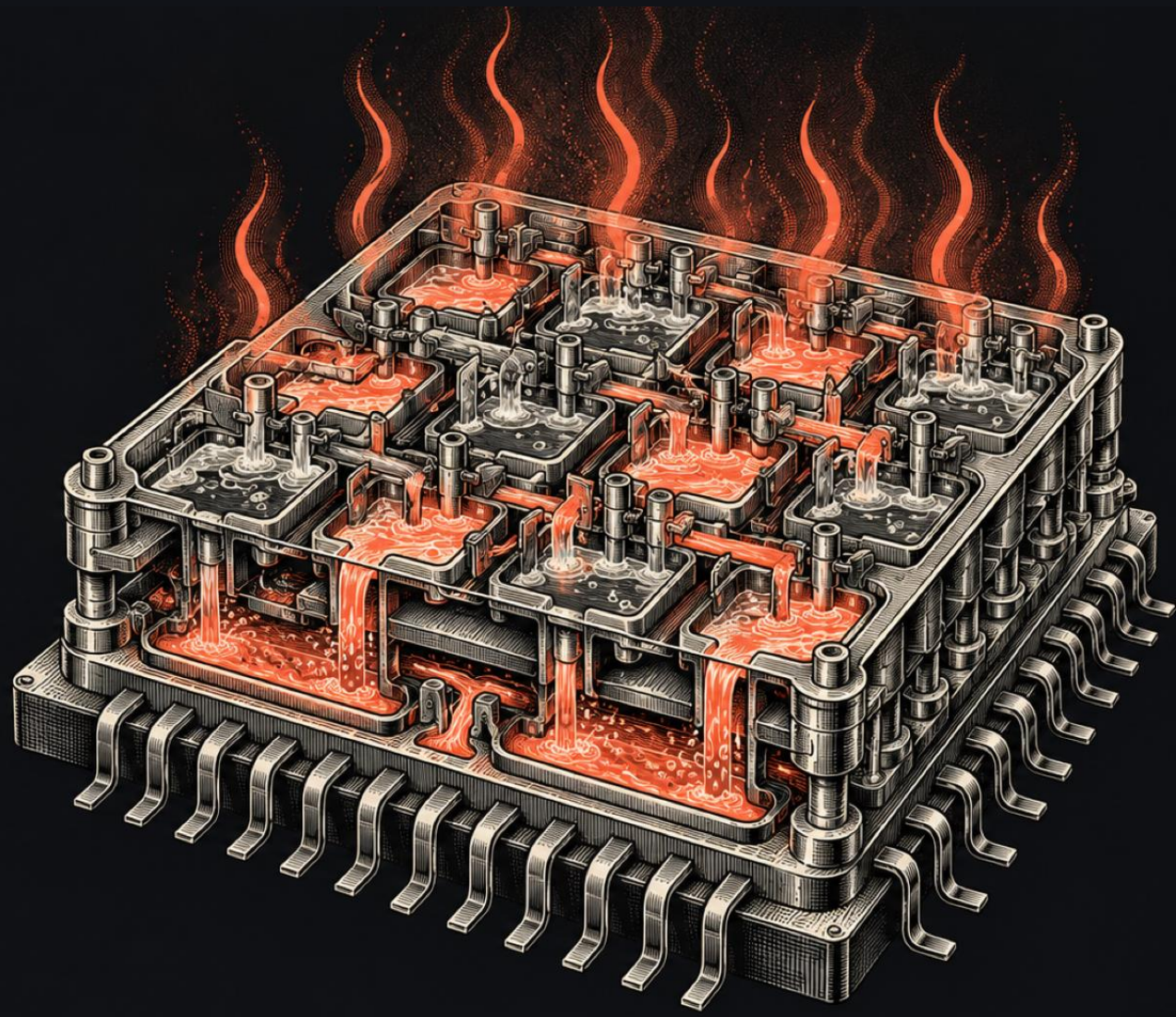
Kortere periode betyr høyere frekvens, men alt må rekke fram før neste flanke.

Hvorfor blir brikken varm?

Hver overgang fyller eller tømmer et lite kar.

Energien kommer fra forsyningen og ender som varme.

En laptop på 45 W varmer rommet som en varmeovn på 45 W.



Hva bestemmer effekten

Flere transistorer, høyere spenning og høyere frekvens gir mer varme.

$$C \cdot V^2 \cdot f$$

kapasitans

flere kar

spenning

teller dobbelt

frekvens

flere vendinger

Doblet frekvens og spenning fra 1,0 V til 1,2 V gir omtrent 2,9 ganger så høy effekt.

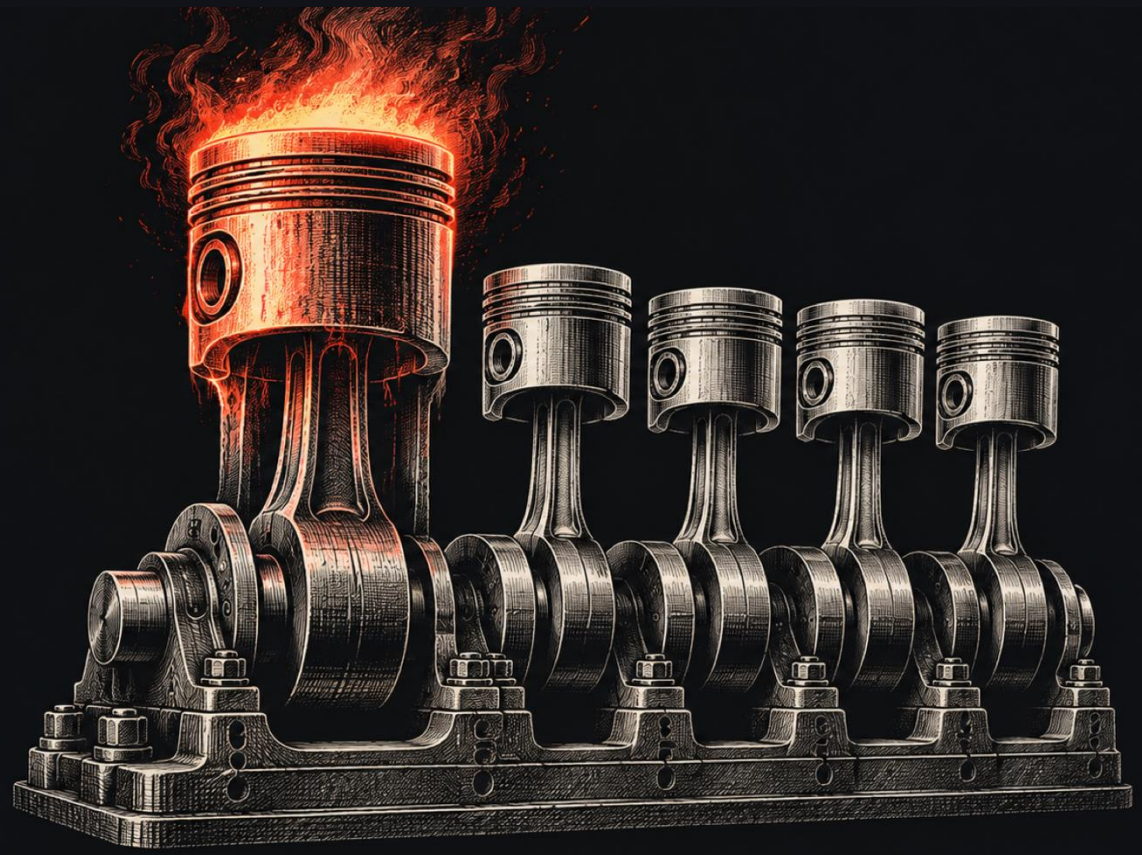
Varmeveggen

Rundt 2004 sluttet klokkefrekvensen å stige raskt.

Spenningen kunne ikke senkes nok uten at transistorene ble dårlige brytere.

Svaret ble flere kjerner, ikke én mye raskere kjerne.

Konsekvens: programmer må utnytte parallellitet.



Logg inn i Universet.

