

Introduktion till informationsteknologi (1DT051)

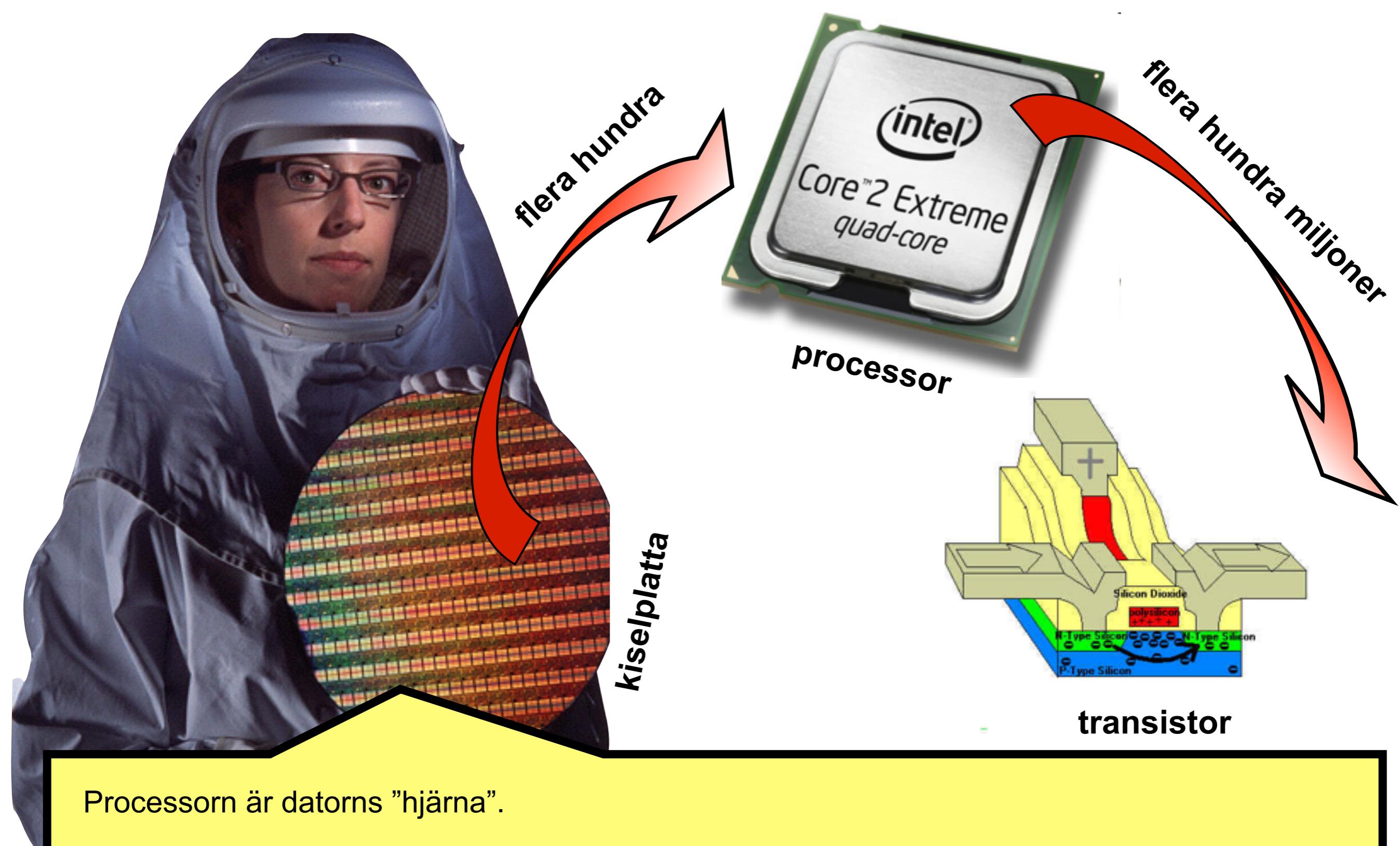
Reläer, vakuumrör, transistorer, grindar och datorer

september 2016

Uppsala universitet

karl.marklund@it.uu.se





Processorn är datorns "hjärna".

En modern **processor** består av flera hundra miljoner transistorer.

På kurser i datorarkitektur får du lära dig: **konstruera** en processor, **förstå** hur den fungerar och hur det går till att **programmera** den med hjälp av maskinkod (binärkod) och **assembler**.

En dators **datorarkitektur** beskriver hur en CPU (datorns centralprocessor) och andra centrala delar av datorn är uppbyggda. Olika typer av processorer använder olika datorarkitekturer.

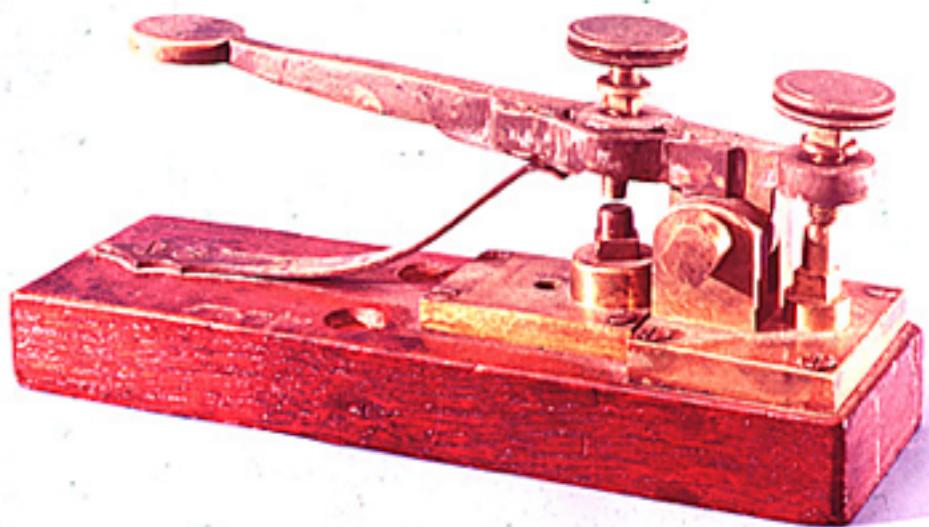
IT & KandDv

| Period | Kurskod | Kurs | Hp |
|--------|---------|-----------------|----|
| 14 | 1DT093 | Datorarkitektur | 10 |

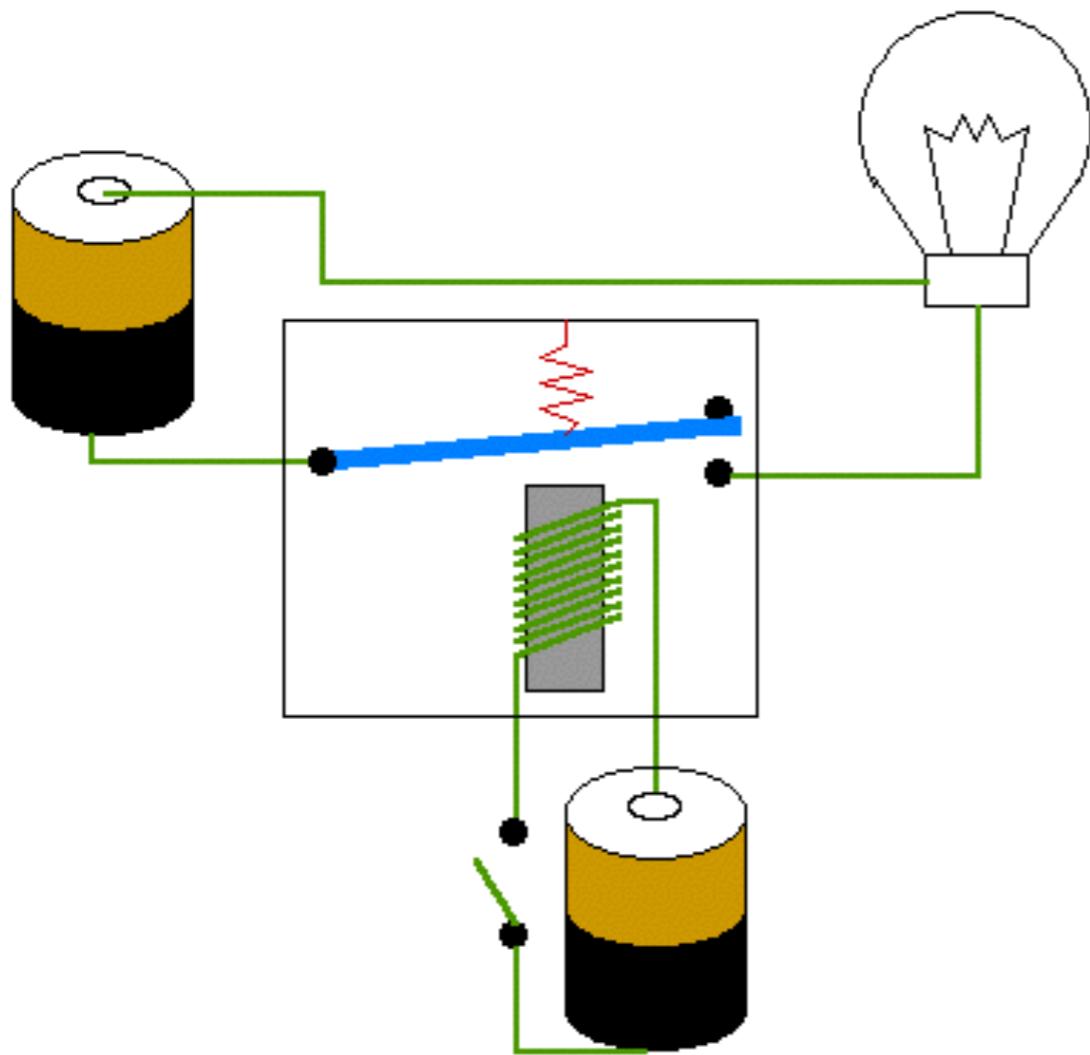


Joseph Henry
1797 – 1878

Henry's work on the **electromagnetic relay** was the basis of the electrical telegraph, jointly invented by Samuel Morse and Charles Wheatstone. The electromagnetic was probably invented somewhere between 1835 - 1837.

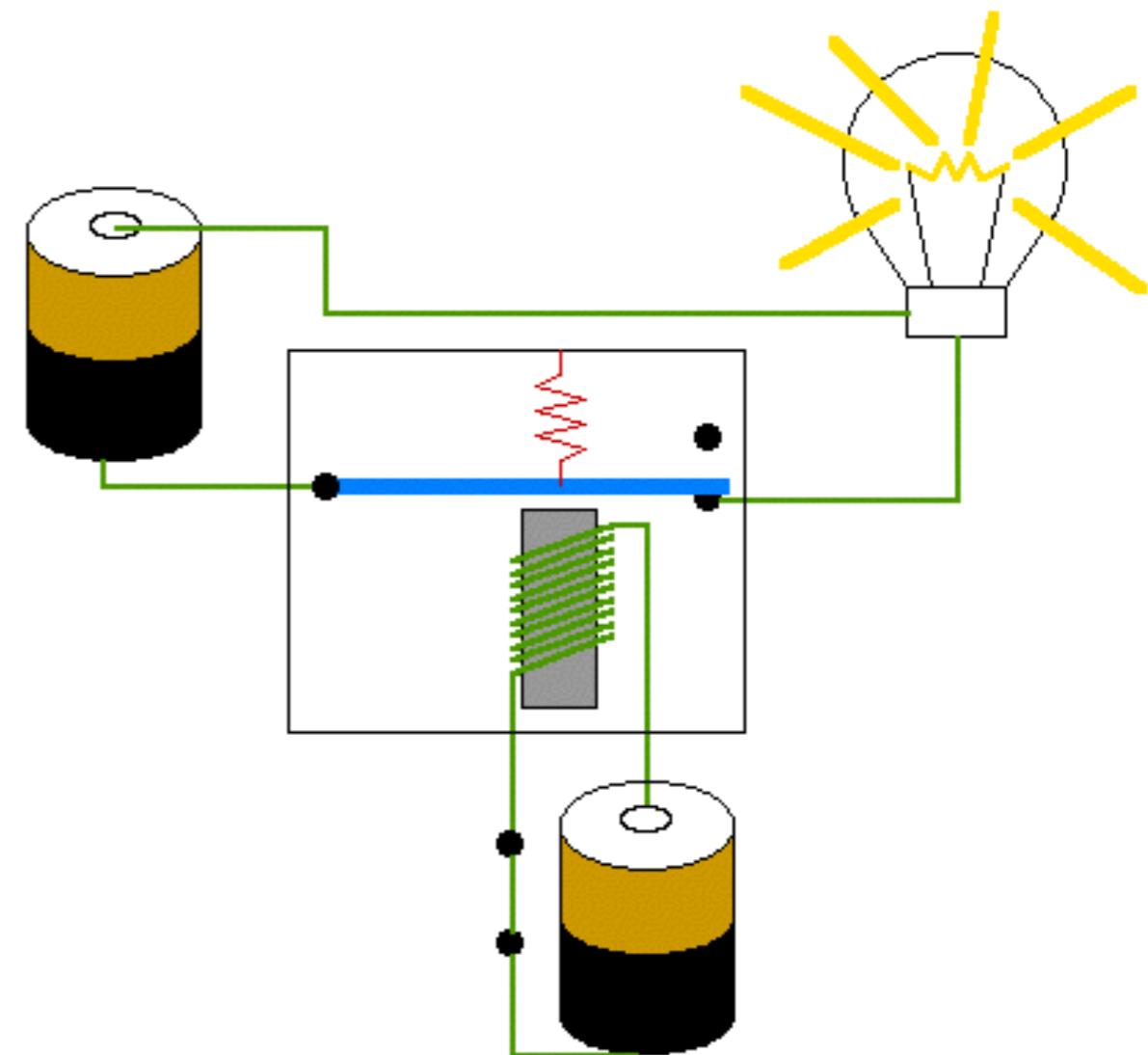


Telegraferingsnyckel, även telegrafnyckel, är en apparat för generering av morsetecken vid telegrafi.



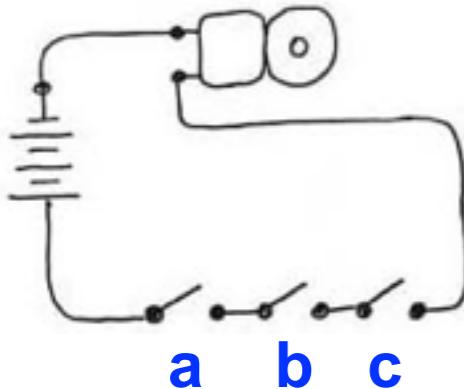
Ett **relä** är en **reglerteknisk** elektrisk apparatur, där till- och frånslag av en låg **styrspänning** kan ...

... **styra** slutande och öppnande av **en annan elektrisk krets**, där både spänning och ström kan vara betydligt större (men behöver inte vara det).



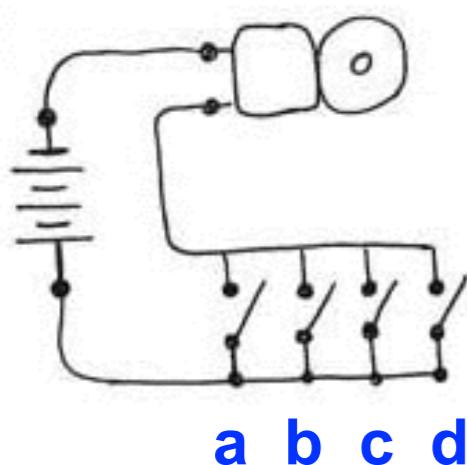
Elektrisk kretsar

Med elektriska kretsar kan vi utföra beräkningar. Varje kontakt kan ses som en boolesk variabel, en variabel som endast kan anta två värden, sann eller falsk, av eller på.



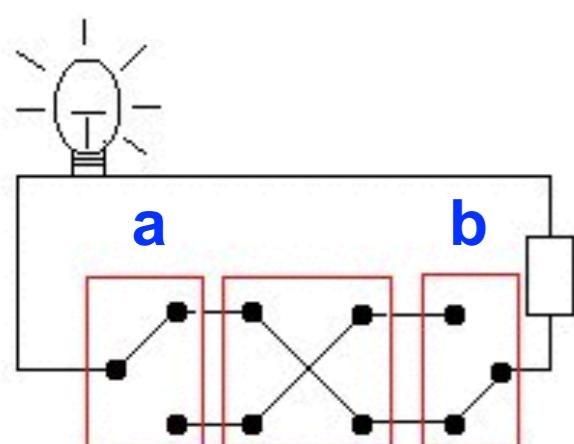
$$f(a, b, c) = a \text{ AND } b \text{ AND } c$$

För att larmet skall ljuda måste samtliga kontakter vara slutna.



$$g(a, b, c, d) = a \text{ OR } b \text{ OR } c \text{ OR } d$$

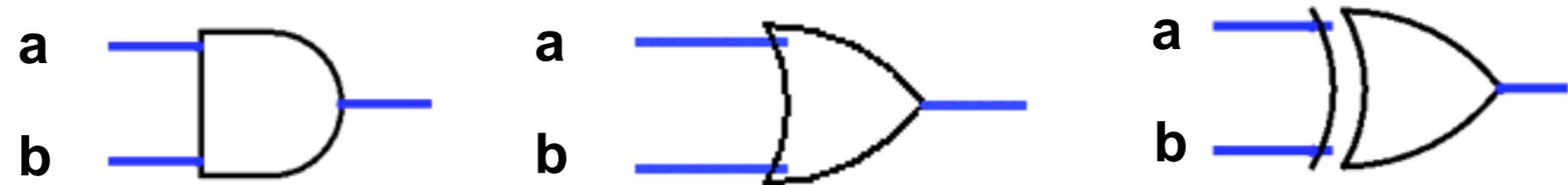
För att larmet skall ljuda räcker det att en eller flera kontakter är slutna.



$$h(a, b) = a \text{ XOR } b$$

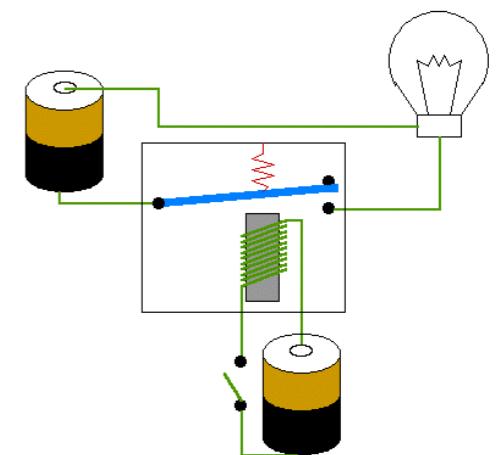
För att lampan skall lysa måste kontakerna vara i motsatta lägen.

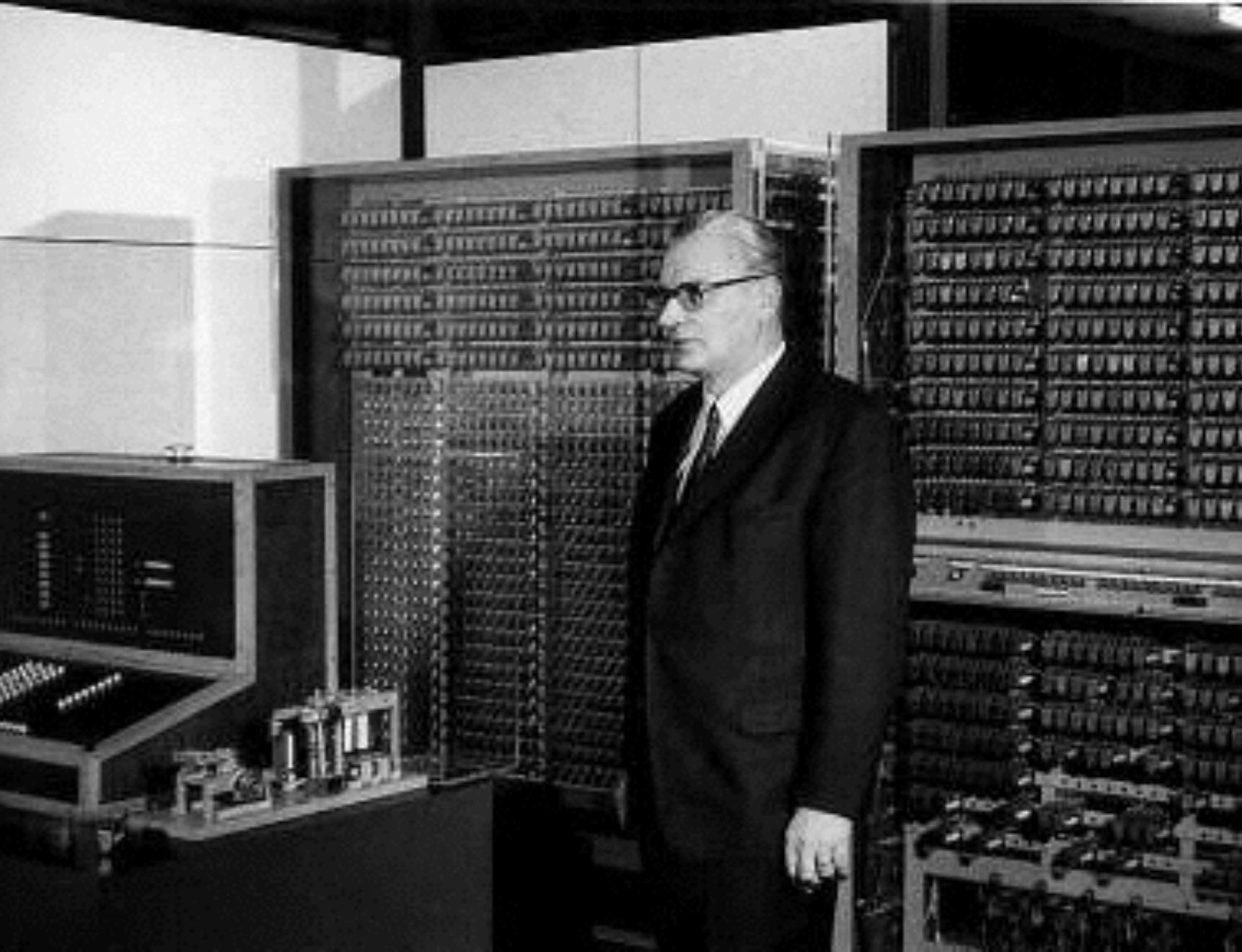
En **digital** krets som beräknar en logisk funktion av booleska variabler kallas även för **grind**. Grindar kan beskrivas av sanningstabeller och med symboler.



| a | b | a AND b | a OR b | a XOR b |
|---|---|---------|--------|---------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Men hjälp av **reläer** kan vi räkna ut enkla logiska funktioner, dvs. **konstruera grindar** för till exempel **AND**, **OR** och **XOR**.





Konrad Zuse

1910 - 1995

I Tyskland **1941** färdigställde Konrad Zuse vad som anses vara den första elektromekaniska digitala datorn **Z3**. Datorn Z3 bestod av ca **2400 reläer** och kunde utföra beräkningar i en hastighet av ca **5 - 10 Hz**.

Harvard Mark II var en elektromekanisk dator konstruerad med **reläer** vid universitetet i Harward. Howard Aiken ledde arbetet och 1947 var Harward Mark II färdig.



9/9

0800 Anctam started
 1000 " stopped - anctam ✓
 1300 (032) MP-MC
 (033) PRO 2
 " conduct

$\left\{ \begin{array}{l} 1.2700 \quad 9.037847025 \\ 1.982647000 \end{array} \right.$
~~2.130476415~~ 4.615925059(-2)
 2.130676415

Relays 6-2 in 033 failed special speed test
 in relay

Relay
2145
 Relay 3370

1100 Started Cosine Tape (Sine check)
 1525 Started Multi+ Adder Test.

1545



Relay #70 Panel F
 (moth) in relay.

First actual case of bug being found.

1630 Anctangent started.

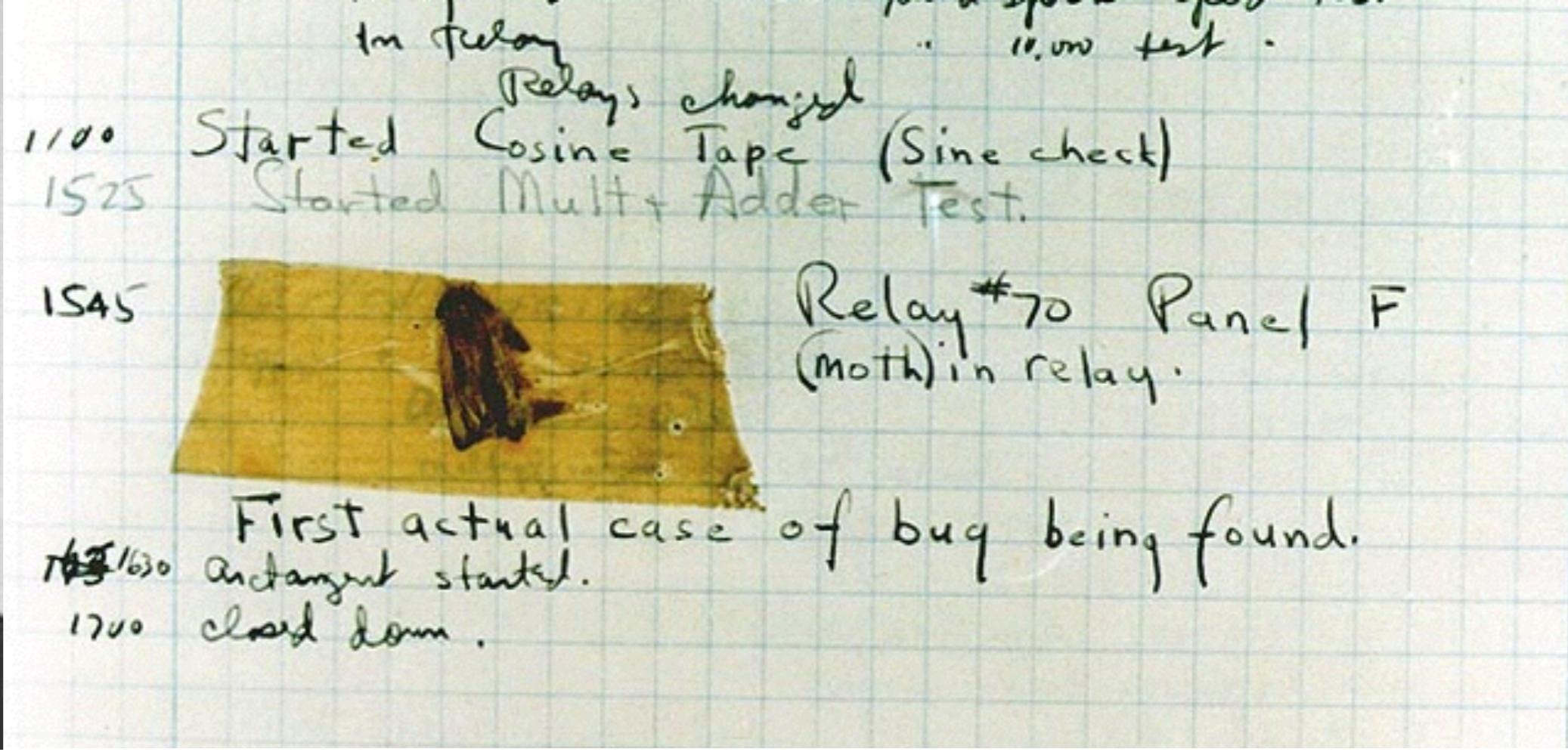
1700 closed down.



Grace Murray Hopper

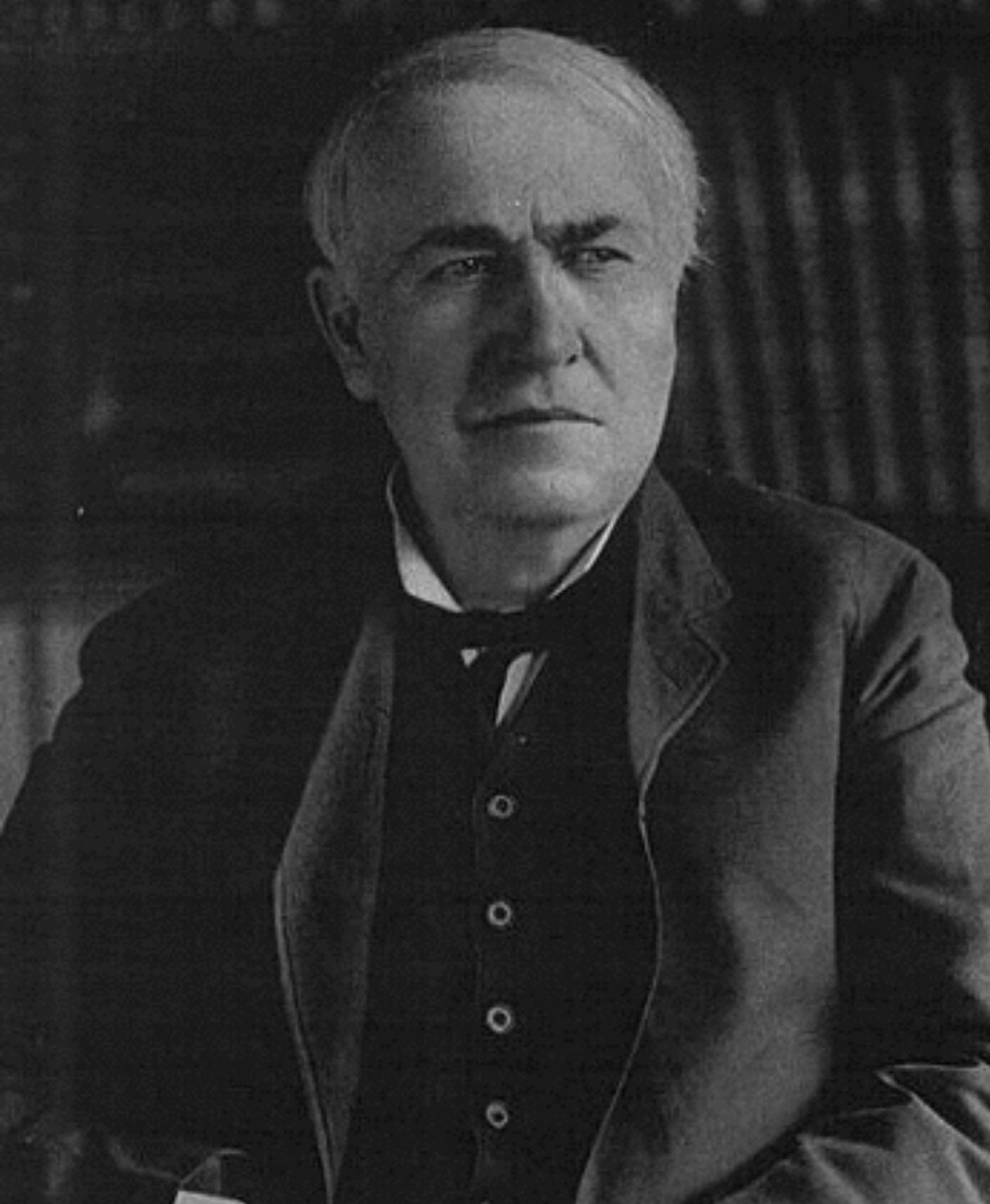
1906 - 1992

One of the first programmers of the Harvard Mark I calculator. Developed the first compiler for a computer programming language.



The first documented **computer bug** was a moth found trapped between points at Relay # 70, Panel F, of the Mark II Aiken Relay Calculator while it was being tested at Harvard University, 9 September 1947.

Grace Hopper affixed the moth to the computer log, with the entry: "First actual case of bug being found.". Grace Hopper is also called **Amazing Grace**.



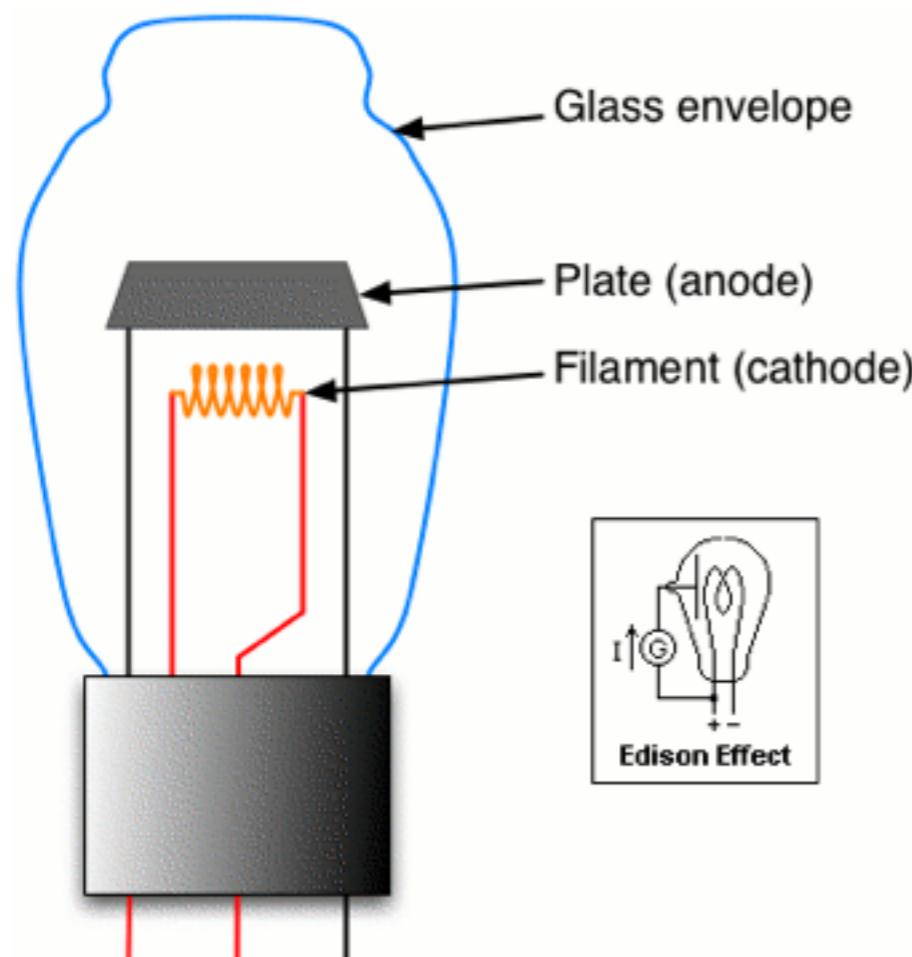
Thomas Alva Edison
(1847-1931)



Edisons första fungerande glödlampa visades upp för världen **1879**

Edison-effekten

Thomas Alva Edison uppfann dioden då han fick en ström i sina små elektroder han införde i lampan för att försöka förhindra att lampan blev sotig. Han visste dock inte vad han skulle ha det till. Det dröjde hela 25 år innan John Ambrose Fleming tog patentet på rördioden 1904.



När en ström går genom katoden blir den varm och **avger elektroner** inuti vakuumröret.

De frigjorda elektronerna dras till den **positivt laddade anoden** och det uppstår en ström av elektroner från katod till anod.

Om anoden ges en negativ laddning uppstår inte någon ström mellan katod och anod.

Den så kallade **Edison-effekten** upptäcktes **1883** men kunde då inte förklaras. Inte heller fick den vid denna tid någon praktisk tillämpning av betydelse.



Sir Joseph John Thomson
1856 – 1940

In 1897, Thomson showed that cathode rays were composed of previously unknown negatively charged particles, which he calculated must have bodies much smaller than atoms and a very large value for their charge-to-mass ratio. Thus he is credited with the **discovery** and identification of the **electron**; and with the discovery of the first subatomic particle.

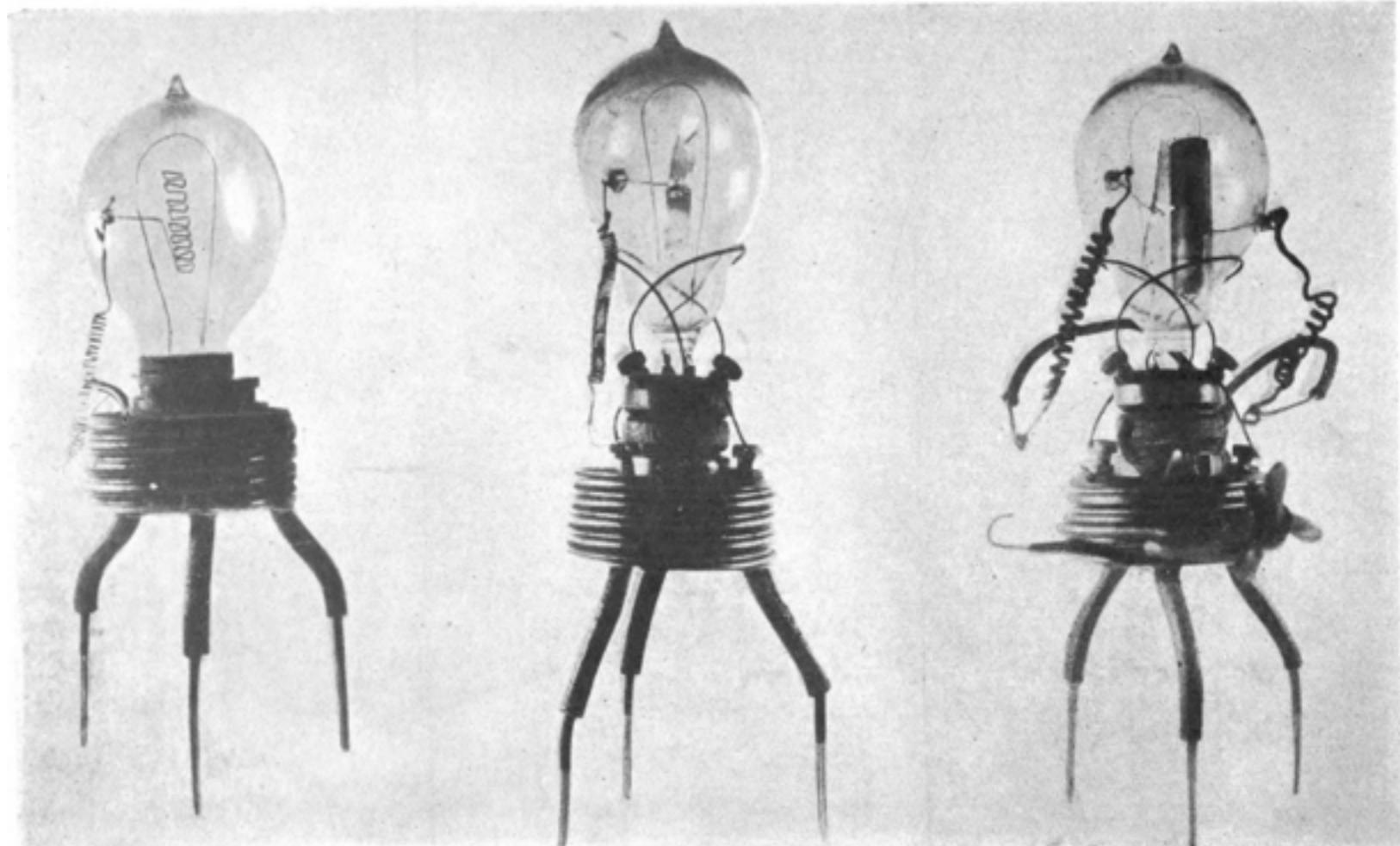
Thomson was awarded the **1906 Nobel Prize in Physics** for his work on the conduction of electricity in gases.



Elektronrörssdiod



John Ambrose Fleming
1849 – 1940

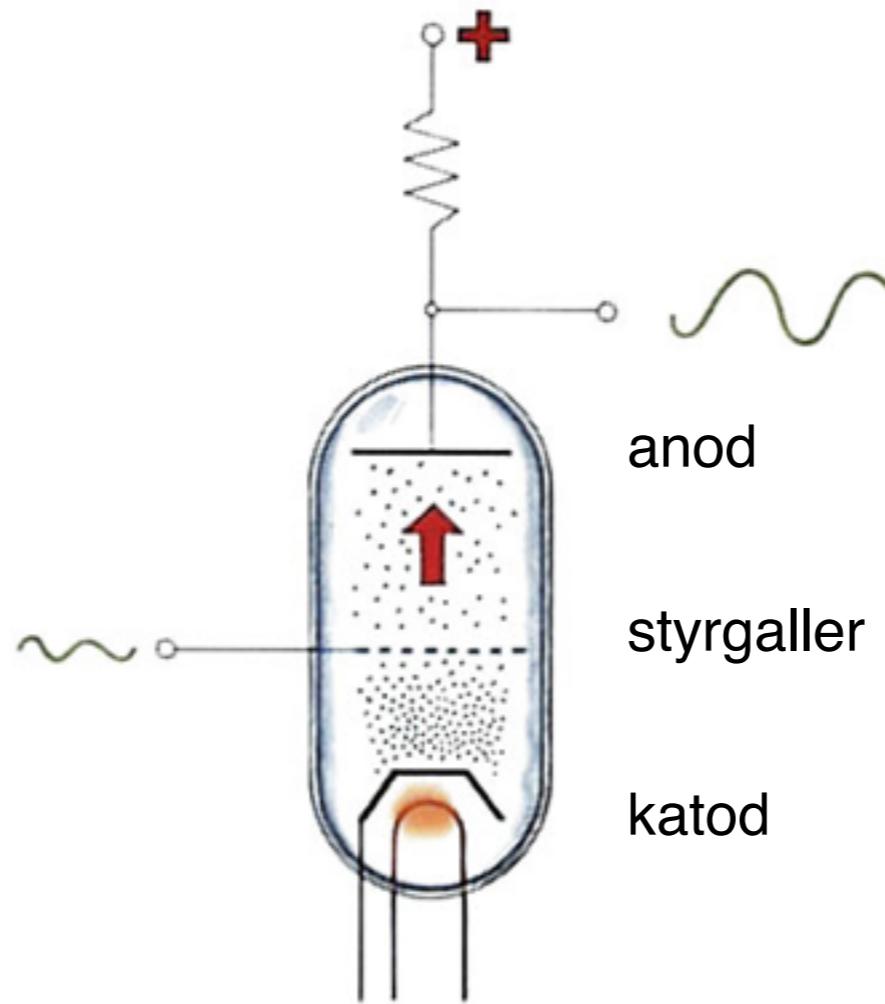


Under sina experiment med Edisons glödlampa tog John Ambrose Fleming 1904 patent på **rördioden**. Syftet med en diod är att endast möjliggöra ström i en riktning. Fleming-röret, också kallad Fleming-oscillationsrör, var en av de första vakuumrörssdioiderna och har av IEEE beskrivits som "*en av de mest viktiga utvecklingarna inom elektronikens historia*".

Triod



Lee de Forest
1873 – 1961

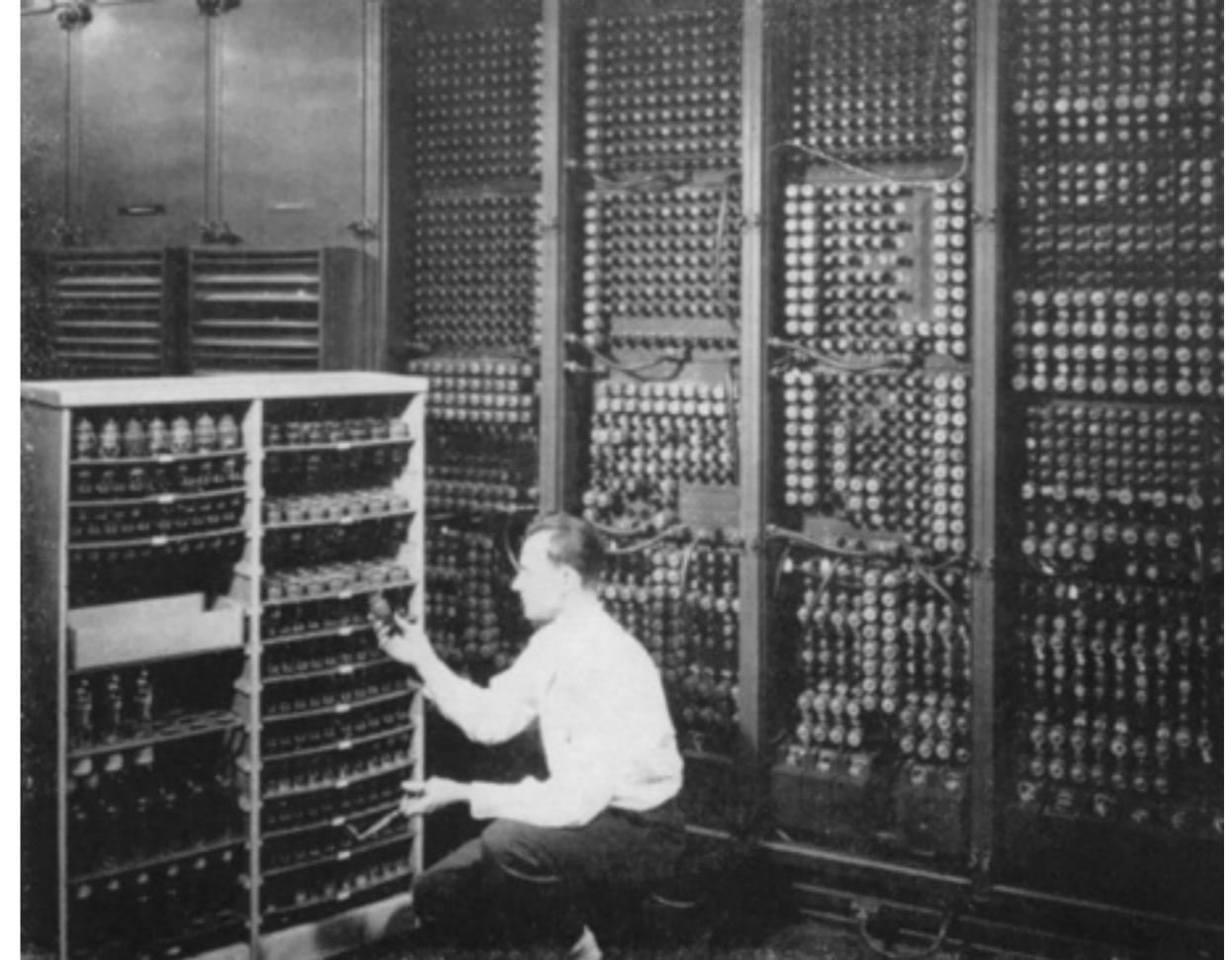
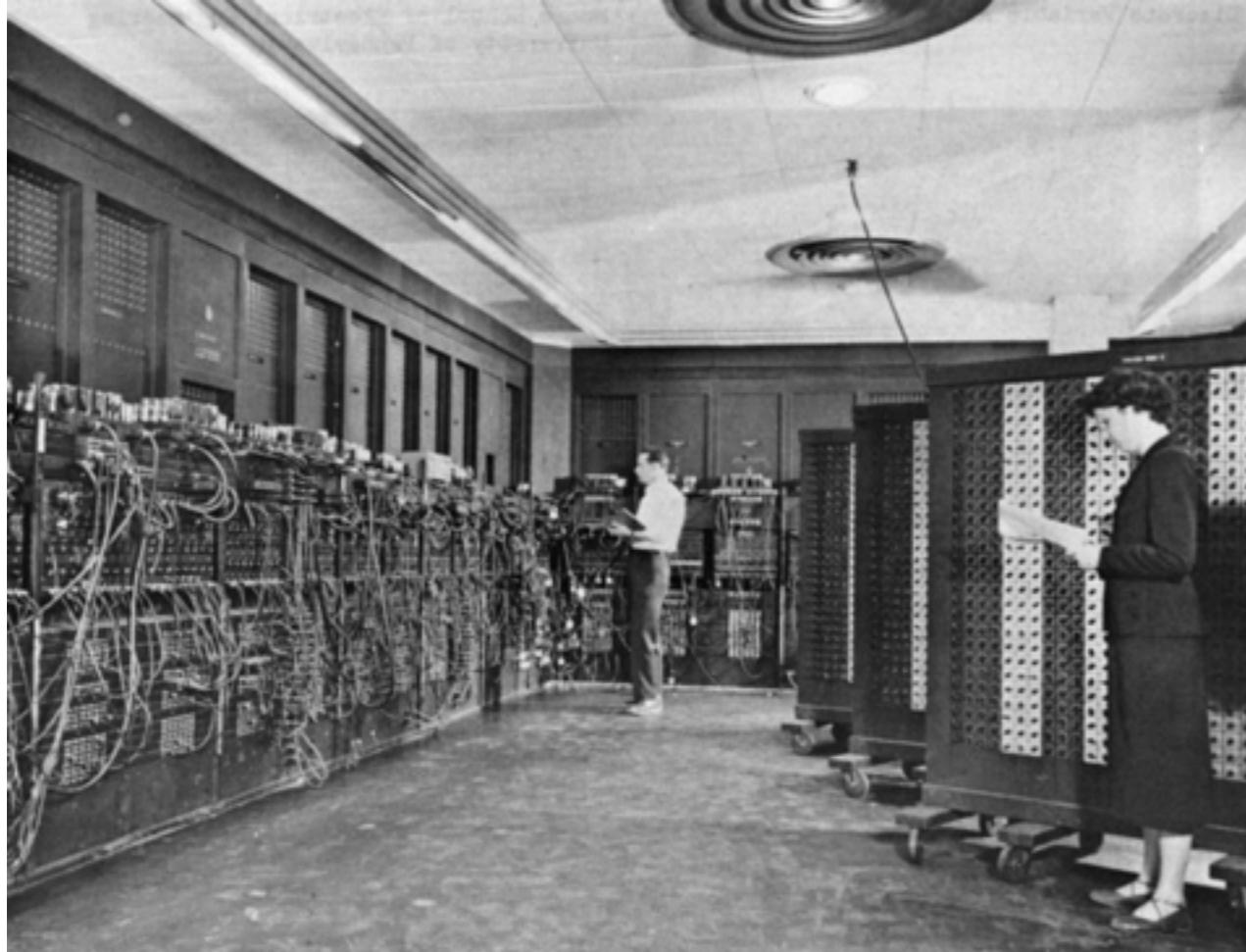


1907 patenterade Lee de Forest en två-elektrod-anordning som reagerade på elektromagnetiska vågor som var en variant av Fleming-röret uppfunnet två år tidigare.

Uppfinningen bestod i att införa ett styrgaller mellan katoden (glödtråd) och anoden. Patentet blev godkänt 1908.

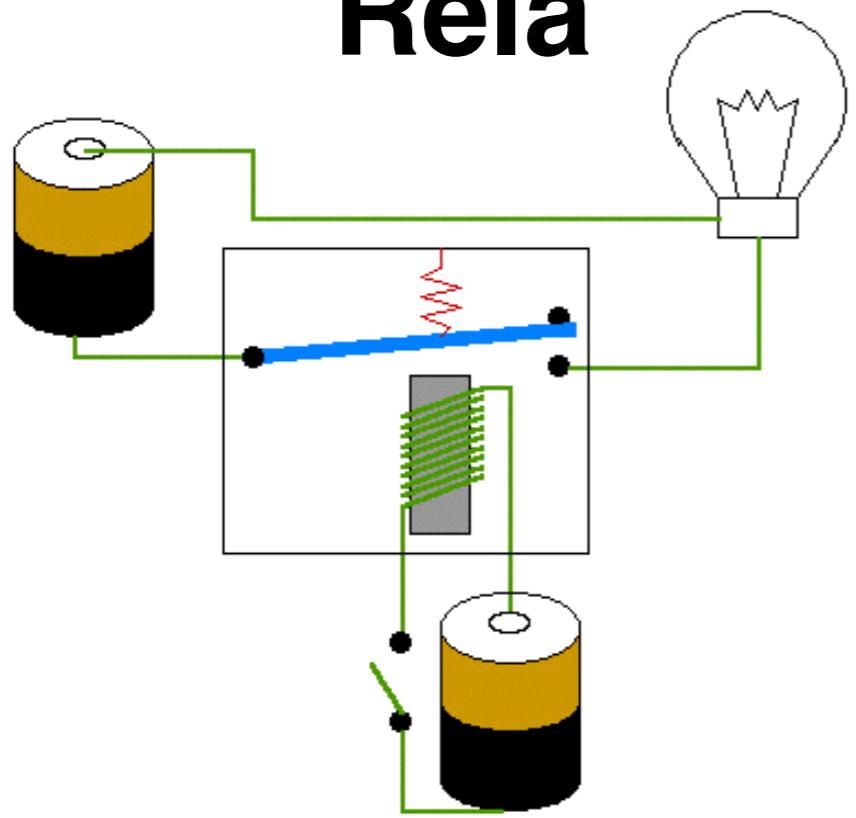
Trioden eller tre-elektrods vakuumröret kunde användas som förstärkare för elektriska signaler speciellt för radiomottagningar. Trioden kunde också fungera som en snabb (för sin tid) elektrisk brytare som senare användes i digital elektronik (såsom datorer).

Datorn **ENIAC** (Electronic Numerical Integrator And Computer) togs i bruk 1946 av amerikanska armén. Syftet var att räkna ut tabeller med ballistiska banor för olika typer av projektiler. ENIAC hade en kapacitet av **5000 additioner per sekund**.

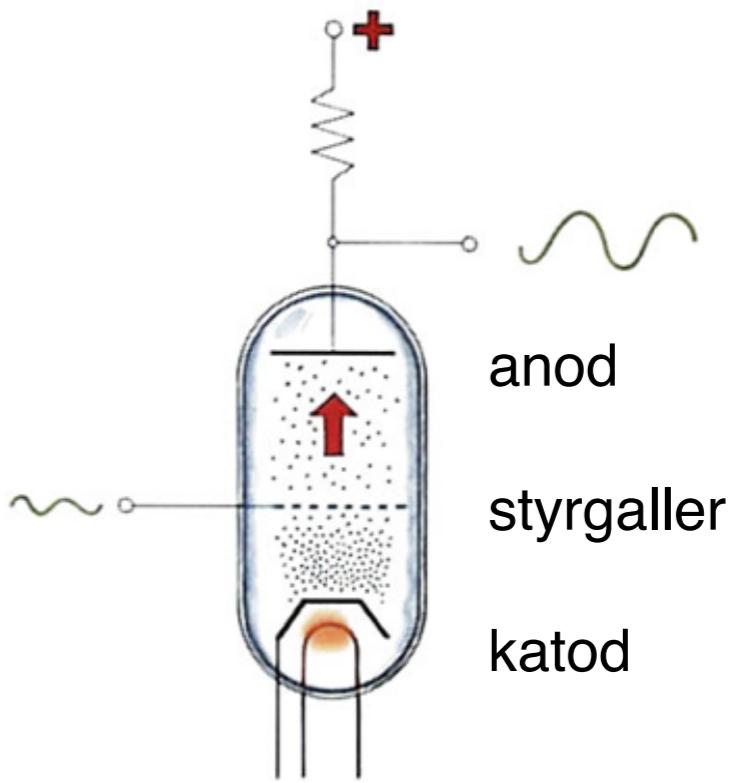


Det gick åt nästan **18.000 vakuumrör** för att konstruera ENIAC. För att koppla samman hela härligheten behövdes det mer än **5 miljoner lödningar**.

Relä



Triod (vakuumrör)



Både reläer och vakuumrör kan användas för att konstruera logiska grindar som i sin tur kan användas för att konstruera datorer.

Reläer består av **rörliga mekaniska delar** som lätt går sönder och förbrukar mycket energi.

Vakuumrör har **inga rörliga delar**, kan operera i högre hastighet än reläer och förbrukar mindre energi per beräkning. Trots sina fördelar fanns det problem med vakuumrören. De blev mycket varma, gick lätt sönder och förbrukade trots allt mycket energi.

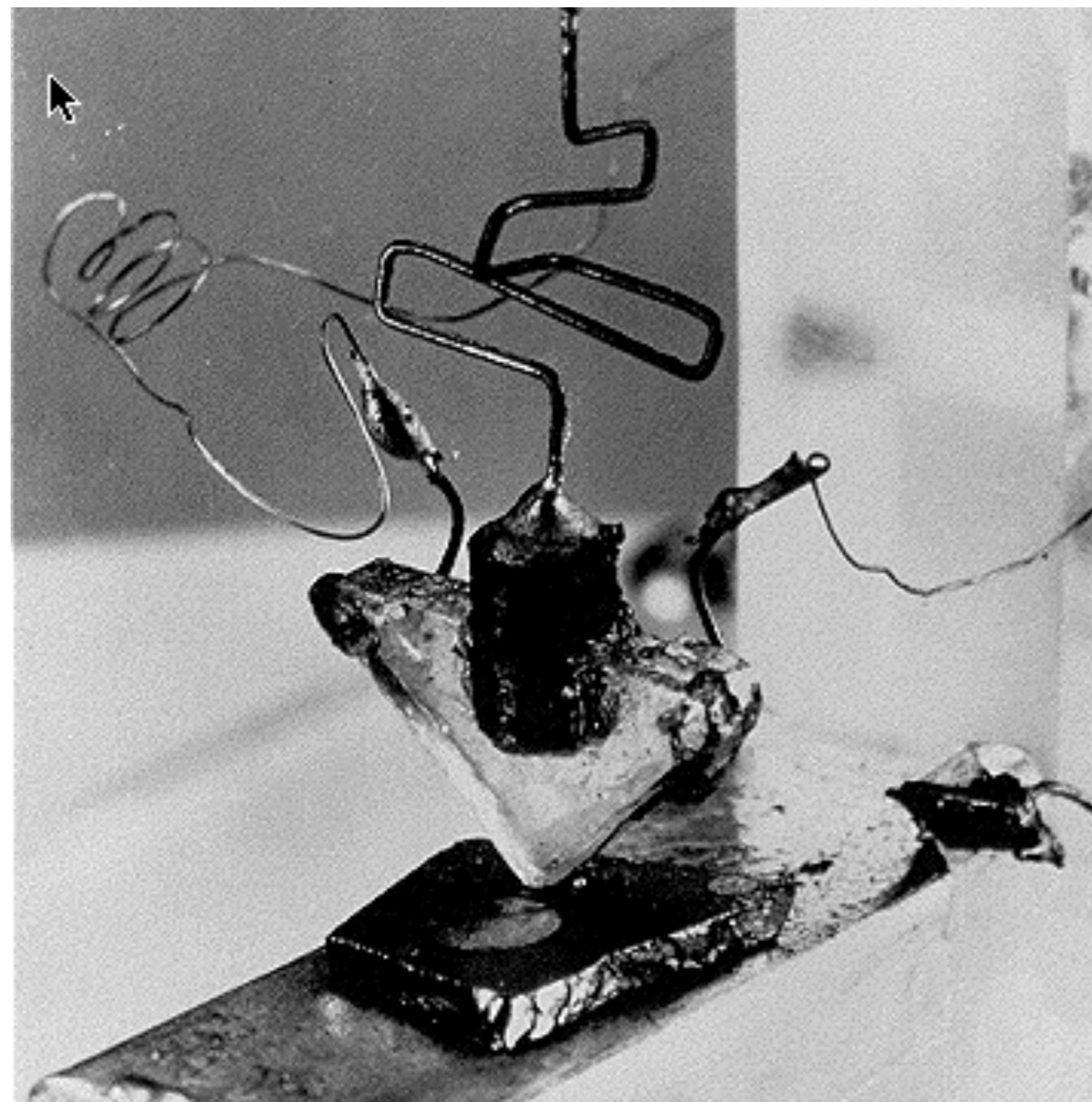
I sin strävan att ersätta trioden med något bättre ansökte Julius Edgar Lilienfeld **1925** om ett patent för det som kommit att kallas för **fälteffekt-transistorn**. Med dåtidens teknik var det dock svårt att tillverka fungerande prototyper och patentet föll därför i glömska.



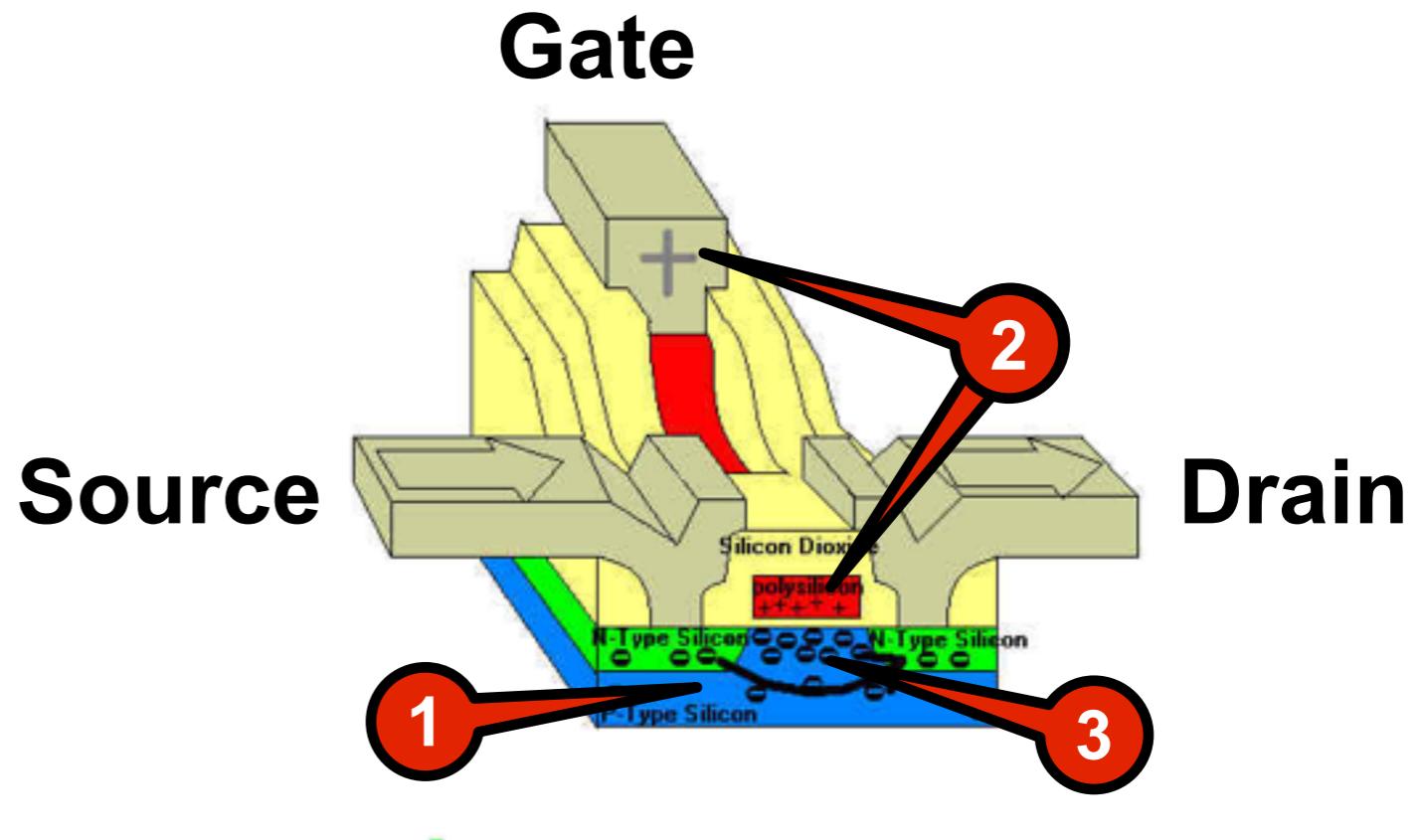
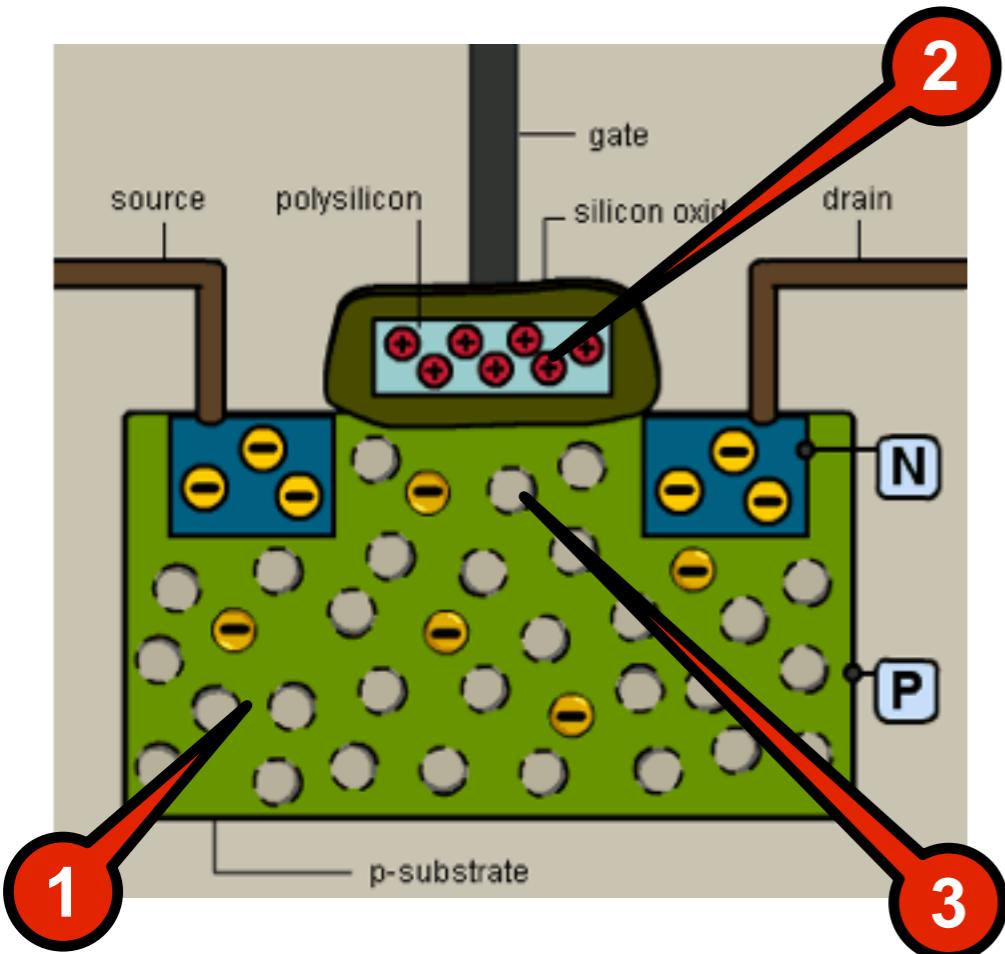
Julius Edgar Lilienfeld

1882 – 1963

Världens första fungerande transistor konstruerades 1947 på Bell Labs i USA.



Schematiska skisser av hur en fälteffekt-transistor fungerar.

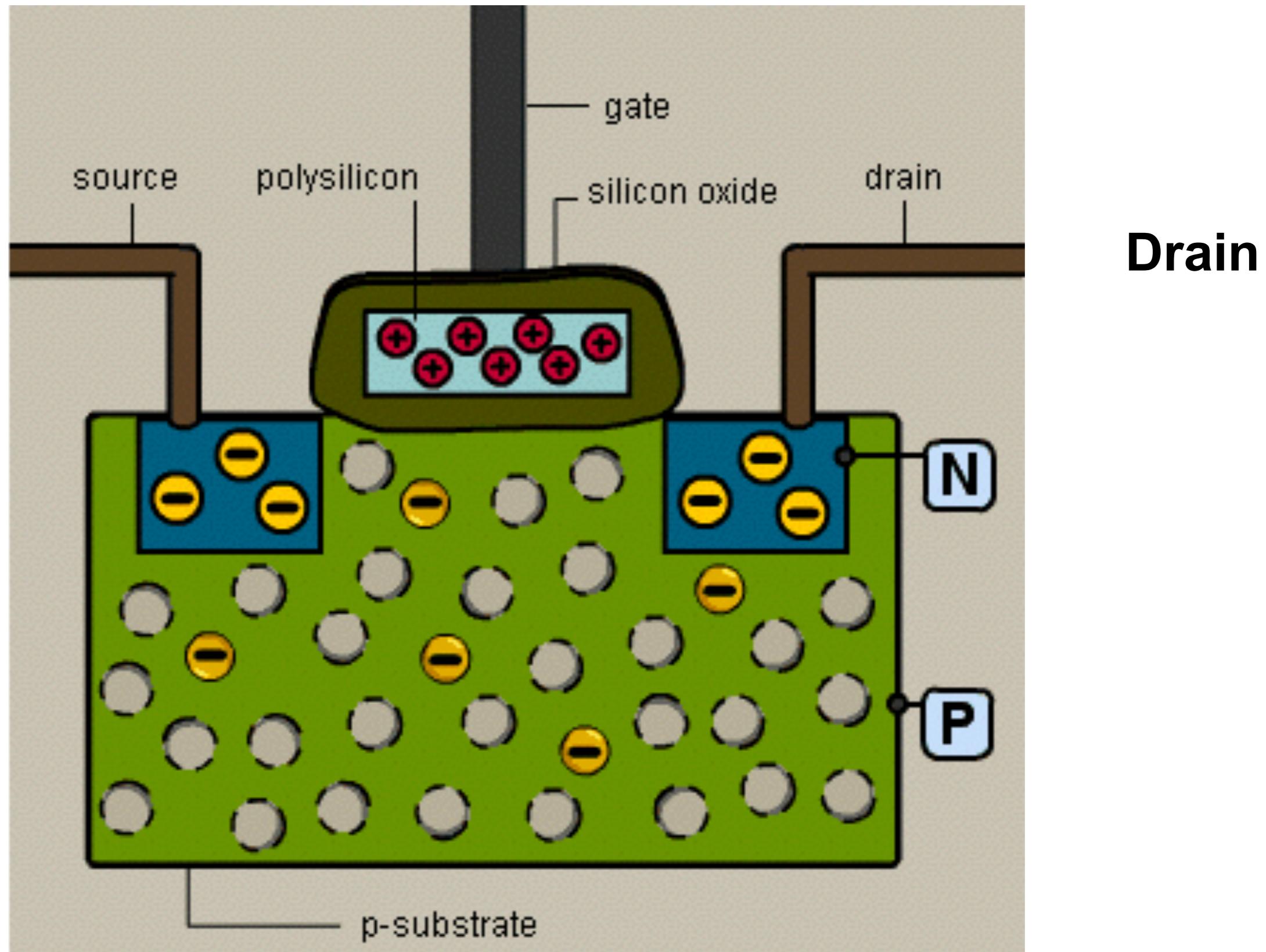


- 1) I detta material finns få fria elektroner.
- 2) Genom att lägga på en positiv spänning här.
- 3) Ökar antalet fria elektroner här.
- 4) Vilket gör så att en ström kan gå från Source till Drain.

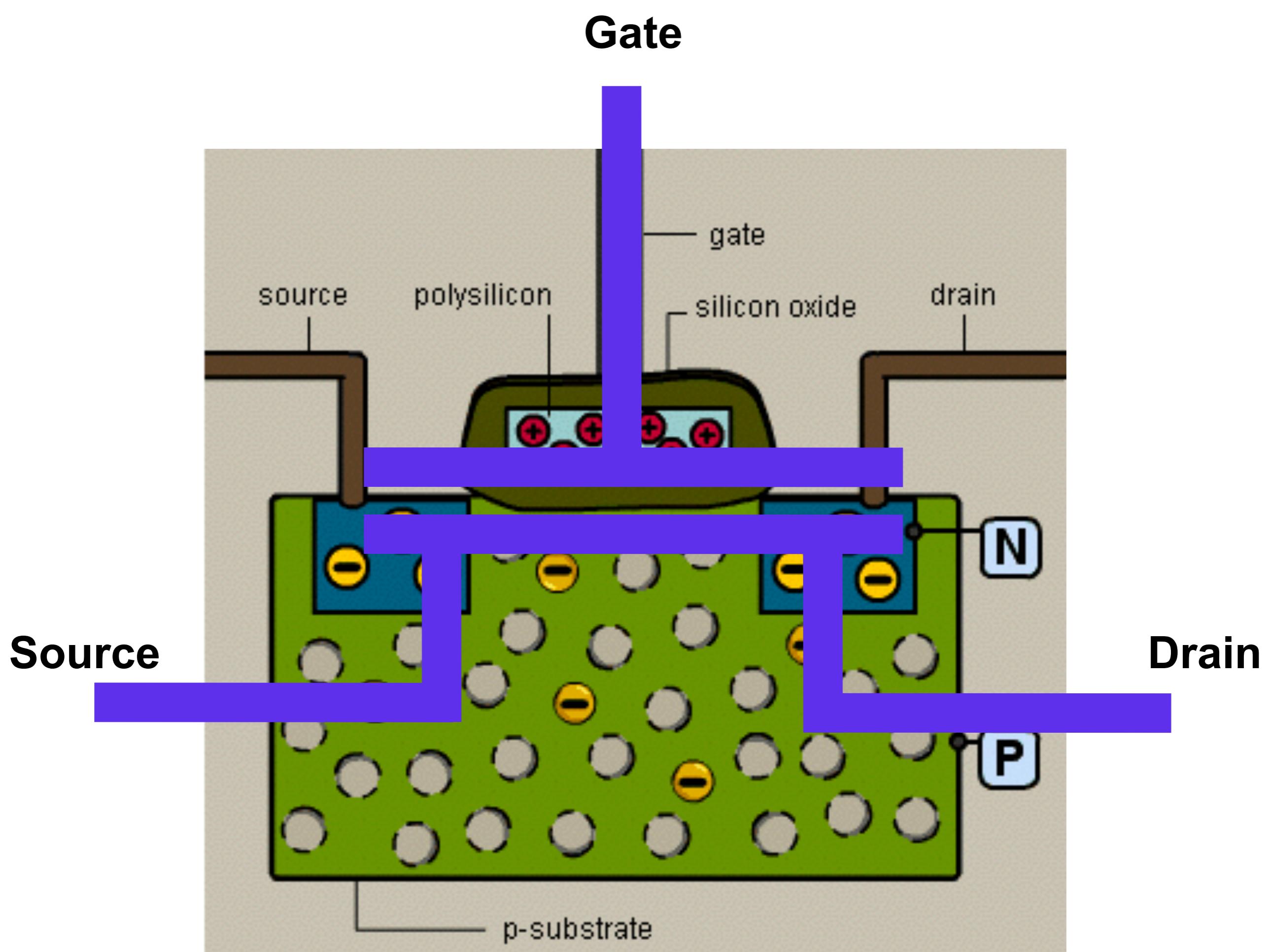
Gate

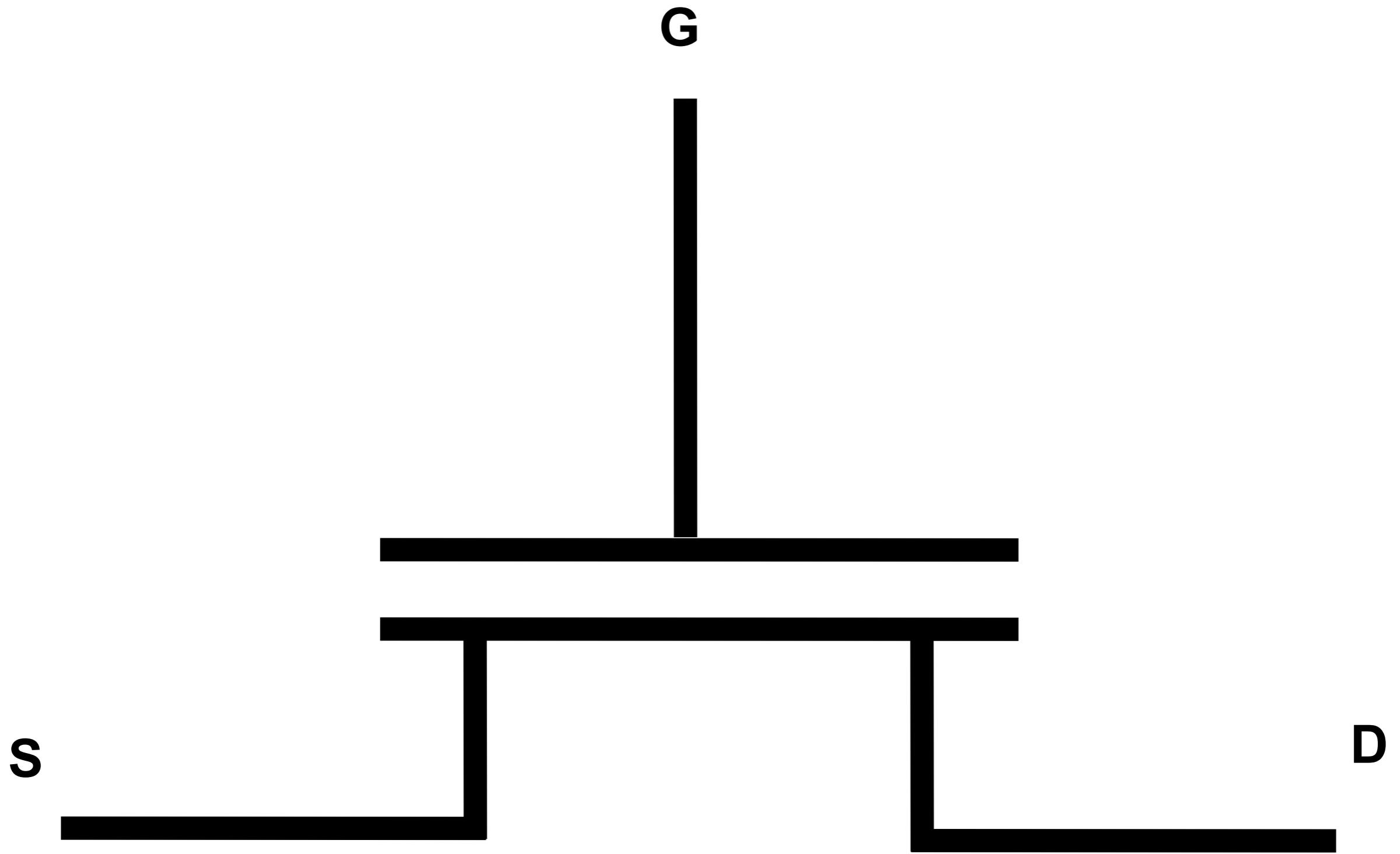
Source

Drain



Gate





En vanlig symbol för en transistor ser ut så här.

Detta är en väldigt bra sida för dig som vill lära dig mer om transistorn och hur den fungerar.

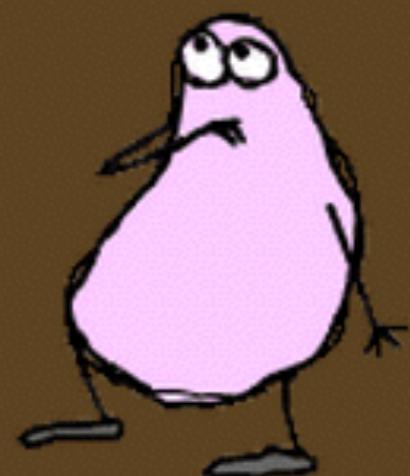
THE TRANSISTOR

BACK 

Contents

- 1. The Transistor - Function
- 2. The Crystal Radio
- 4. The Crystal Detector
- 5. Semiconductor
- 7. Silicon
- 8. Germanium
- 9. Doping
- 10. N-type Dopants
- 11. P-type Dopants
- 12. Dopants in the Crystal Radio
- 13. Rectification
- 14. The Diode
- 15. Reversed Bias
- 16. Forward Bias
- 17. Diode Symbol

- 18. The First Transistor
- 19. The Point-Contact Transistor
- 21. Point-Contact and Crystal Detector
- 22. Point-Contact Circuit
- 26. Point-Contact Symbol
- 27. Today's Transistors
- 28. The MOSFET
- 30. Gate Control
- 31. Water Tap
- 32. MOSFET Symbol
- 33. Amplification
- 34. Switching
- 35. Computers
- 36. The Integrated Circuit
- 37. Small Transistors
- 38. Build the First Transistor
- 39. The Building Game



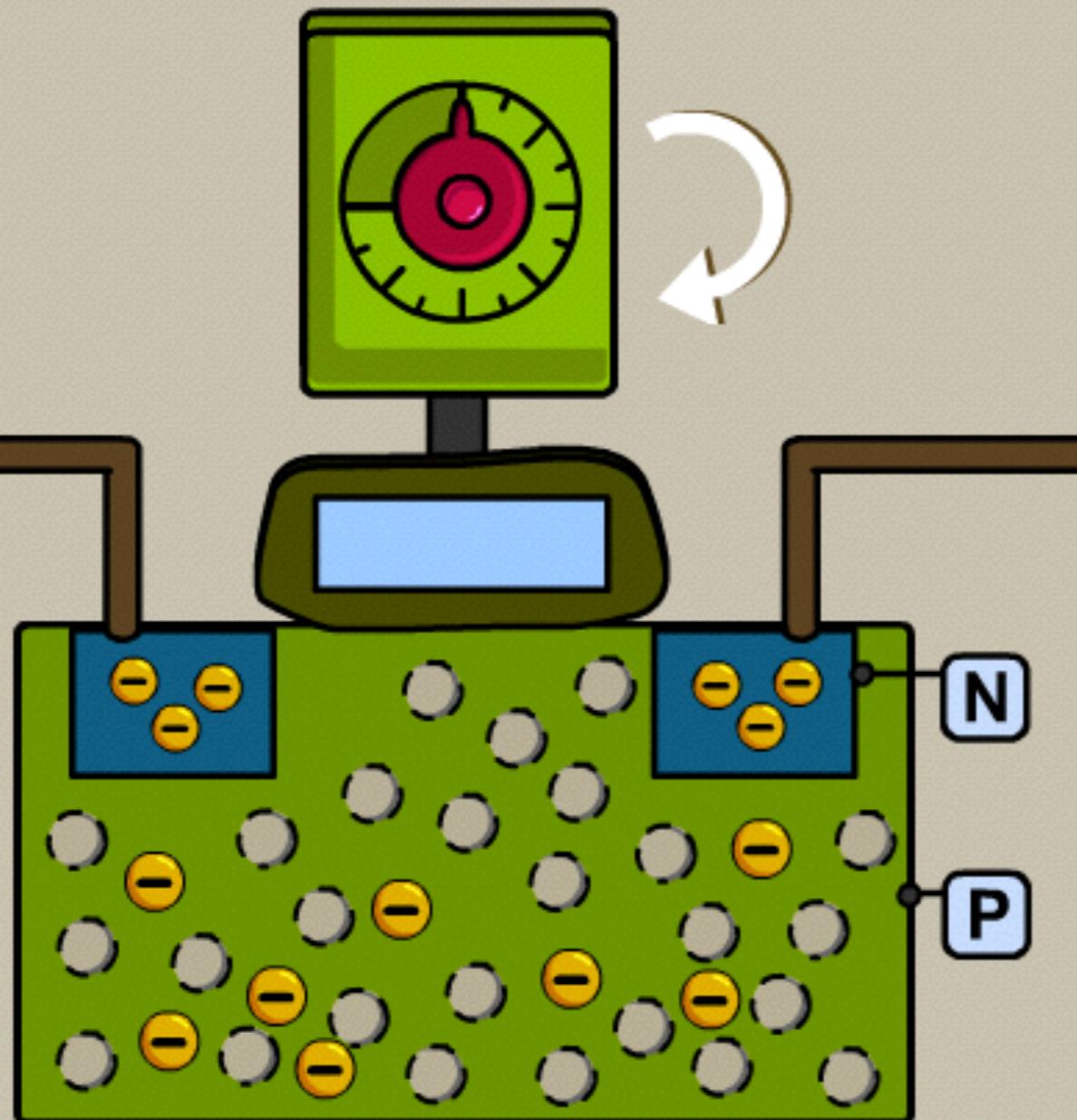
På denna sida kan du själv prova och se hur en transistor fungerar.

THE TRANSISTOR

30:39

BACK

►



Gate Control

When the voltage (charge) of the gate is changed, more or less electrons are attracted from the p-type substrate area. Although there are a lot of holes in the p-substrate there are still some electrons left in this semiconductor area. With the input signal to the gate you can increase the current from source to drain (output signal) as well as decrease it. If there are a lot of positive charges on the gate then it will attract a lot of electrons and the current flowing from source to drain will increase. You can try to change the charge of the gate by modulating the knob and see what happens.

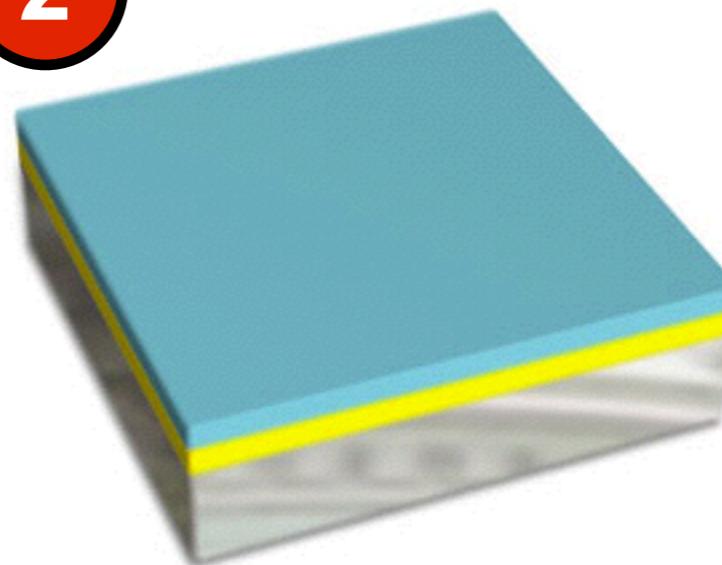
Tillverkning av en transistor steg för steg

<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/transistor/index.html>

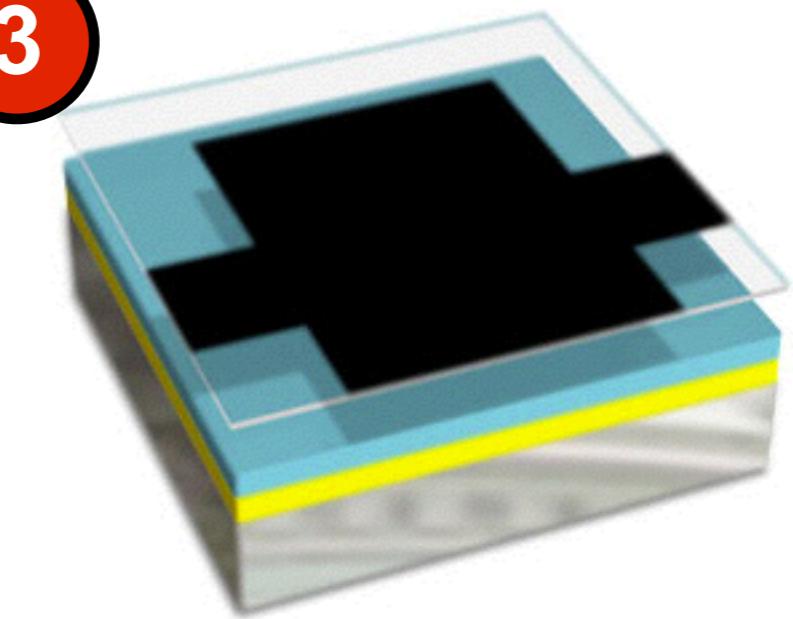
1



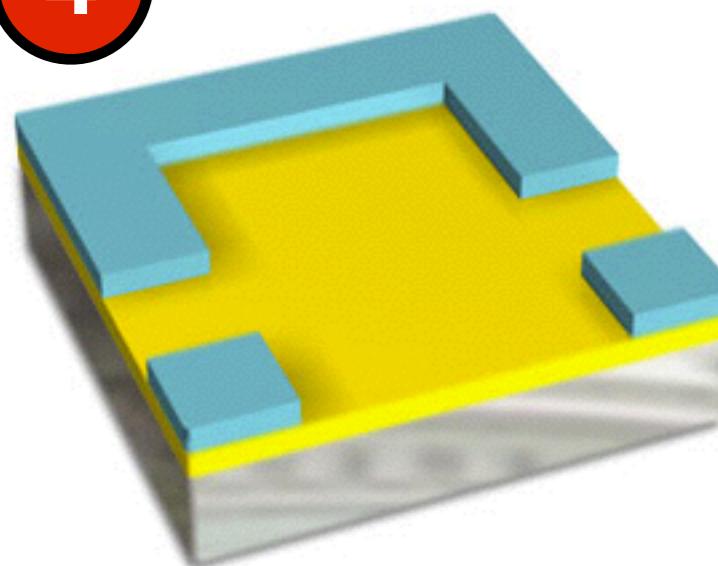
2



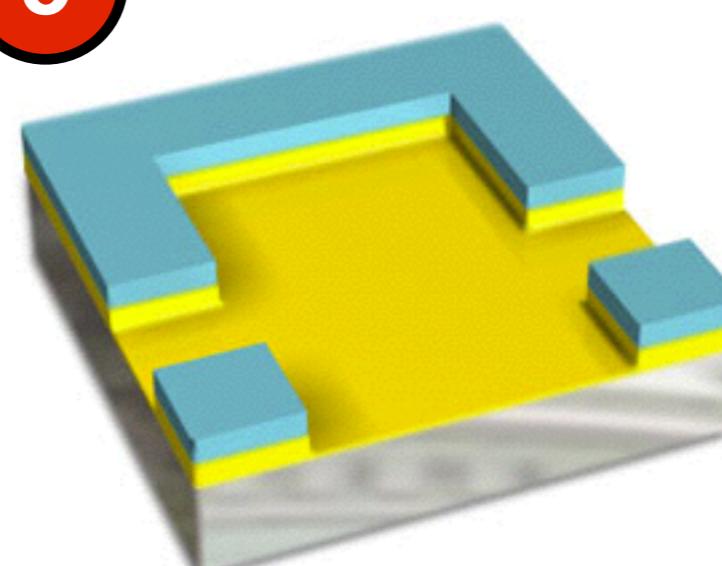
3



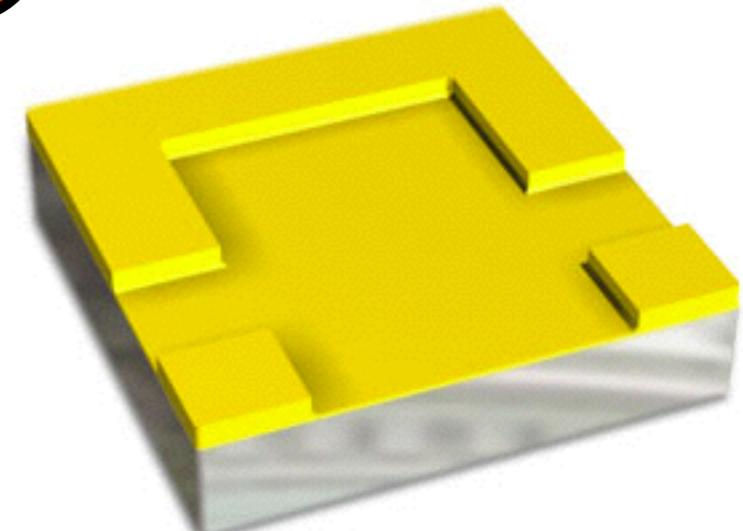
4



5



6



The positively doped silicon wafer is first coated with an insulating layer of silicon dioxide (yellow) through chemical vapor deposition.

An ultraviolet light-sensitive thin layer of photoresist (blue) is applied to the silicon dioxide surface and evenly spread across the wafer.

The first mask is placed over the wafer and ultraviolet light is projected onto the mask. Areas of photoresist exposed to the light are hardened and those shielded remain soft.

The unexposed (and soft) photoresist is removed by washing with a solvent, leaving the hardened resist and underlying silicon dioxide layer intact.

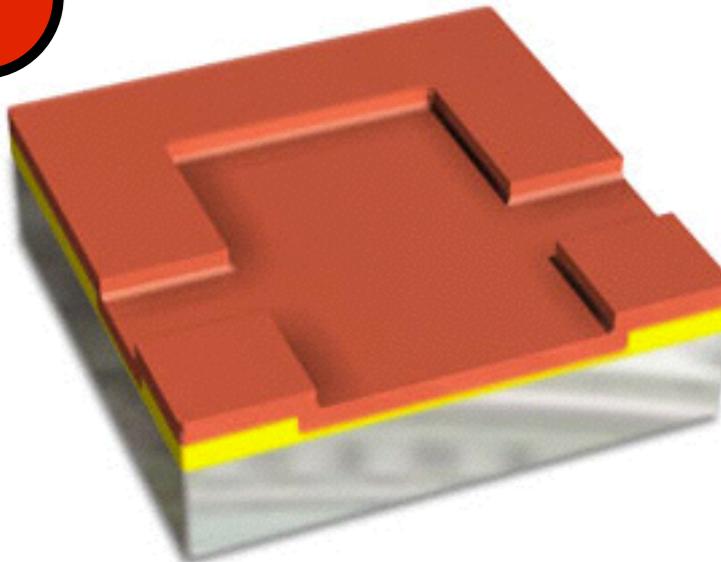
The upper layer of the silicon dioxide is removed by etching with hot gasses, leaving only a very thin layer for insulation.

The hardened photoresist is removed with a chemical solvent leaving an uneven silicon dioxide surface over the entire wafer.

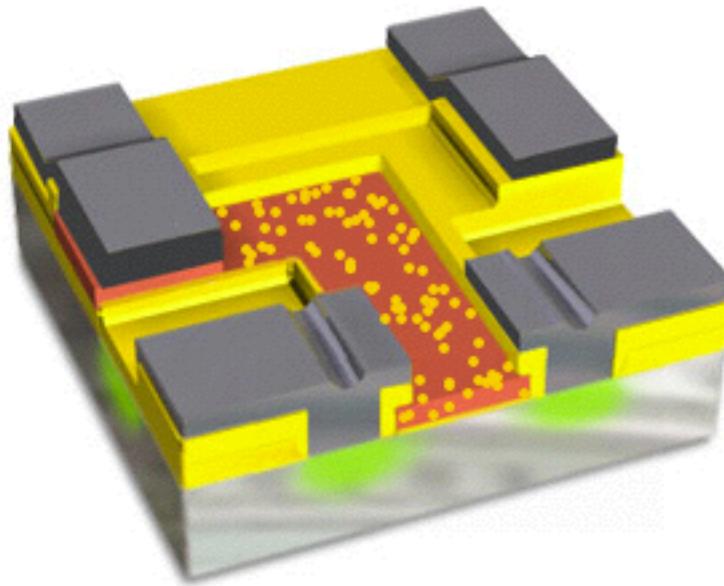
Tillverkning av en transistor steg för steg

<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/transistor/index.html>

7

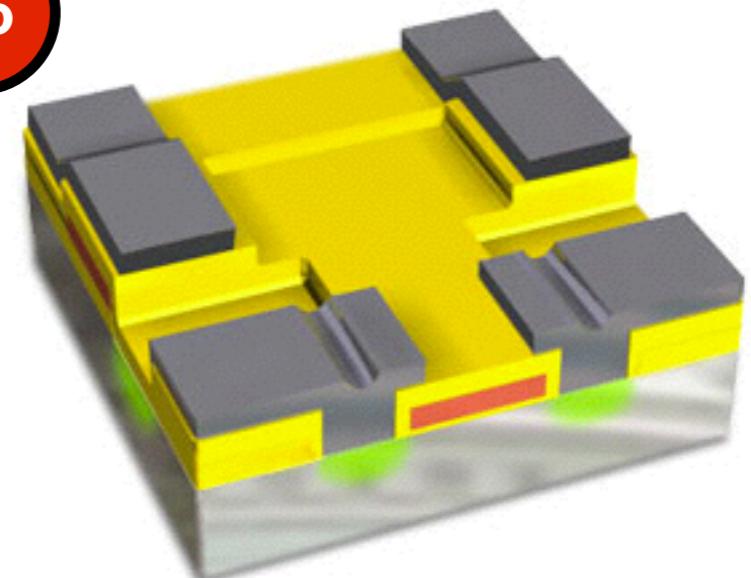


A layer of polysilicon is then deposited onto the silicon dioxide surface using chemical vapor deposition. This material will serve as the transistor's gate.



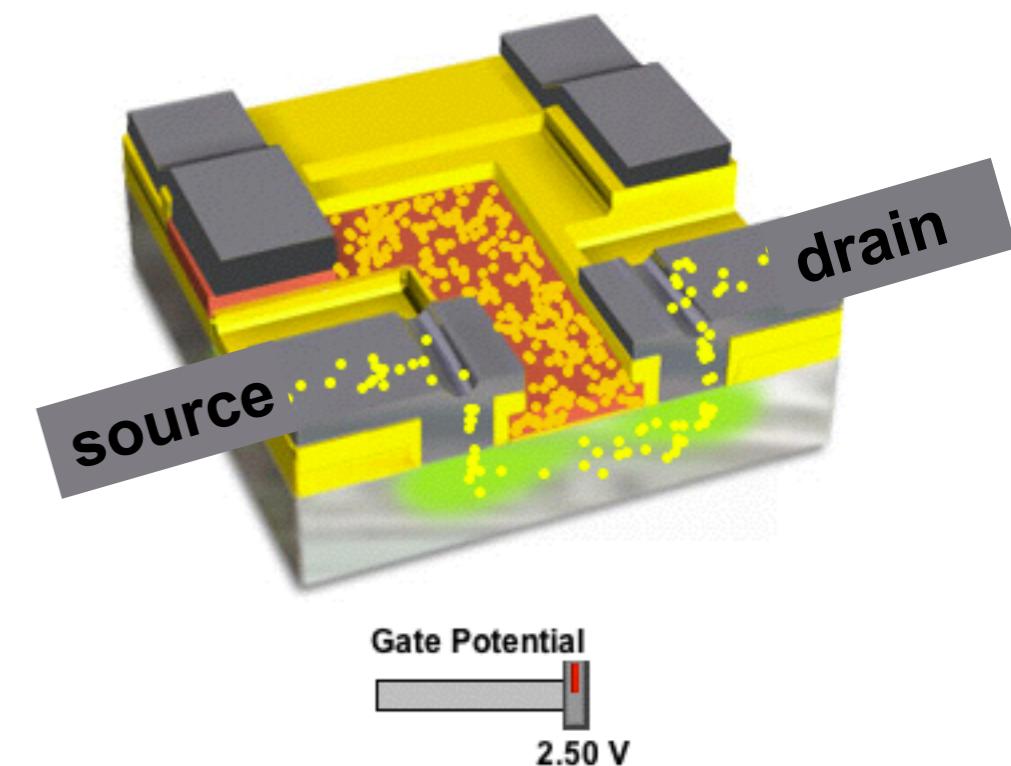
Gate Potential
0.80 V

25



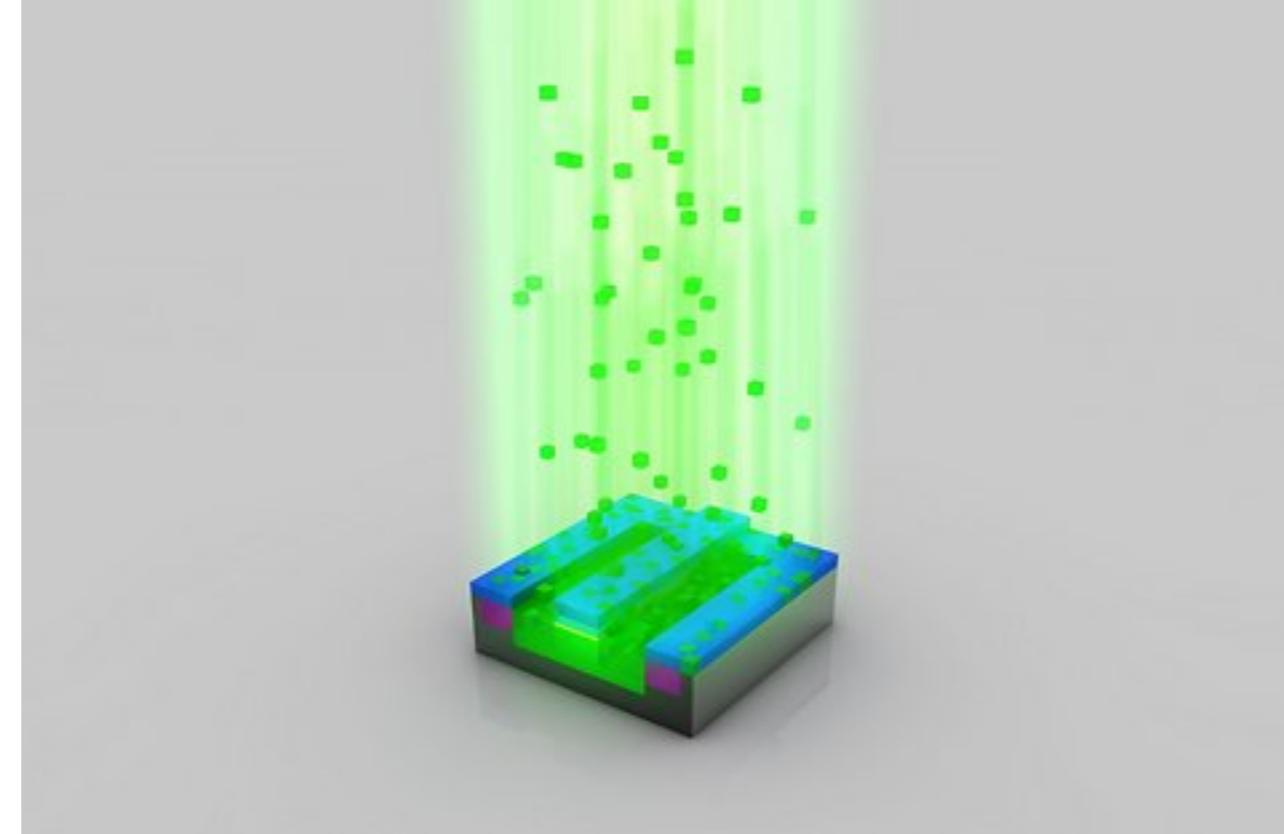
The last resist is washed away with solvent and the transistor is finished, along with millions of its neighbors on the wafer.

Med en tillräckligt hög gate-spänning fylls gapet mellan source och drain med tillräckligt många fria elektroner för att en ström mellan source och drain skall vara möjlig.



Dopning

En färdig krets består av flera lager i en tredimensionell struktur. Med fotolitografinas hjälp etsas varje lager in i kiselplattan

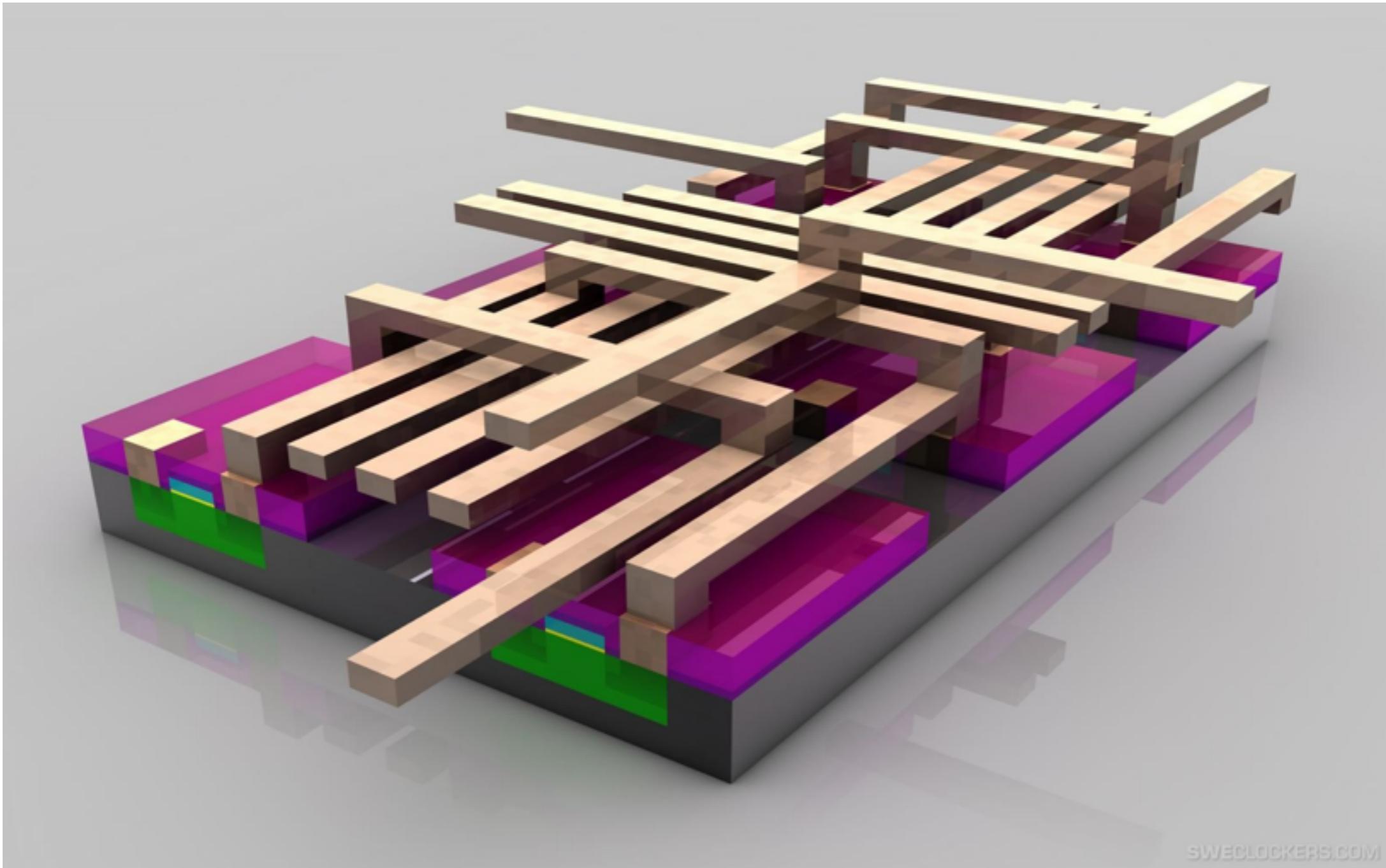


Vissa lager kräver dock specialbehandling – dopning. Det innebär att kemiska orenheter förs in i kislet för att förändra de elektriska egenskaperna. Detta är nödvändigt för att skapa transistorer.

En dopningsmetod som Intel använder kallas för jonimplantat. Här bombarderas kiselplattan med joner som rör sig i mycket hög hastighet (300 000 km/h). De delar som inte ska dopas skyddas återigen av ett lager fotoresist.

Ledningsbanor

Ledningsbanor som kopplar samman transistorerna byggs upp lager för lager. Detta kallas för processorns arkitektur.



Från sand till krets – en processors födelse

<http://www.sweclockers.com/artikel/6188-fran-sand-till-krets-en-processors-fodelse>

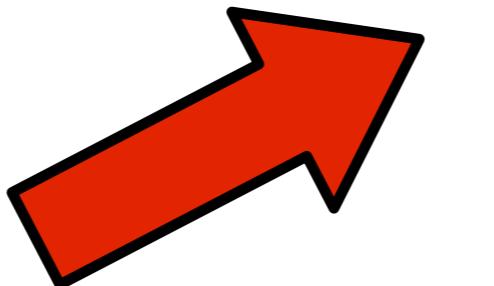
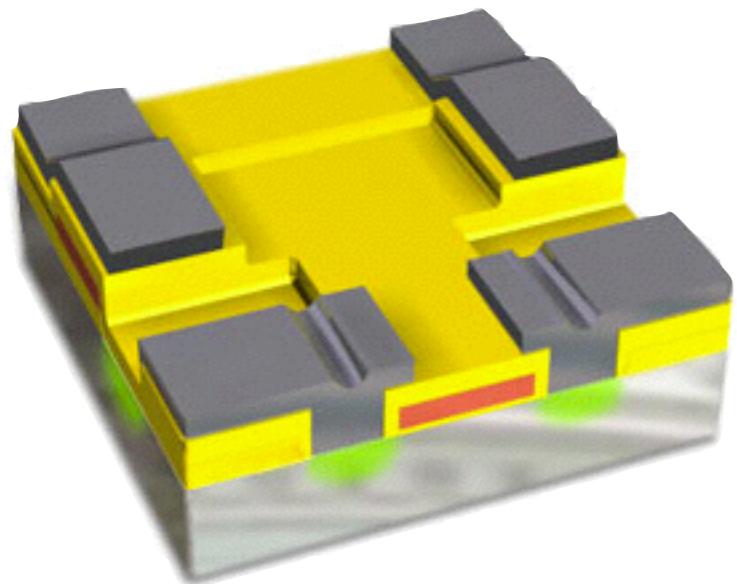
TIPS

Här hittar du en utmärkt artikel på svenska som steg för steg beskriver hur Intel tillverkar sina processorer.

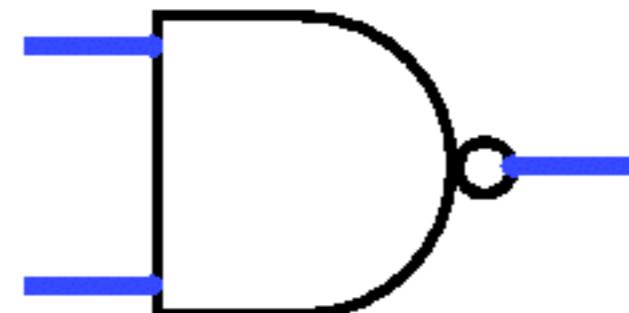
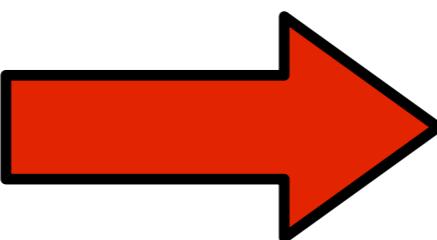
*Eric Stenberg IT1
Hösten 2012*

Från transistor till grind

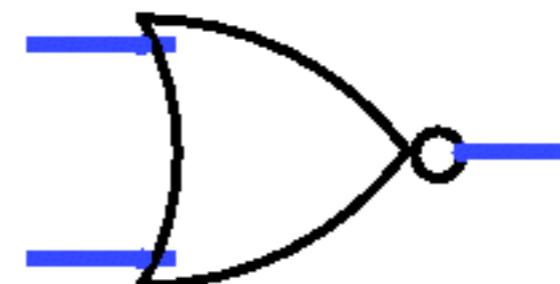
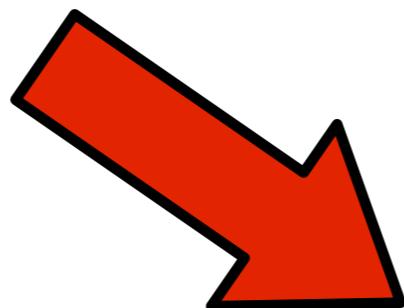
Hur kan vi använda transistorer för att tillverka logiska grindar?



NOT

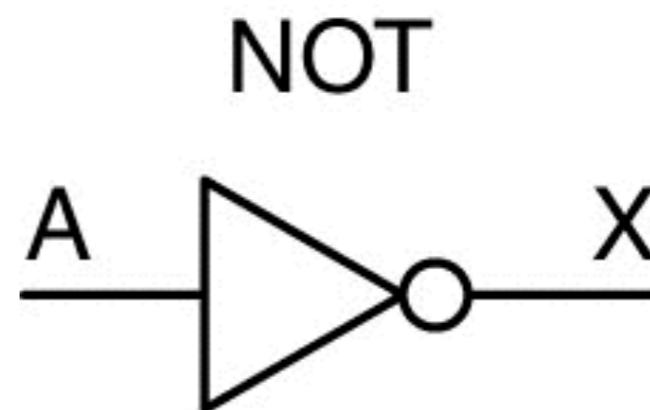
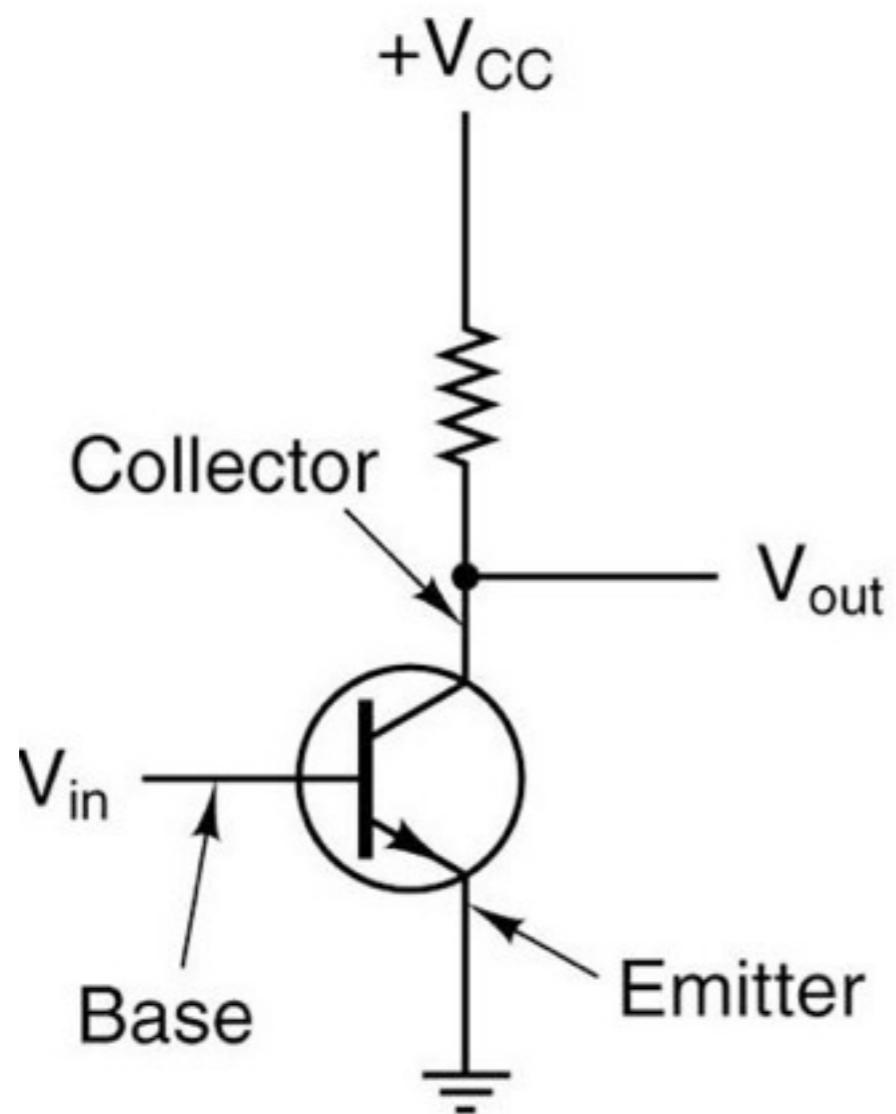


NAND



NOR

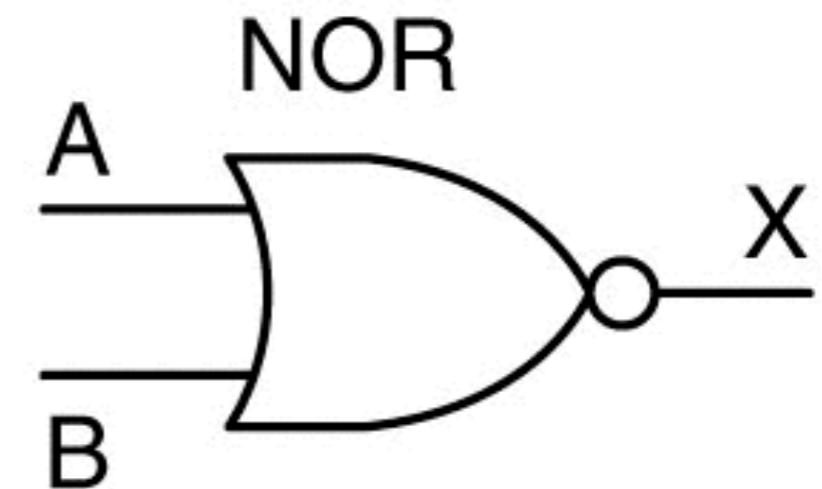
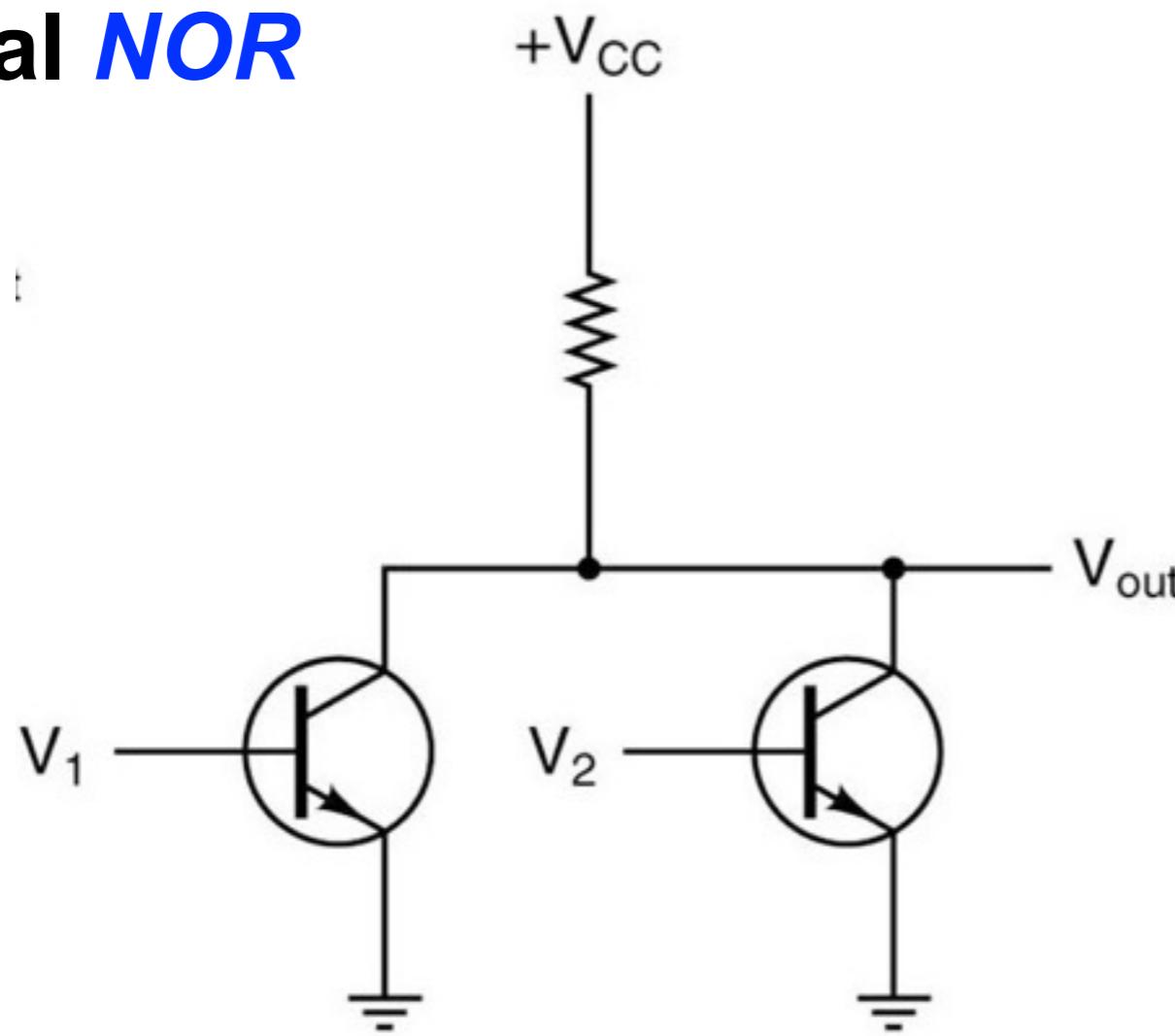
An *inverter* - Logical *NOT*



| V_{in} | V_{out} |
|----------|-----------|
| low | high |
| high | low |

| A | X |
|-----|-----|
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |

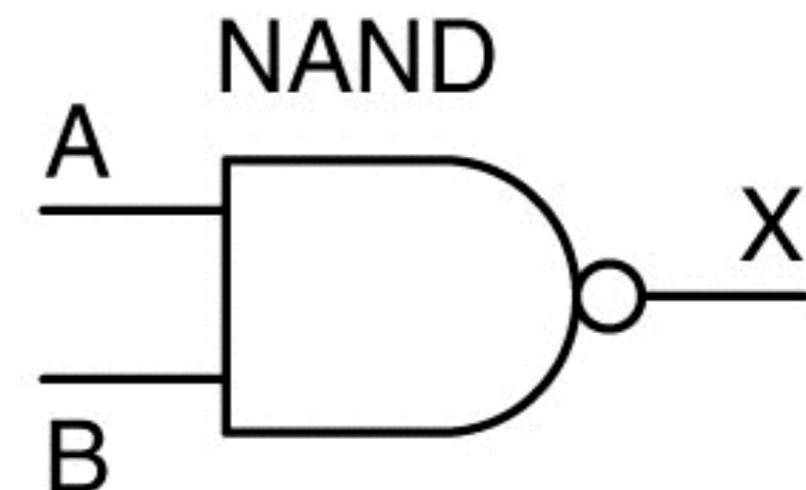
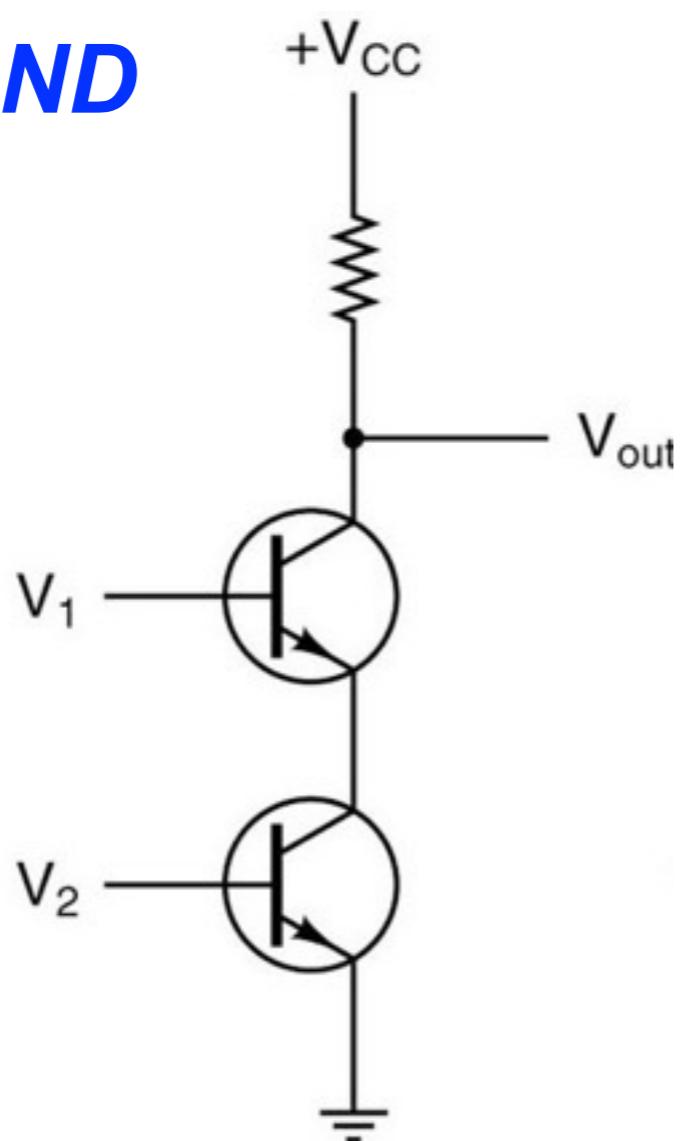
Logical **NOR**



| V_1 | V_2 | V_{out} | A or B | a nor b = not (A or B) |
|-------|-------|-----------|--------|------------------------|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Low → 0 High → 1

Logical **NAND**



| V_1 | V_2 | V_{out} | A and B | A nand B = not (A and B) |
|-------|-------|-----------|---------|--------------------------|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |

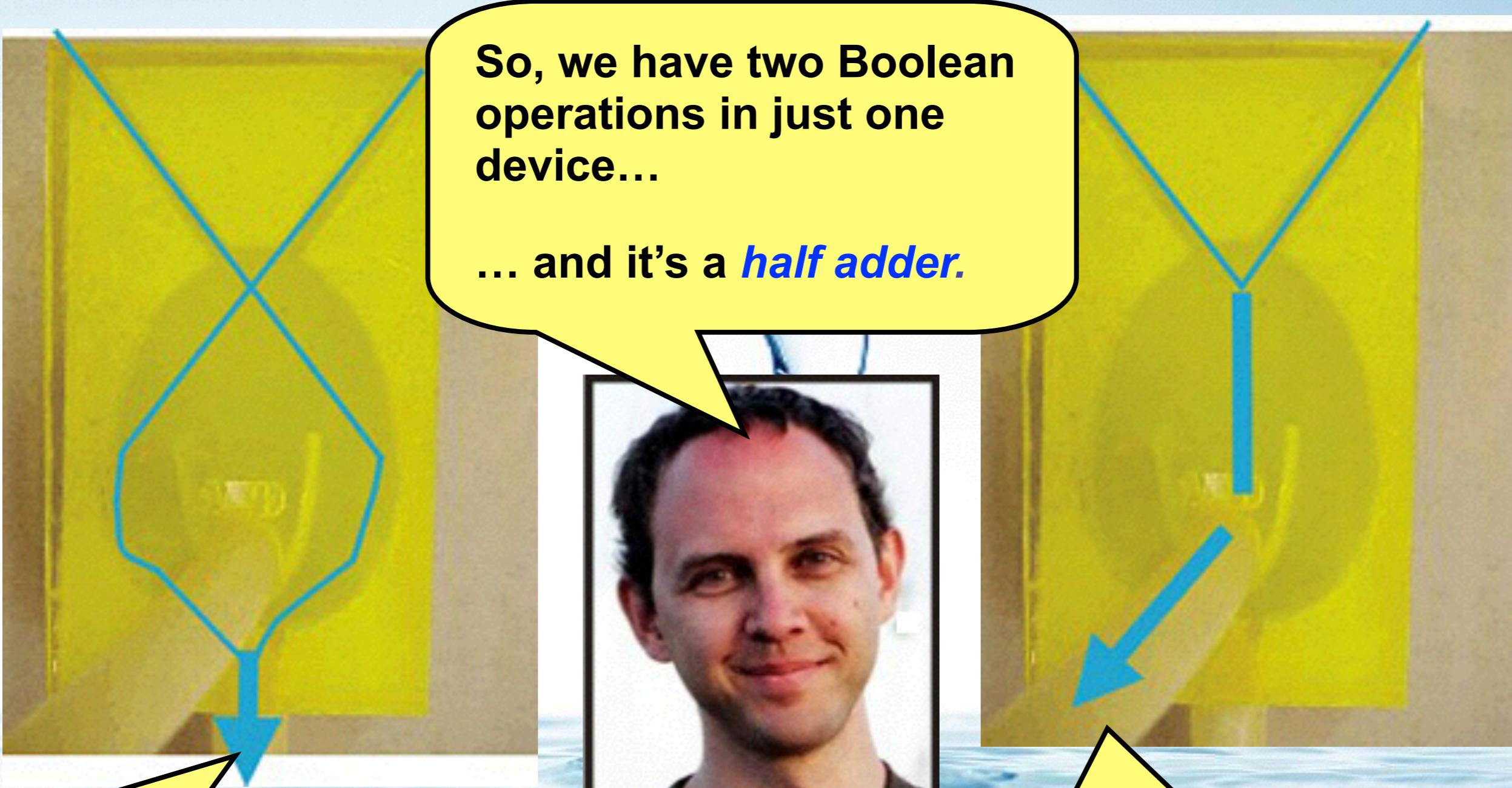
Low → 0 High → 1



Programmable Water

When just one of them is "on"...

When both are "on", the two jets collide, going vertically down to the "U" piece, that collects the water.



In other words, it's a **XOR** gate.



Paulo Blikstein

In other words, an **AND** gate.

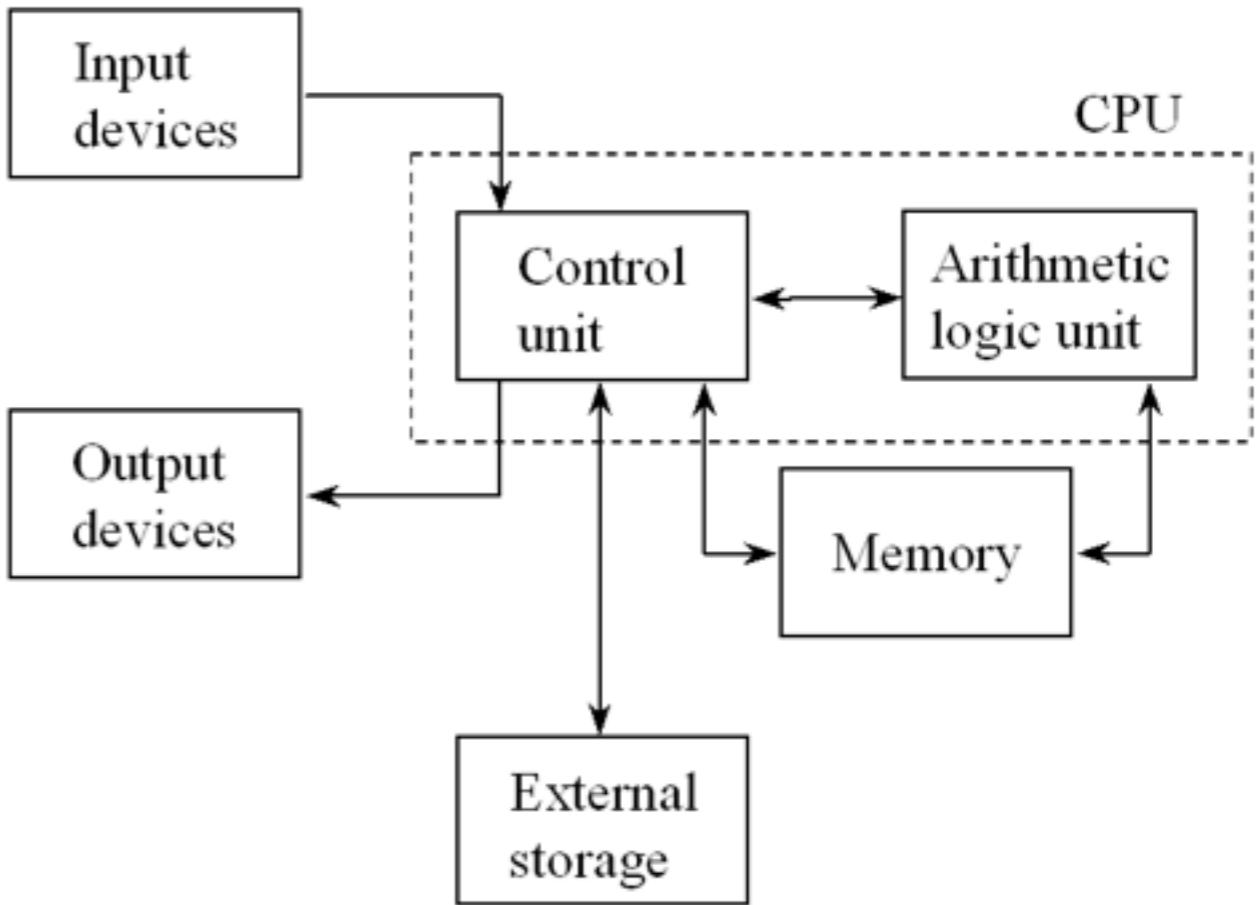


Ett **moderkort** (äldre benämningar är **systemkort** och **bakplan**) är ett centralt **kretskort** försett med ett antal uttag där mindre kretskort kan kopplas in. Ett moderkort binder på så vis samman delarna i ett elektroniskt system, exempelvis i en **dator**.



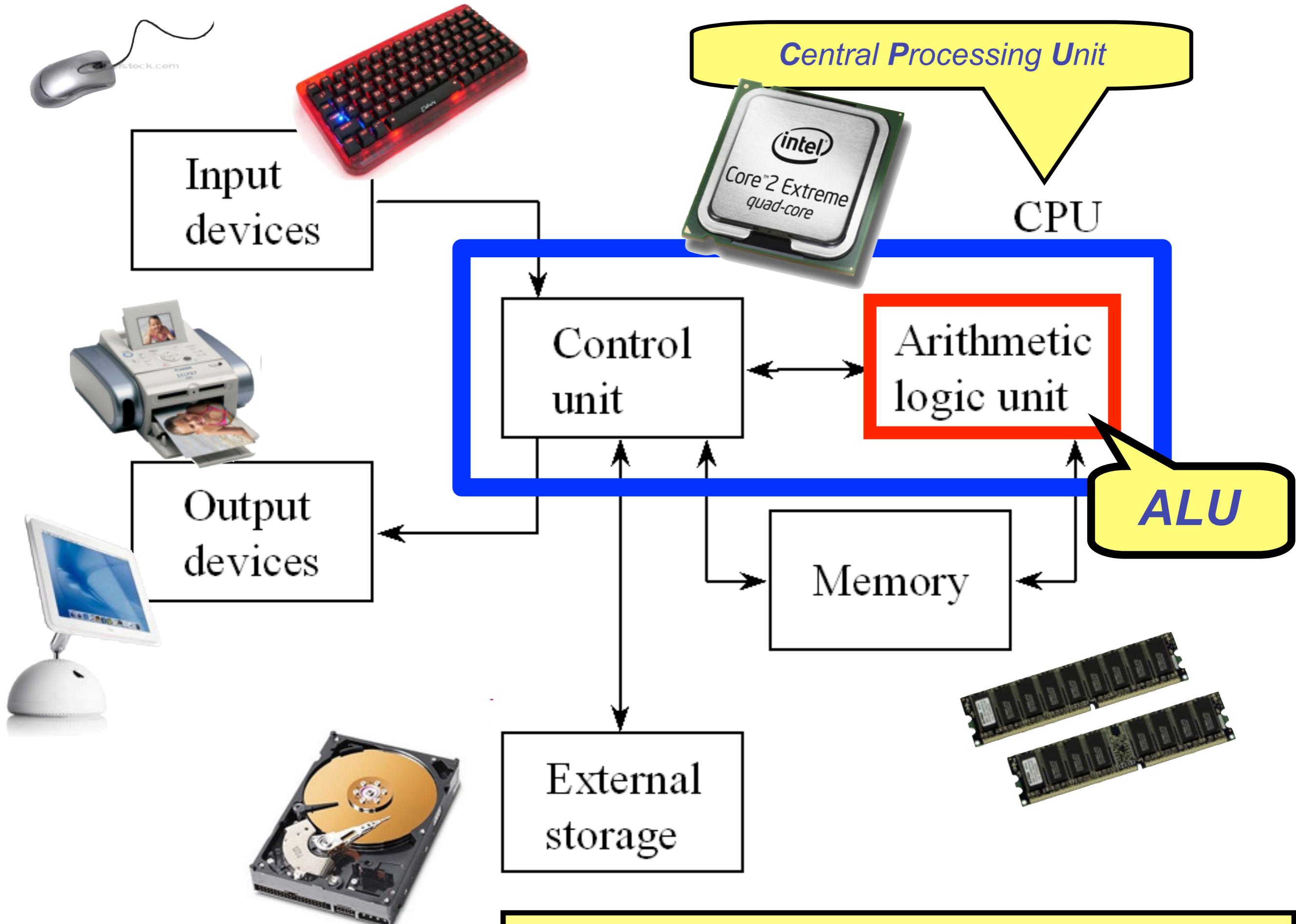
Moderkort

Ett moderkort (äldre benämningar är systemkort och bakplan) är ett centralt kretskort försett med ett antal uttag där mindre kretskort kan kopplas in. Ett moderkort binder på så vis samman delarna i ett elektroniskt system, exempelvis i en dator.

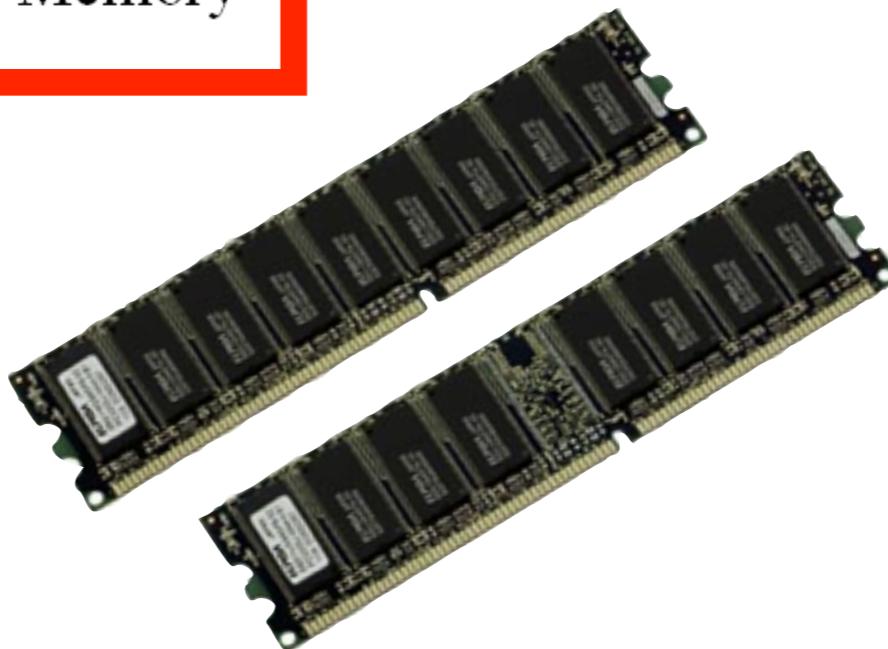
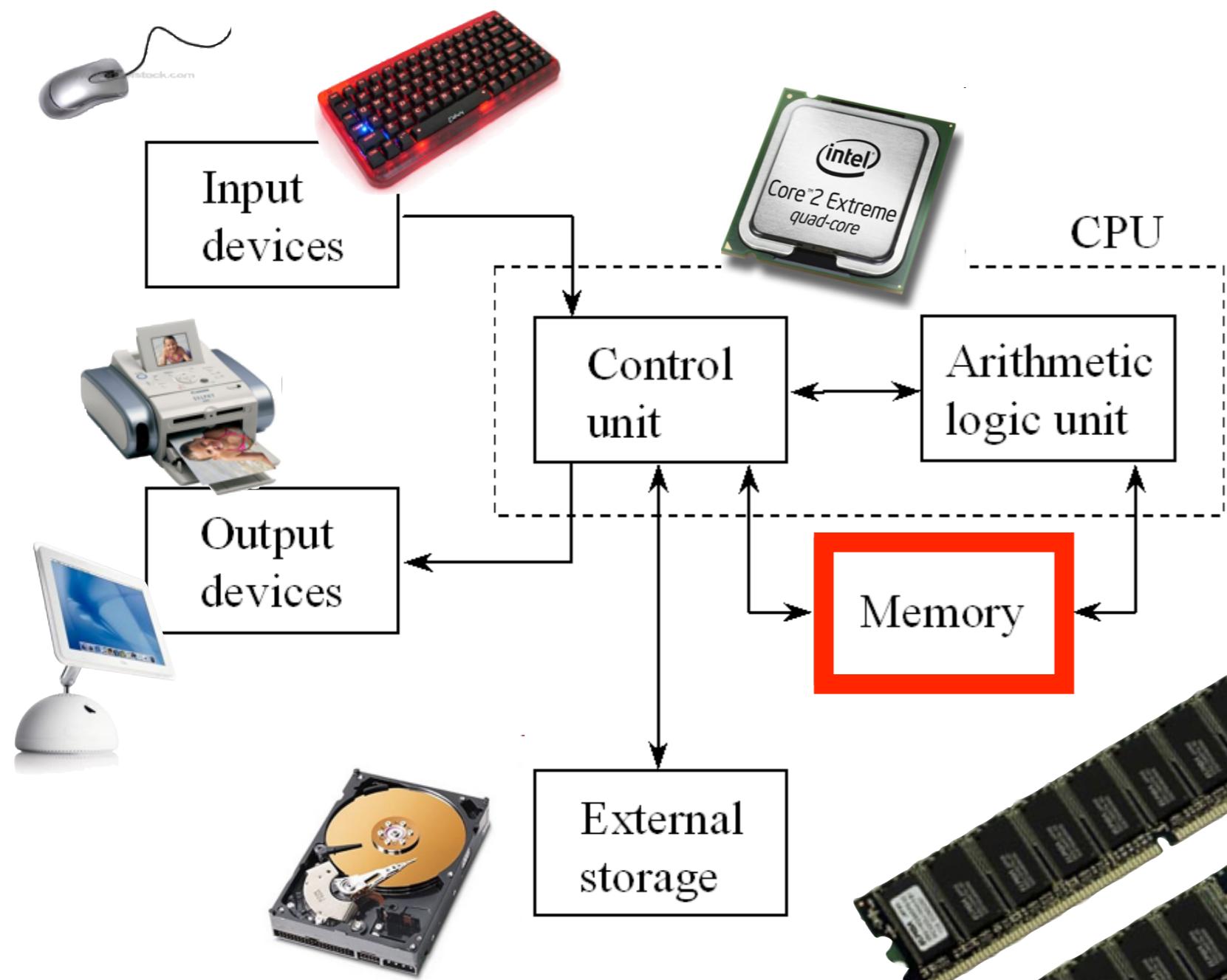


Dators väsentliga delar

Nästan alla moderna datorer är uppbyggda efter samma modell med en (eller flera) CPU (Central Processing Unit, processorn), ett internt minne, yttre minne (sekundärminne, tex hårddisk) och en eller flera I/O-enheter (input/output).



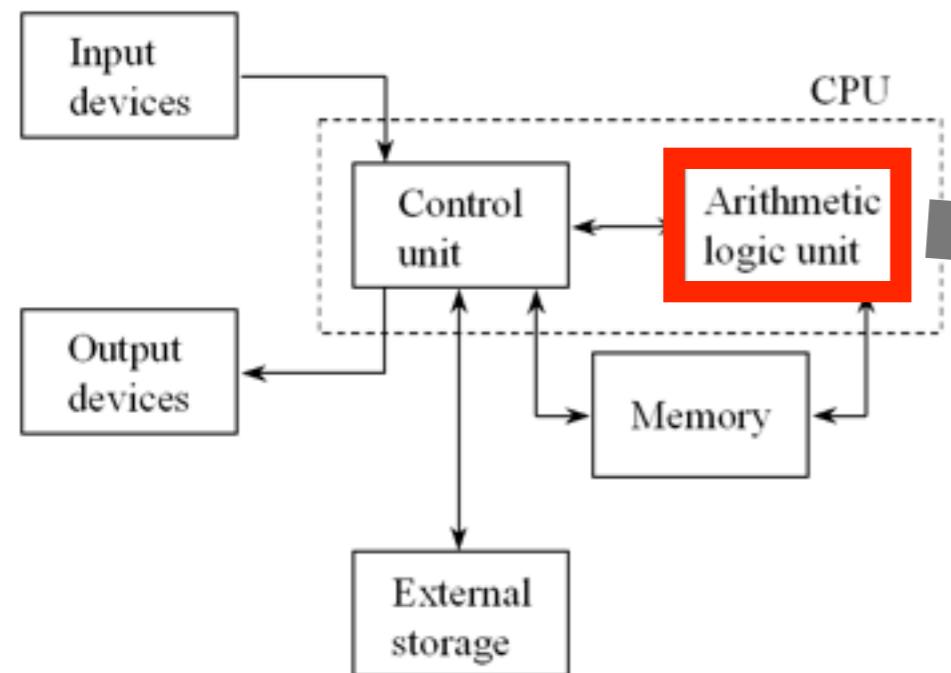
Detta är von Neumann-modellen



The von Neumann architecture: (~1950) is a design model for a **stored-program** digital computer that uses a processing unit and a **single** separate **storage structure** **to hold both instructions and data**.

John von Neumann
1903 - 1957

Arithmetic Logic Unit



Vad vill vi utföra?

Funktion

addition

operand 1

10

Text

operand 2

117

Två
stycken
parametrar,
kallas
vanligen för
operander.

ALU

Resultatet \neq 0?

Resultat

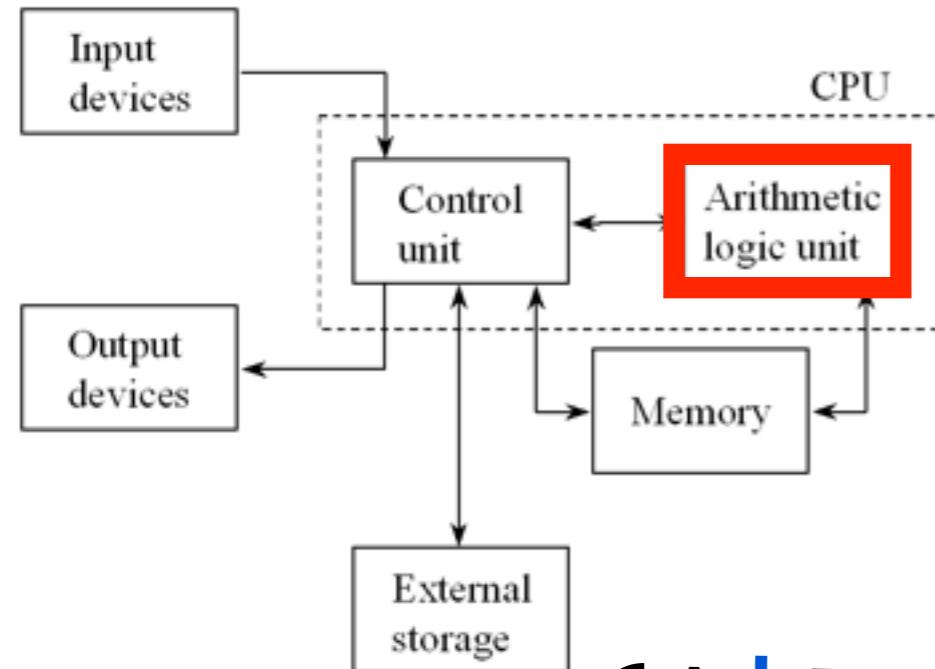
127

Vanligen finns även en
eller flera **status**-bitar.

Status som binärt sant/falskt (1/0)

$Resultat = Funktion(operand\ 1, operand\ 2)$

Arithmetic Logic Unit



Aritmetik

$A + B$

$A - B$

$A * B$

A / B

$A < B$

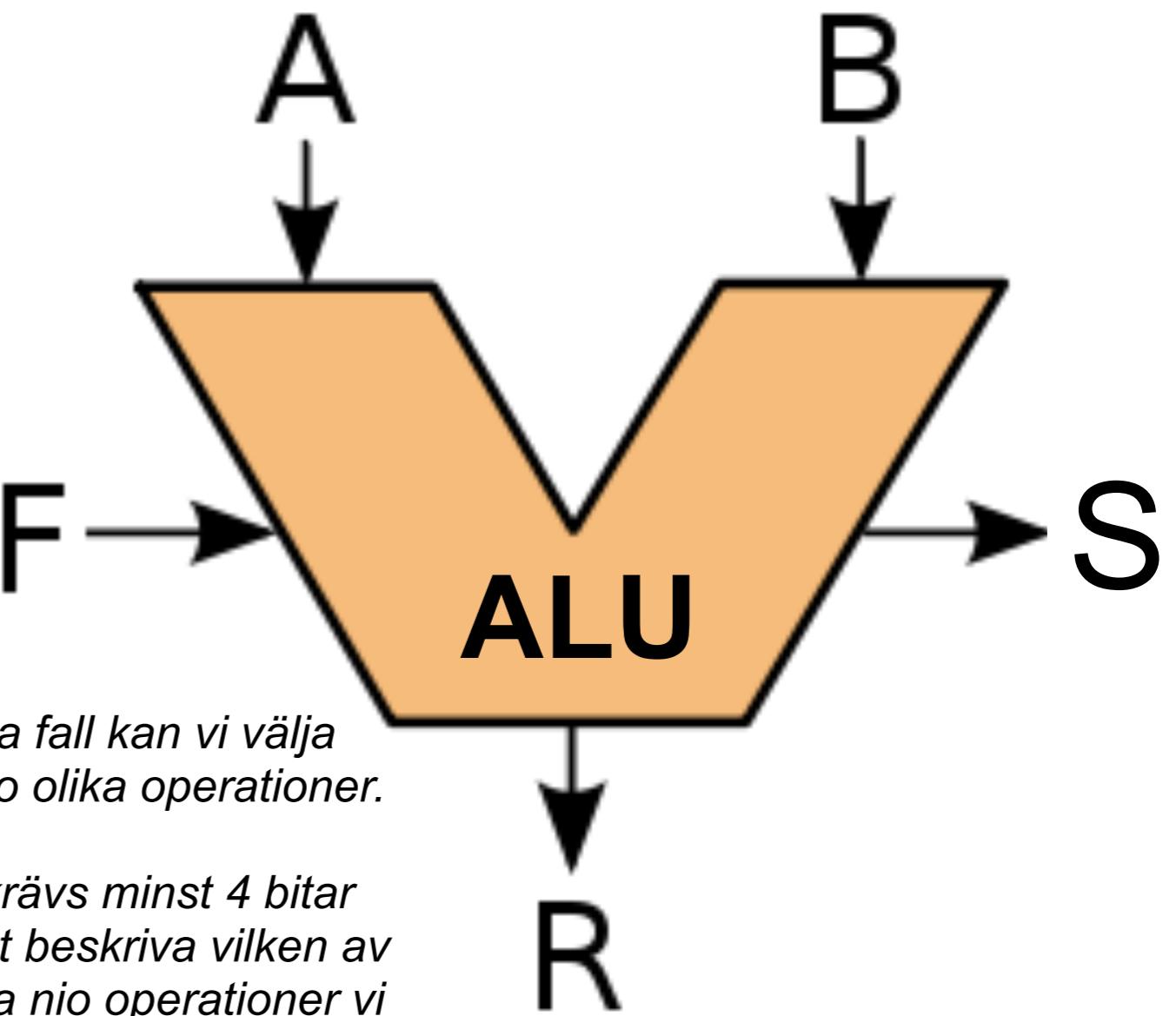
$A == B$

$A \text{ AND } B$

$A \text{ OR } B$

$A \text{ XOR } B$

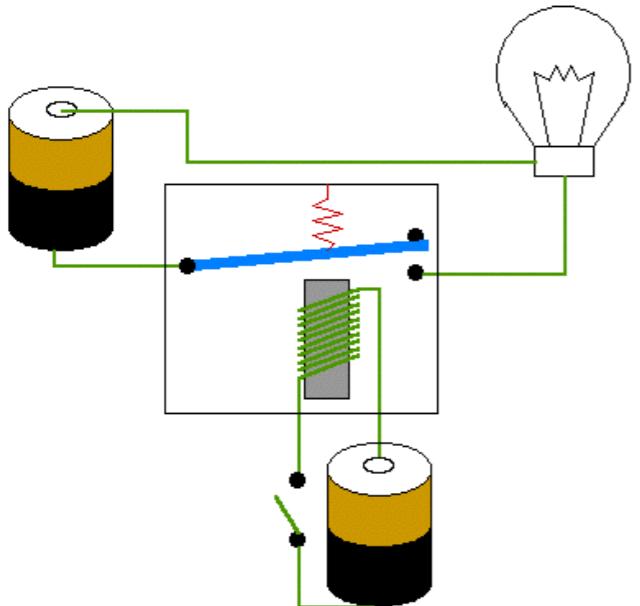
Logik



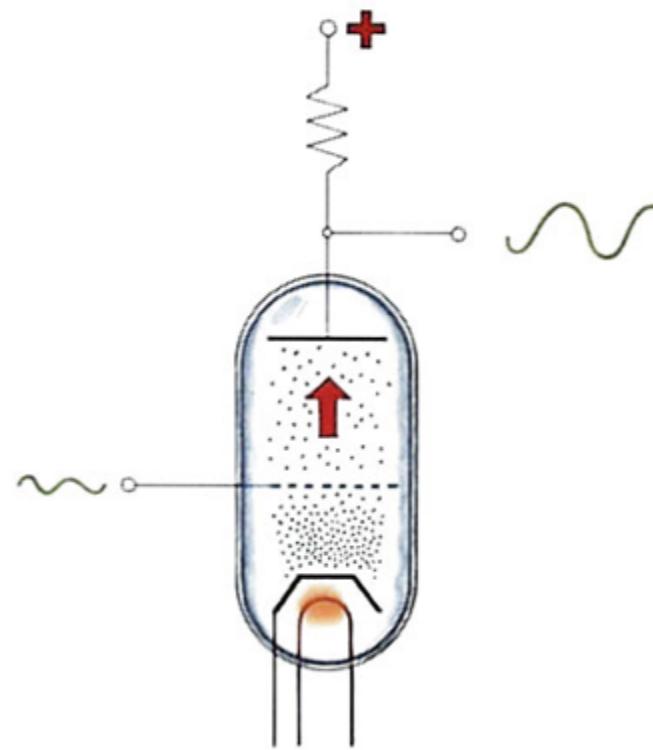
I detta fall kan vi välja
på nio olika operationer.

Det krävs minst 4 bitar
för att beskriva vilken av
dessa nio operationer vi
vill utföra.

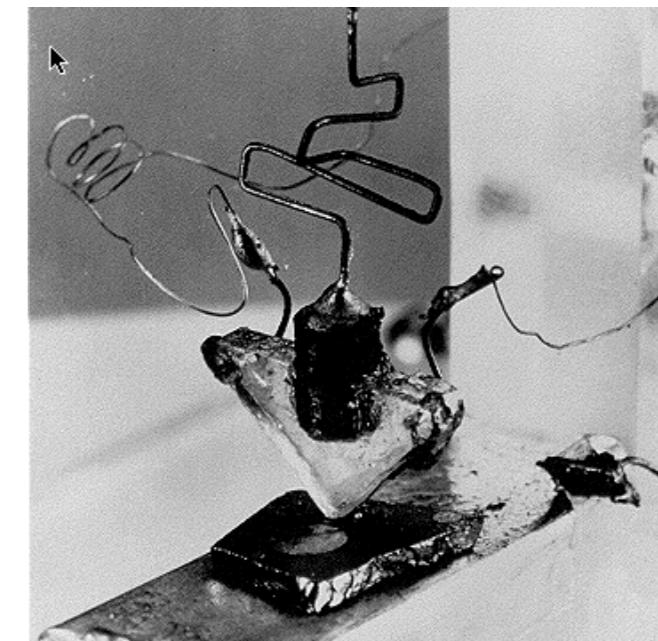
Digitalteknik



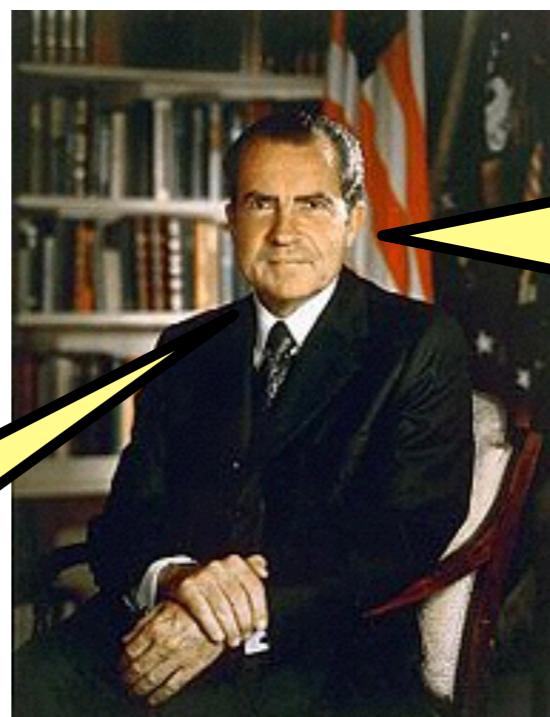
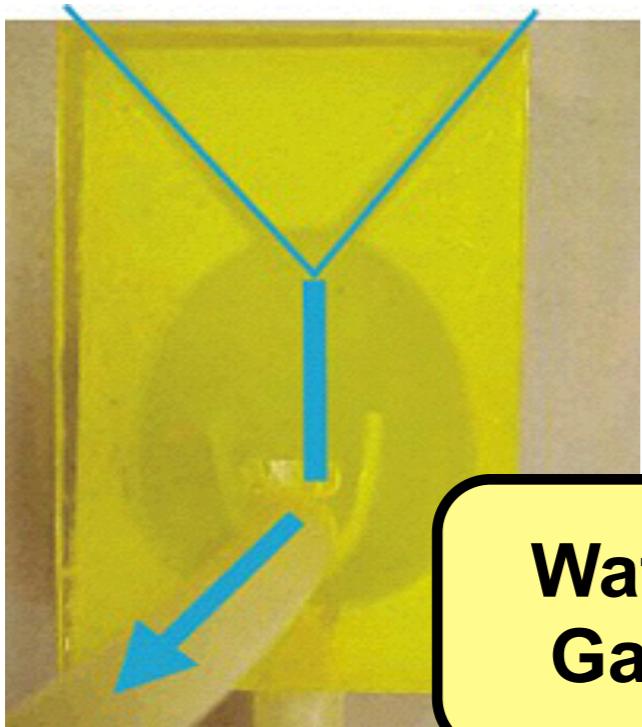
Relä



Triod



Transistor

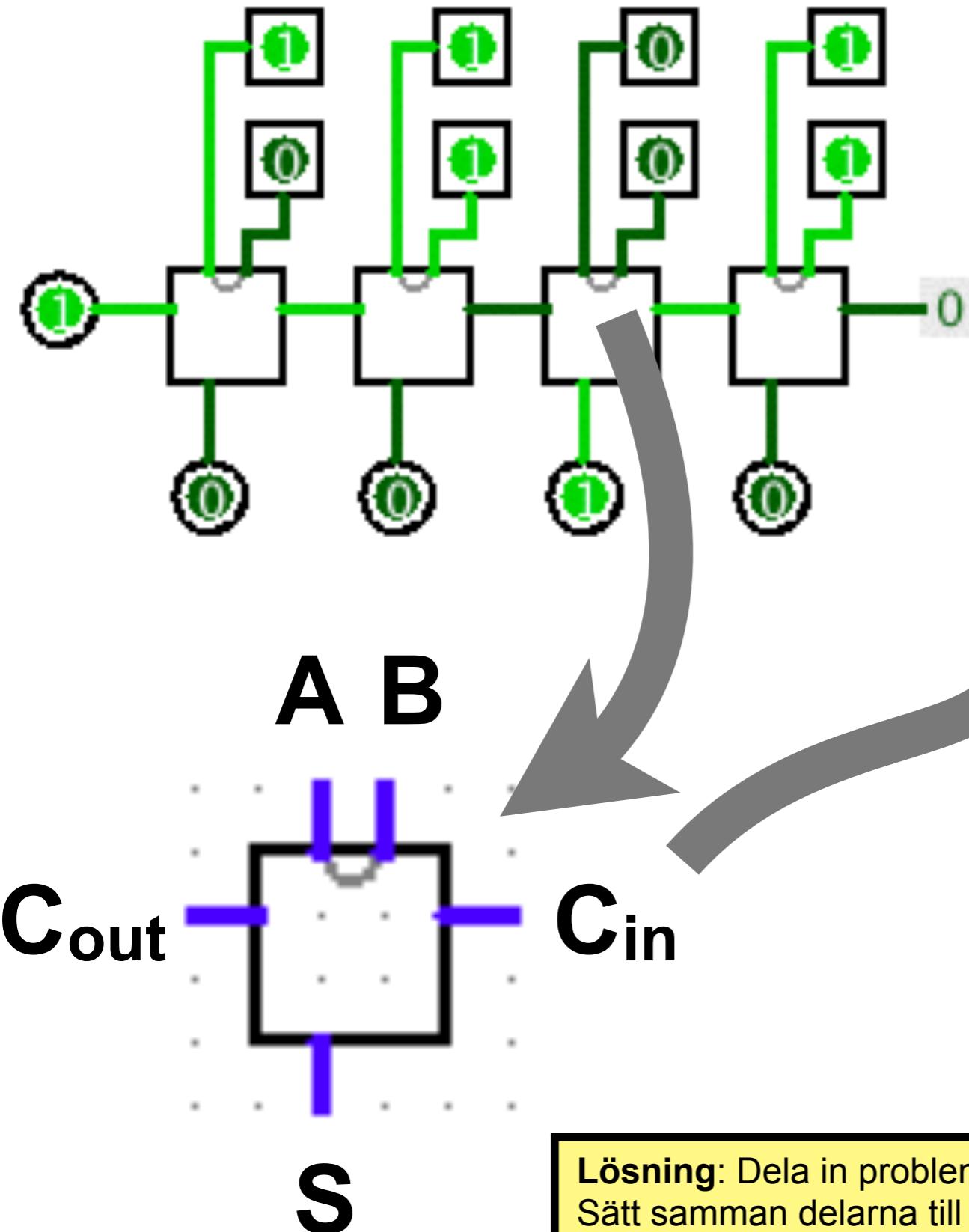


Alla dessa tekniker kan användas för att konstruera **digitala logiska kretsar** ...

... till exempel för att addera två tal.

Ripple adder

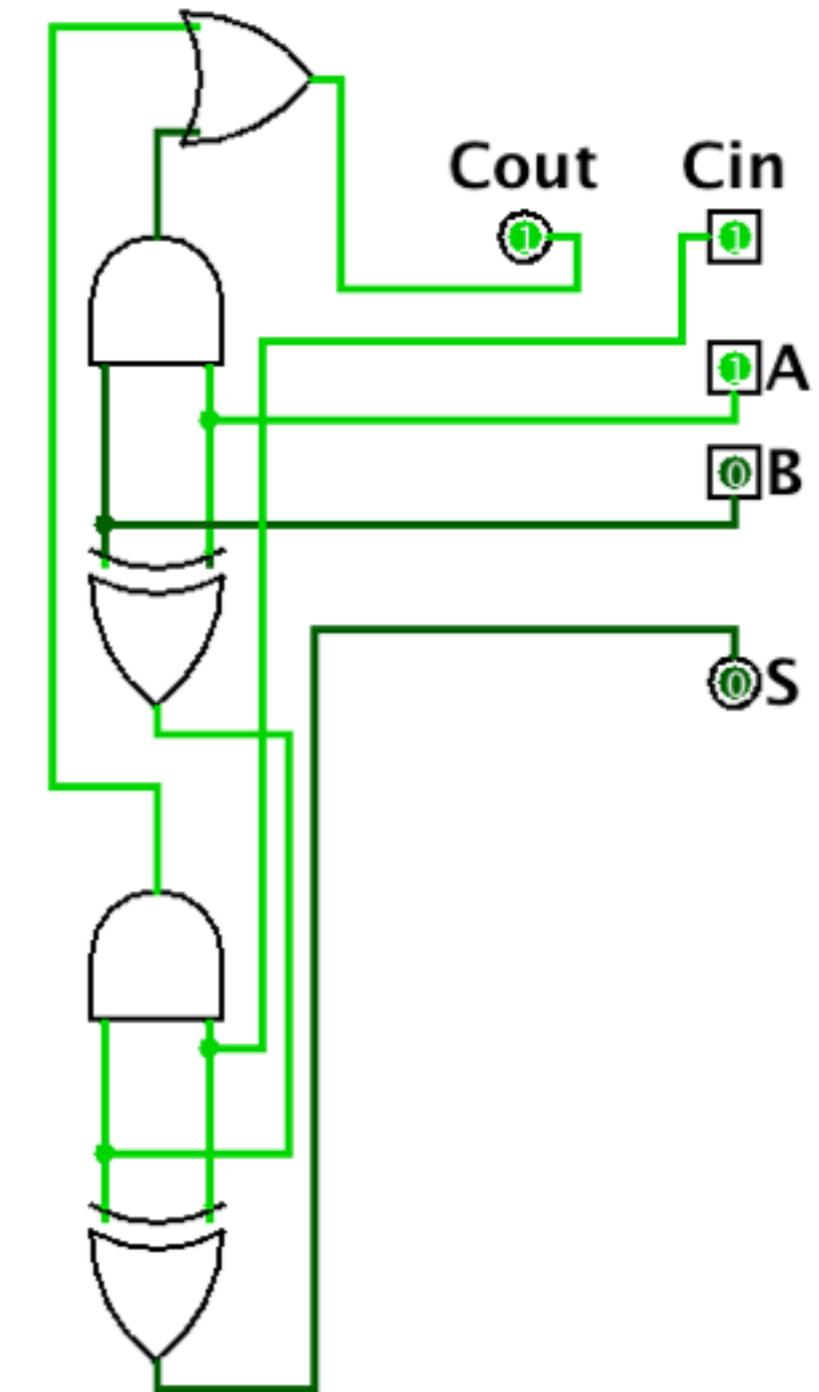
Vi har tidigare studerat hur vi med hjälp av AND-, OR- och XOR-grindar kan addera binära tal.



One OR-gate to combine the two Halfadders

One Halfadder

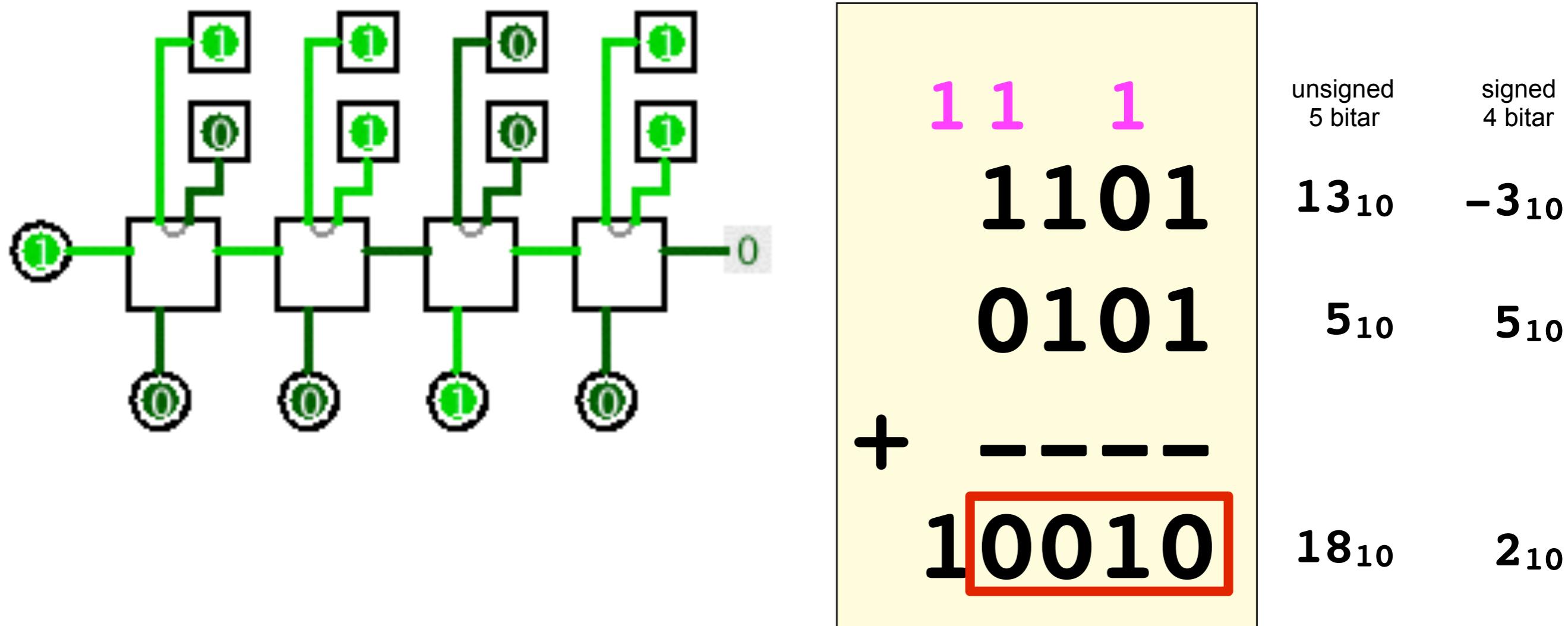
One Halfadder



Lösning: Dela in problemet i mindre delar som är lättare att förstå och lösa var för sig.
Sätt samman delarna till en fungerande helhet.

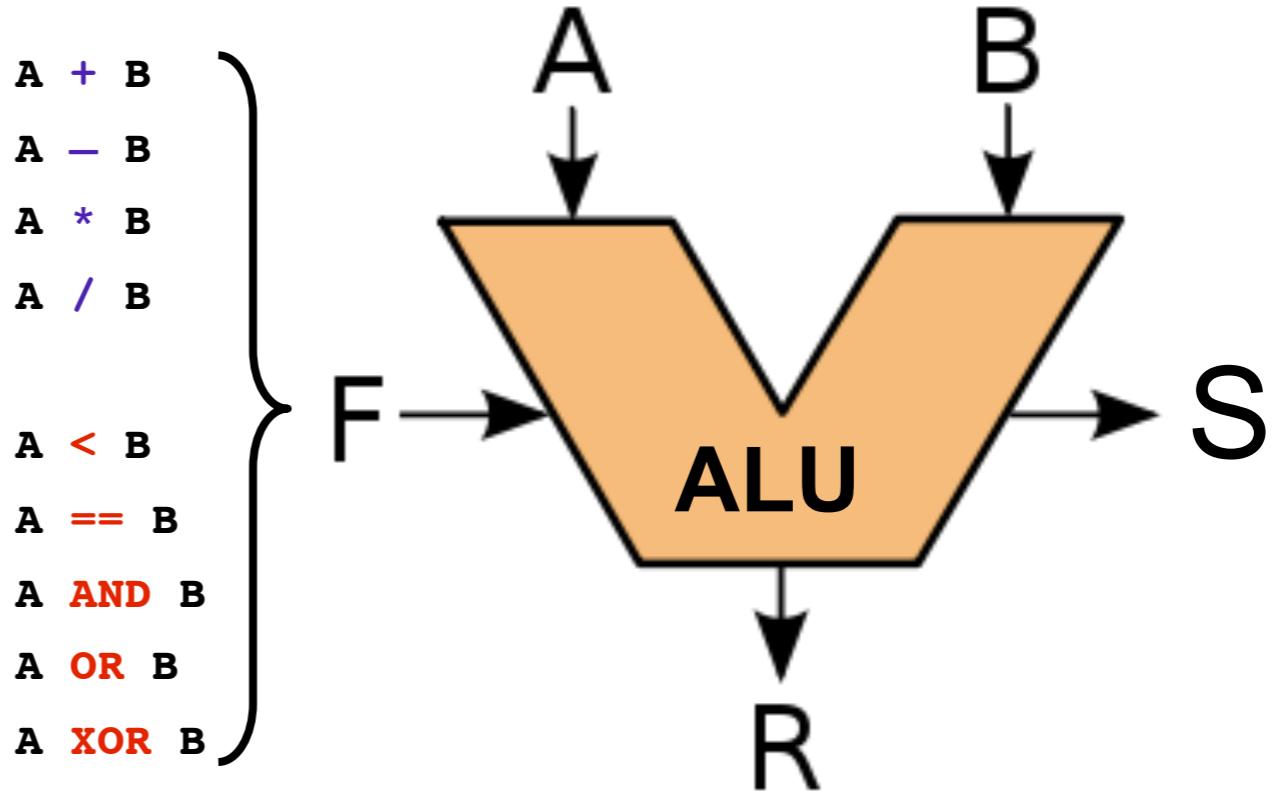
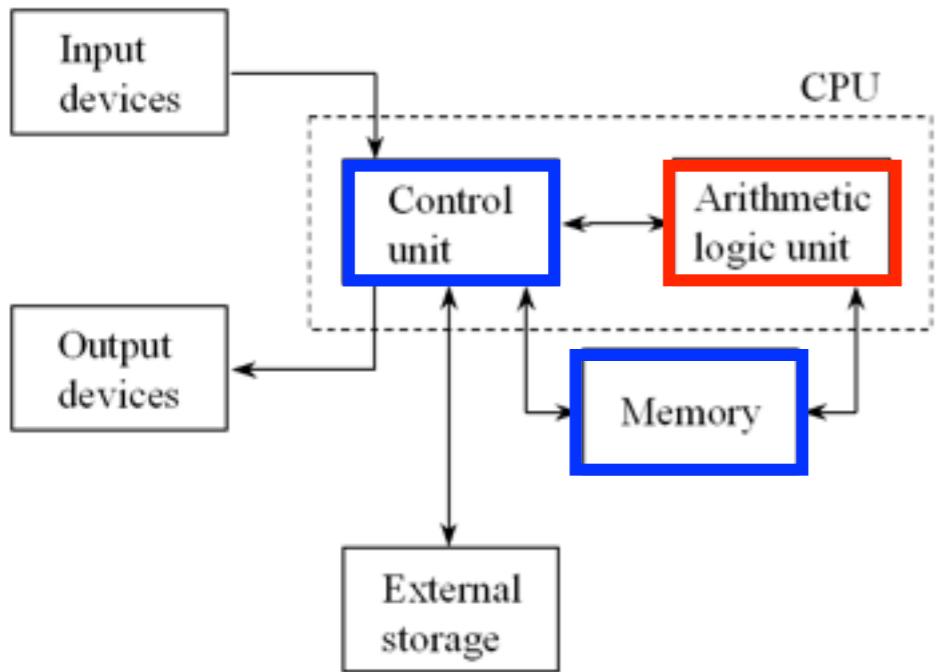
Två-komplement

Om talen representeras och tolkas med två-komplement kan samma krets användas för addition och subtraktion. Beräkningen som utförs är identiskt, det är endast **tolkningen** av in- och utdata som skiljer.



Kretsen beräknar **additionen** $1101_2 + 0101_2 = 13_{10} + 5_{10} = 18_{10} = 10010_2$. Notera att i detta fall, om vi bara kan lagra tal om fyra bitar får vi **overflow** och $1101_2 + 0101_2 = 13_{10} + 5_{10} = \text{overflow } 2_{10} = 0010_2$.

Kretsen beräknar **subtraktionen** $1101_2 - 0101_2 =_{\text{signed}} -3_{10} + 5_{10} = 2_{10} = 0010_2$. Notera att i detta fall tolkar vi både indata och utdata (resultatet) som fyra bitars tal med två-komplement.



Vi har nu sett att vi kan utföra addition och subtraktion av två tal genom att koppla samman grindar.

På liknande sätt som för addition och subtraktion kan vi med hjälp av olika grindnät konstruera hårdvara för andra ALU-operationer, till exempel jämförelser ($<$, $>$, ==).

För att konstruera en enkel men fungerande dator måste vi förutom en ALU även konstruera ett **minne** och en **kontrollenhet**. Mer om detta på kurser längre fram.