

IE1205 Digital Design

Fredrik Jonsson

KTH/ICT/ES

fjon@kth.se

Föreläsning 1

- Introduktion digitalteknik
- Kursöversikt
- Binära tal.

Vårt dagliga liv präglas av digitaltekniken



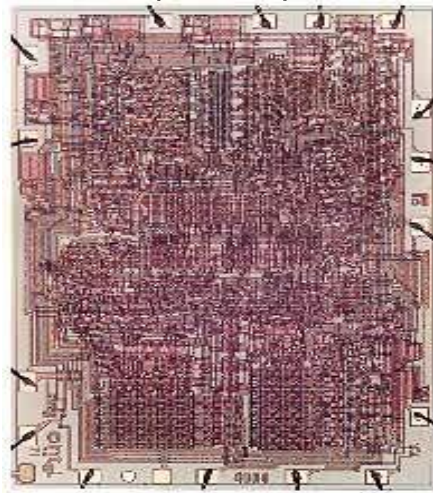
- Visste du att det finns ca 40-100 mikroprocessorer i en ny bil?



Varför är digitaltekniken så framgångsrik?

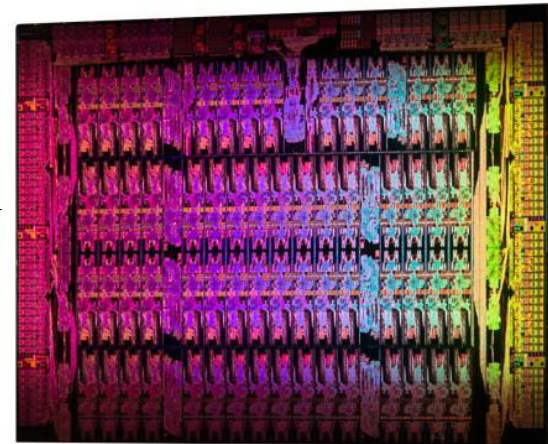
Utvecklingen inom elektroniken

Intel 4004
(1971)



108 kHz
2,300 transistorer

Xbox One Main SoC
(2013)



62-Core Xeon Phi >1 GHz
5 miljarder transistorer

Konsekvenser av digitalteknikens utveckling



Nokia 1616, Lanserad 2010



Smartphone 2014

Konsekvenser av digitalteknikens utveckling



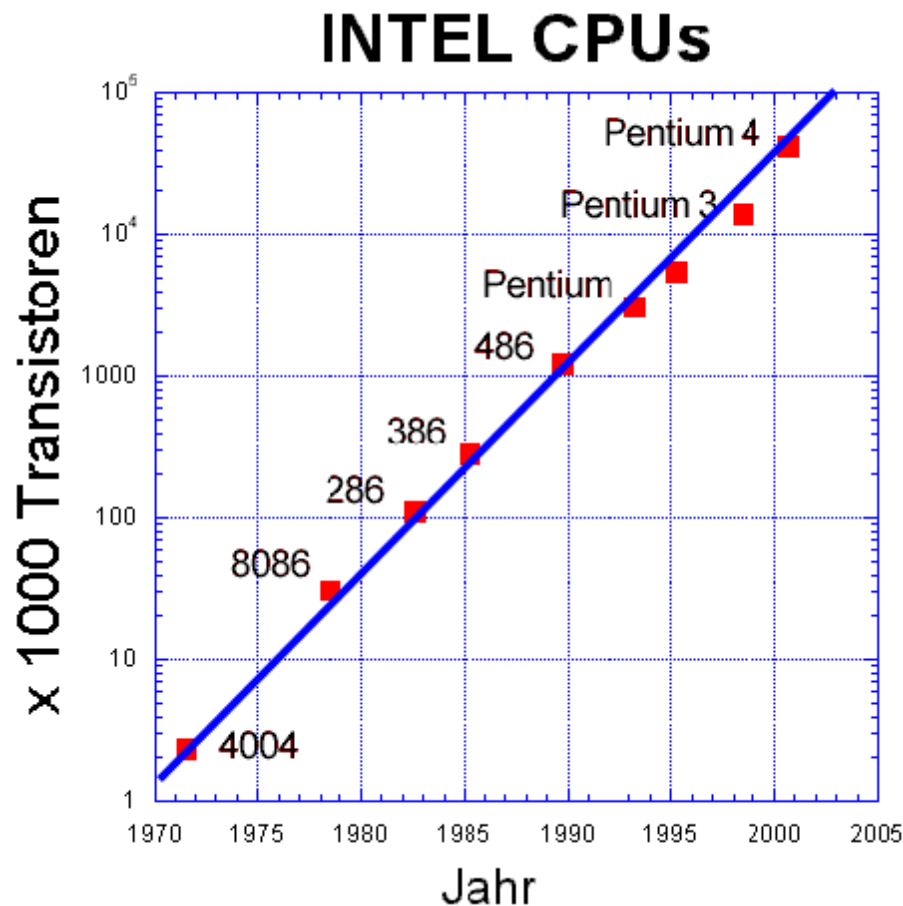
Brödrost 2010



Brödrost 2014

Moore's lag

- Observerades 1965 av Gordon Moore (grundare av Intel)
- "Antalet transistorer fördubblas var 24:e månad"
- Pris oförändrat
- Giltig de senaste 40 åren.



Konsekvenser av digitalteknikens utveckling



Gramofon



Skivsamling

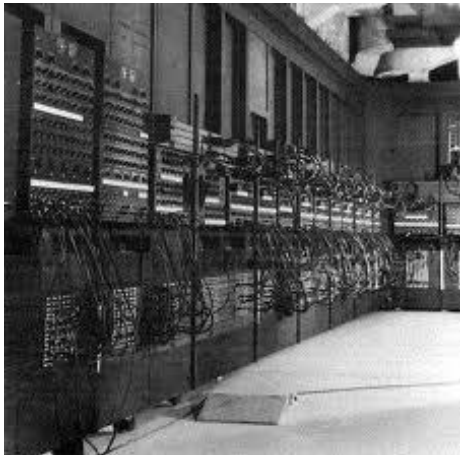
Då



Nu: Både spelare och skivsamling ryms i fickan

Utvecklingen inom elektroniken

Teknologiska framsteg möjliggör att mer och mer funktionalitet integreras på ett enda chip



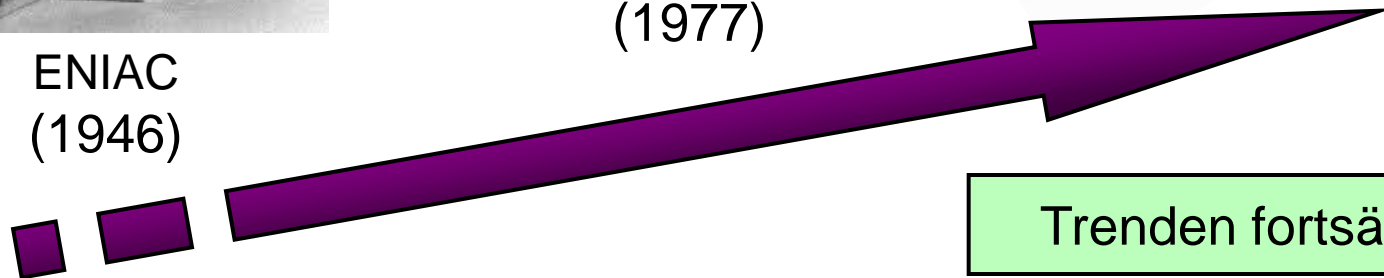
ENIAC
(1946)



Apple II
(1977)

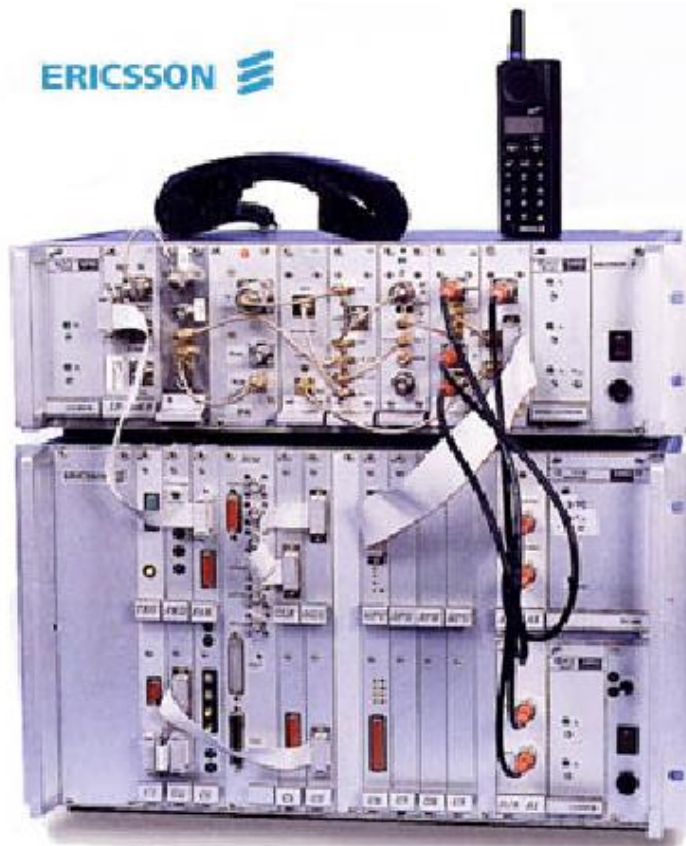


Smart-
phone
(2014)



Trenden fortsätter!

Konsekvenser



First GSM prototype. 1986 Ericsson GSM demonstrator used in Paris trials.

- När GSM specificerades var det med dåtidens teknik inte möjligt att bygga en telefon
- När standarden var färdigförhandlad hade tekniken kommit ikapp

Digital age

“In 2007, humankind was able to store 2.9×10^{20} *optimally compressed bytes, communicate almost 2×10^{21} bytes, and carry out 6.4×10^{18} instructions per second on general-purpose computers. General-purpose computing capacity grew at an annual rate of 58%.”

“Telecommunication has been dominated by digital technologies since 1990 (99.9% in digital format in 2007), and the majority of our technological memory has been in digital format since the early 2000s (94% digital in 2007).”

*Science February 10 2011
Vol. 332 no. 6025 pp. 60-65*

* 270 miljarder gigabyte

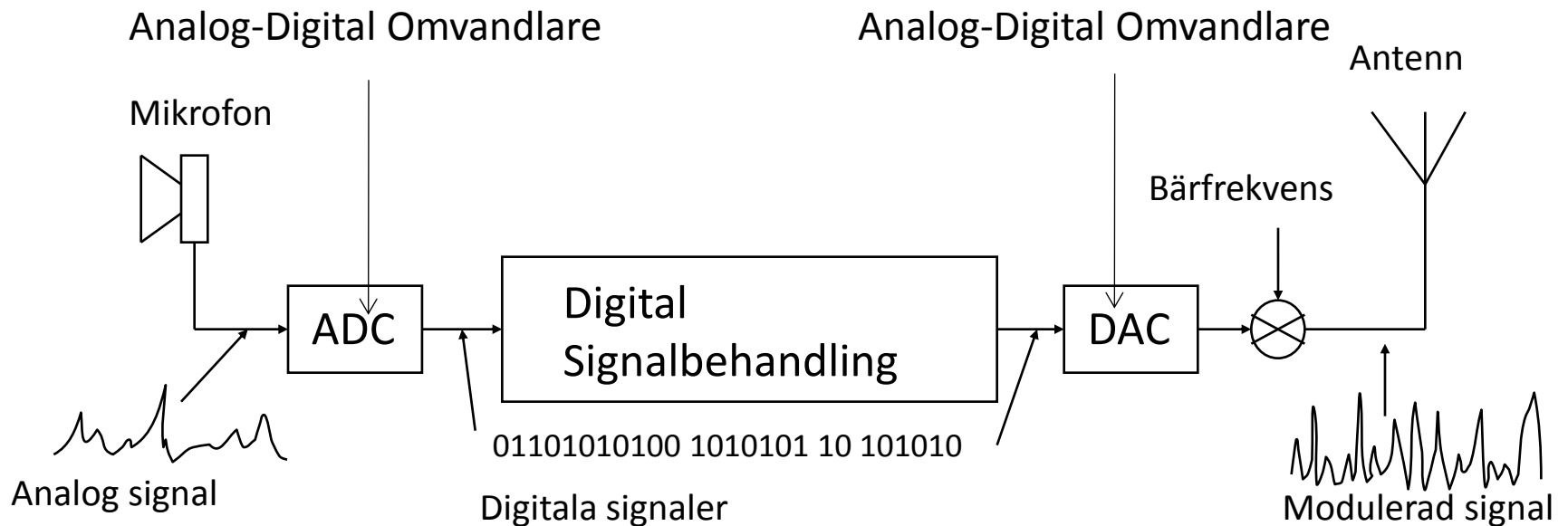


Digitaltekniken skapade grunden till denna utveckling



- Enkel matematisk modell
 - Bara 1:or och 0:or som värden
 - Boolesk algebra
- Störningsokänslig, effektiv implementering av den matematiska modellen
 - Transistor
 - Integrerade kretsar
 - Framsteg i halvledartechnologin
- Effektiva designmetoder och verktyg

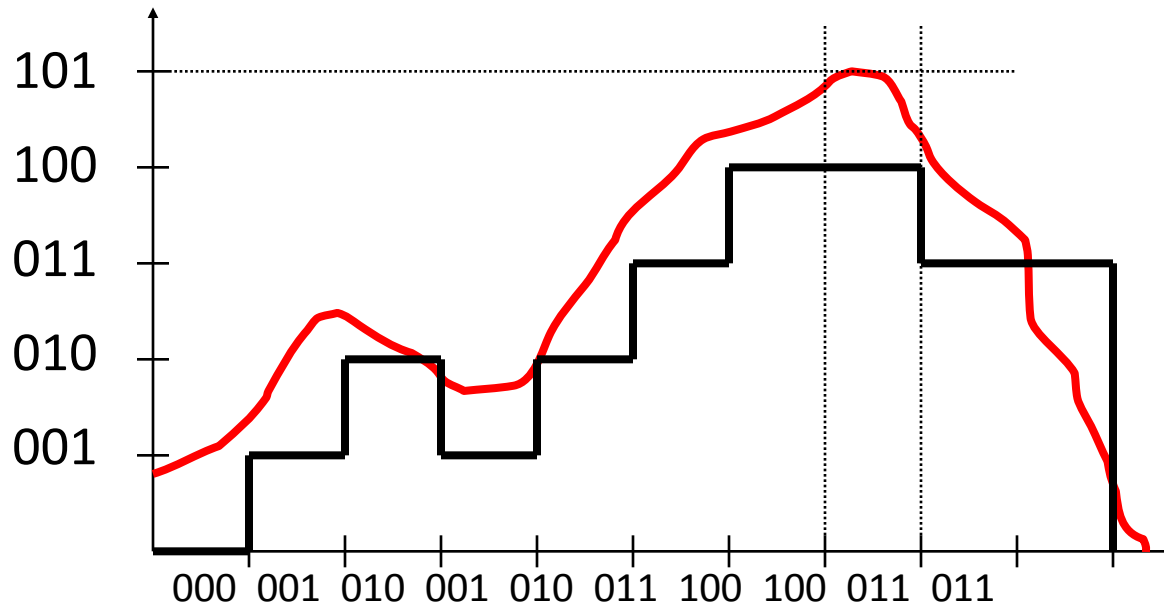
- Om det är möjligt så görs idag signalbehandlingen digitalt



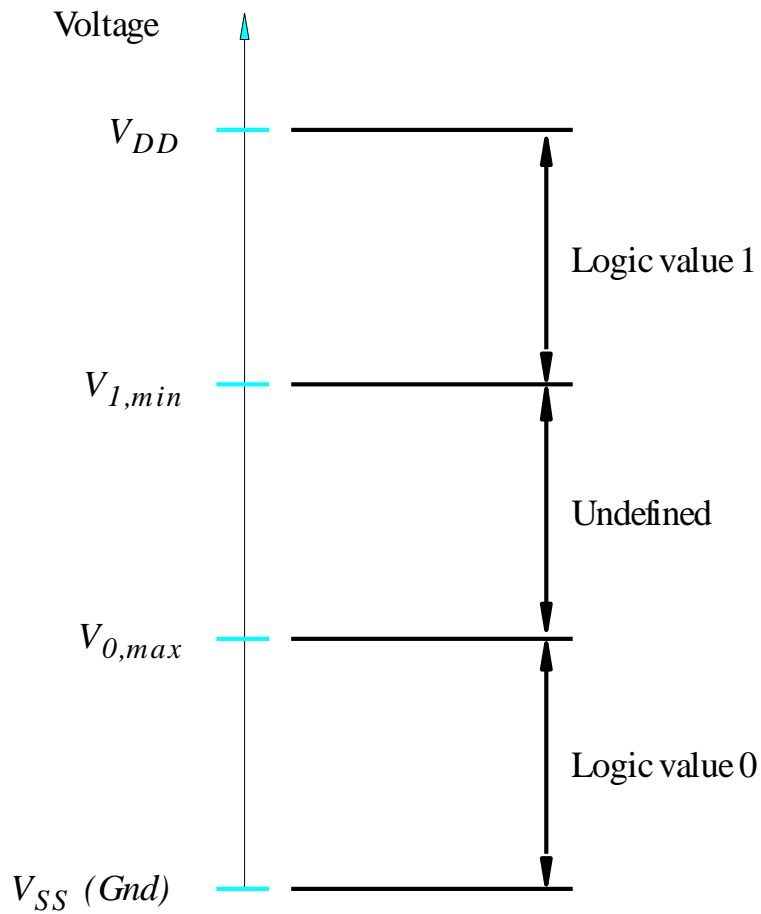
Egentligen borde digitaltekniken vara sämre...



- I stället för en analog signal som kan anta *kontinuerliga* värden, så kan en digital signal bara anta *diskreta* värden



Digitaltekniken är okänslig för störningar!

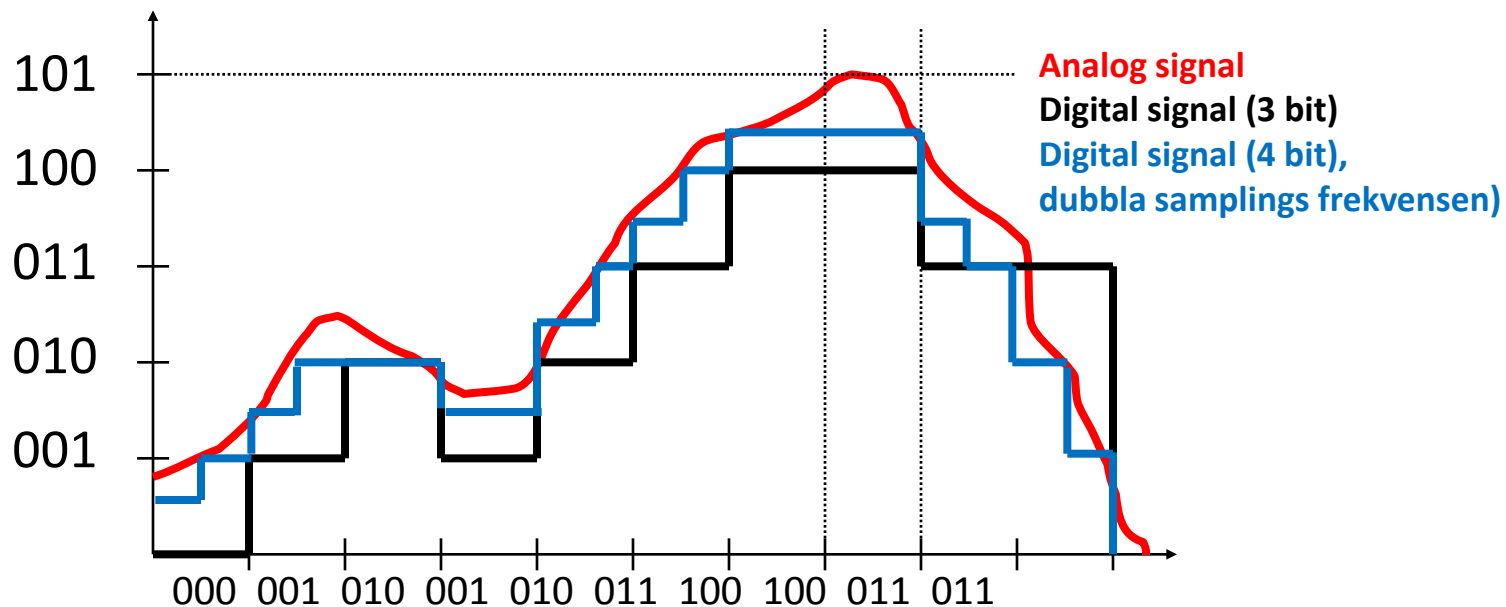


- Det är inte bara ett spänningsvärde som tolkas som 1 eller 0 utan ett helt spänningsområde
- En avvikelse om några mV kan vara mycket störande inom analogtekniken, men gör ingen skillnad inom digitaltekniken

Fler bitar och högre sampling höjer signalkvalitén



- Har man tillräckligt många bitar och tillräckligt hög samplingfrekvens efterliknar den digitala signalen den analogen signalen



Kursöversikt

Boolesk Algebra: Axiomer



- I boolesk algebra finns det bara 1 (sann) och 0 (falsk) som värden
- Följande operationer är definierade: AND (\cdot), OR ($+$), NOT (\bar{x})
- Följande axiom definierar den booleska algebran

Axiomer

$$(1a) \quad 0 \cdot 0 = 0$$

$$(2a) \quad 1 \cdot 1 = 1$$

$$(3a) \quad 0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0$$

$$(4a) \quad \text{If } x = 0, \text{ then } \bar{x} = 1$$

$$(1b) \quad 1 + 1 = 1$$

$$(2b) \quad 0 + 0 = 0$$

$$(3b) \quad 1 + 0 = 0 + 1 = 1$$

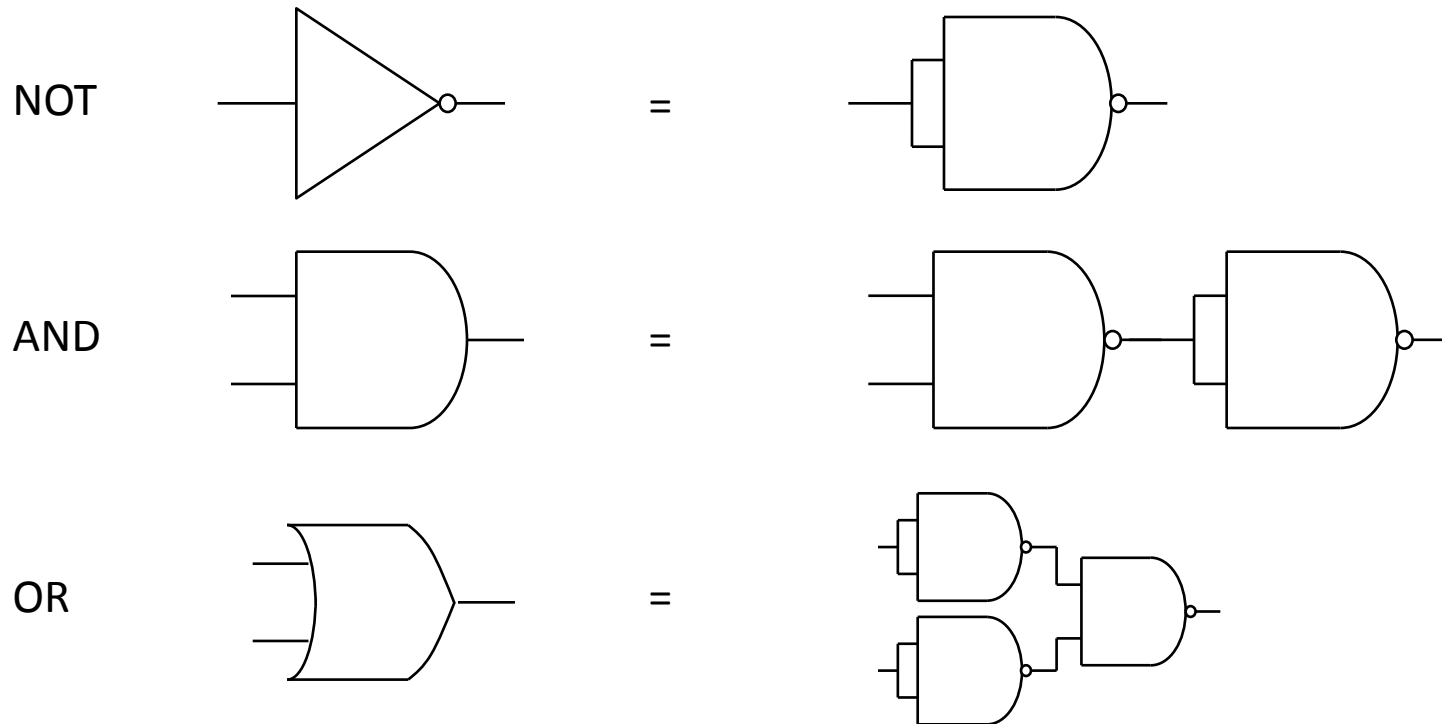
$$(4b) \quad \text{If } x = 1, \text{ then } \bar{x} = 0$$

- Räknelagar kan härledas ur axiomerna
 - Se boken!

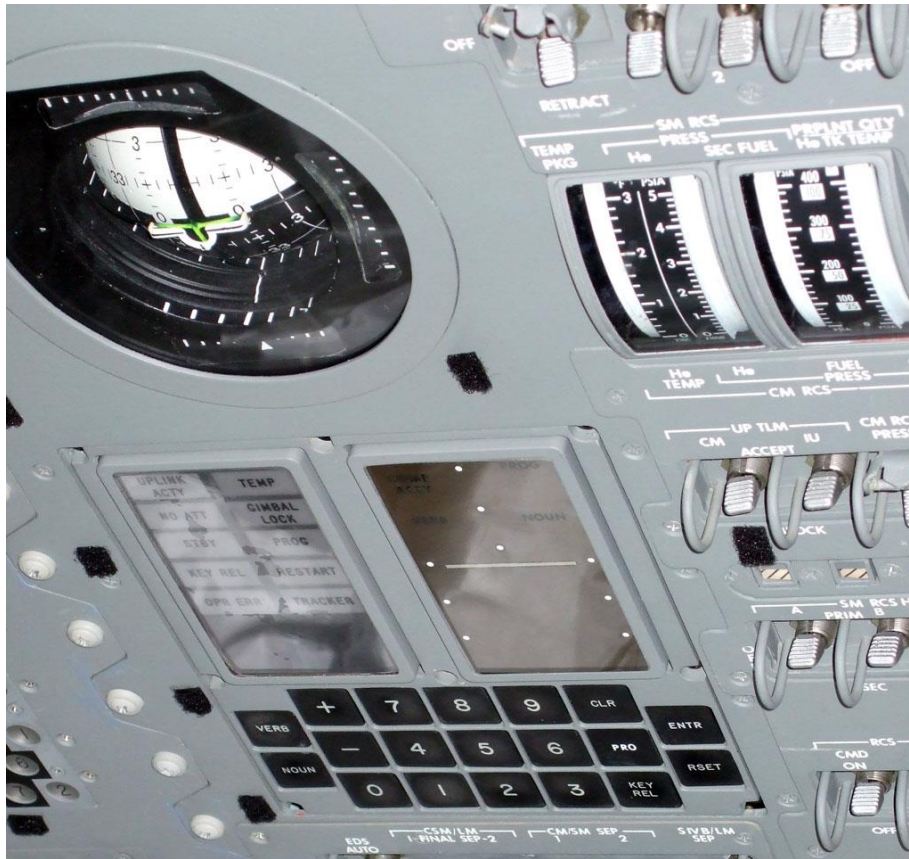
- Räknelagar kan härledas ur axiomen
– Se boken!

Bara en grind behövs!

- För att implementera en boolesk funktion behövs det bara NAND- eller NOR-grinden



Apollo Guidance Computer

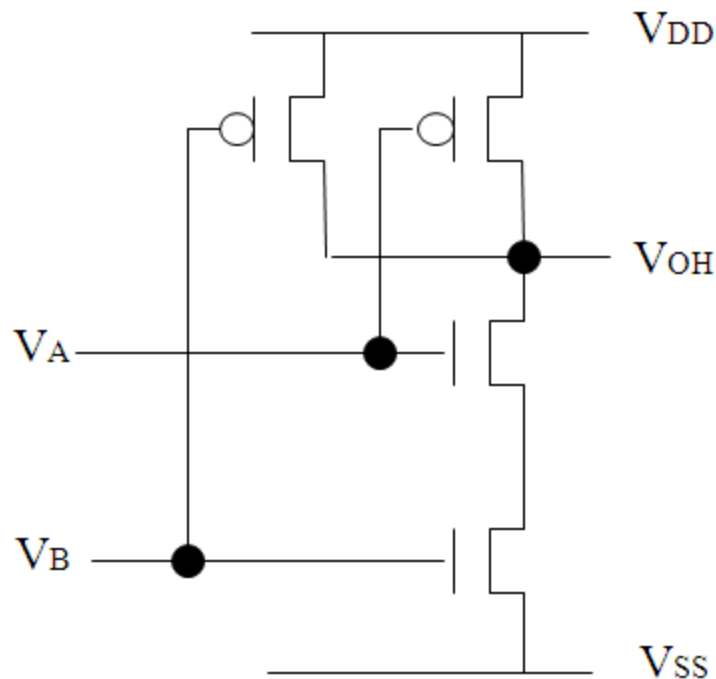


Apollo Guidance Computer (used in Moon landing)

- 4100 three-input NOR gates
- 4096 bytes RAM (0.0000038 Gb)
- 73728 bytes ROM
- Clocked at 2.048 MHz

Effektiv CMOS-implementering av NAND-grunden

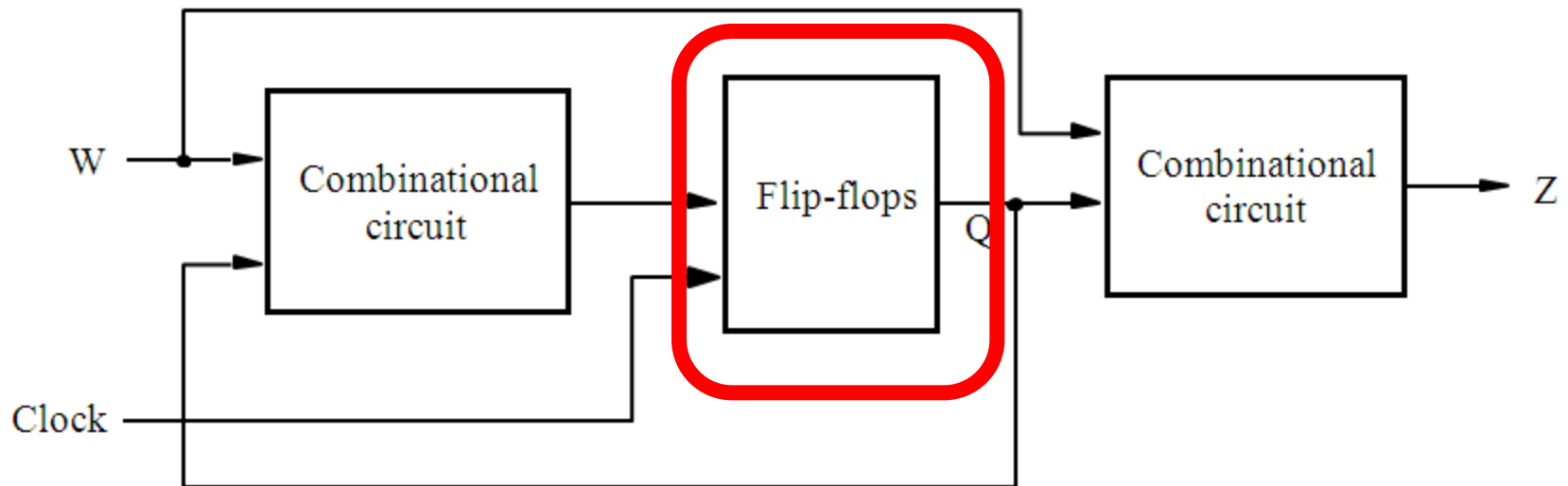
- Bara fyra transistorer behövs!



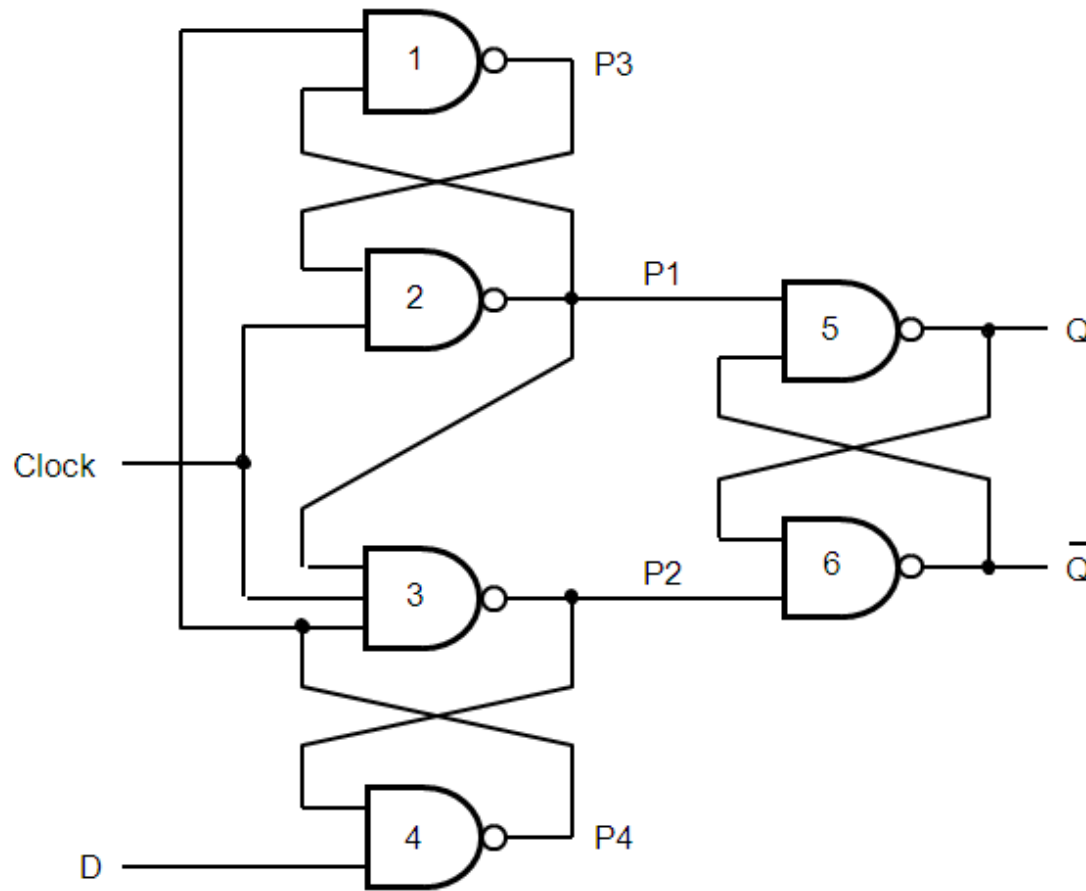
V_A	V_B	V_{OH}
$V_{SS}(0)$	$V_{SS}(0)$	$V_{DD}(1)$
$V_{SS}(0)$	$V_{DD}(1)$	$V_{DD}(1)$
$V_{DD}(1)$	$V_{SS}(0)$	$V_{DD}(1)$
$V_{DD}(1)$	$V_{DD}(1)$	$V_{SS}(0)$

Räcker NAND-grunden för sekvensnät?

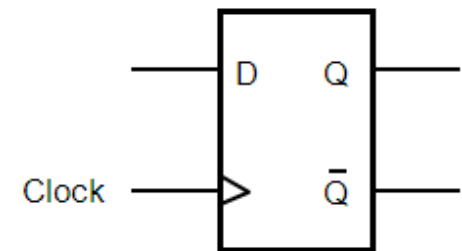
- För att implementera sekvensnät behövs det en vippa!



Även vippan kan implementeras med NAND-grindar!



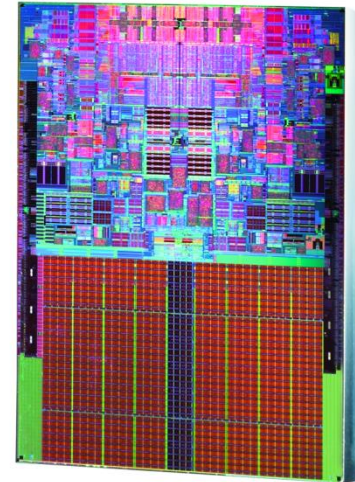
(a) Circuit



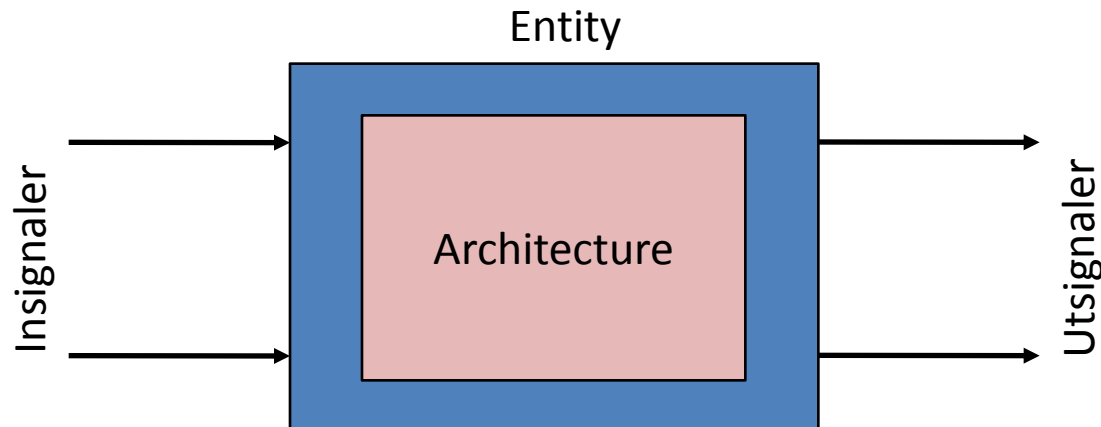
(b) Graphical symbol

Men en processor innehåller många grindar...

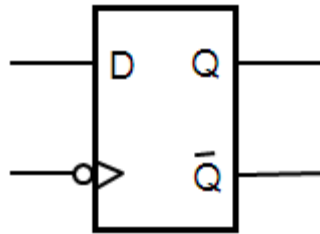
- Det är ineffektivt att rita ett grindnät
- Det behövs andra metoder att beskriva ett system!



- Designen beskrivs med *entity* (black box) och *architecture* (innehållet i boxen)



VHDL-beskrivningen av en D-vippa



```
LIBRARY ieee ;  
USE ieee.std_logic_1164.all ;
```

```
ENTITY flipflop IS
```

```
    PORT (    D, Clock : IN    STD_LOGIC ;  
           Q, QBar  : OUT   STD_LOGIC) ;
```

```
END flipflop ;
```

```
ARCHITECTURE Behavior OF flipflop IS
```

```
BEGIN
```

```
    PROCESS ( Clock )
```

```
    BEGIN
```

```
        IF Clock'EVENT AND Clock = '0' THEN
```

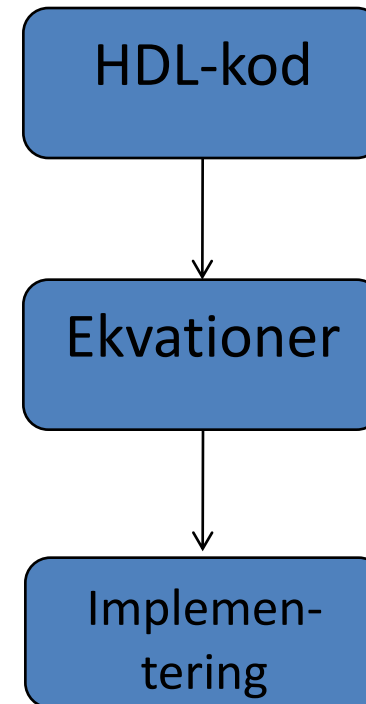
```
            Q <= D ; Qbar <= not D;
```

```
        END IF ;
```

```
    END PROCESS ;
```

```
END Behavior ;
```

- Steg 1: Beskrivningen av hårdvaran översätts till booleska ekvationer
- Steg 2: Booleska ekvationer översätts till hårdvaran



Ett enkelt exempel



1. VHDL:

```
LIBRARY ieee ;
USE ieee.std_logic_1164.all ;

ENTITY mux4to1 IS
    PORT (w0, w1, w2, w3 : IN    STD_LOGIC ;
          s                : IN    STD_LOGIC_VECTOR(1 DOWNTO 0) ;
          f                : OUT   STD_LOGIC ) ;
END mux4to1 ;

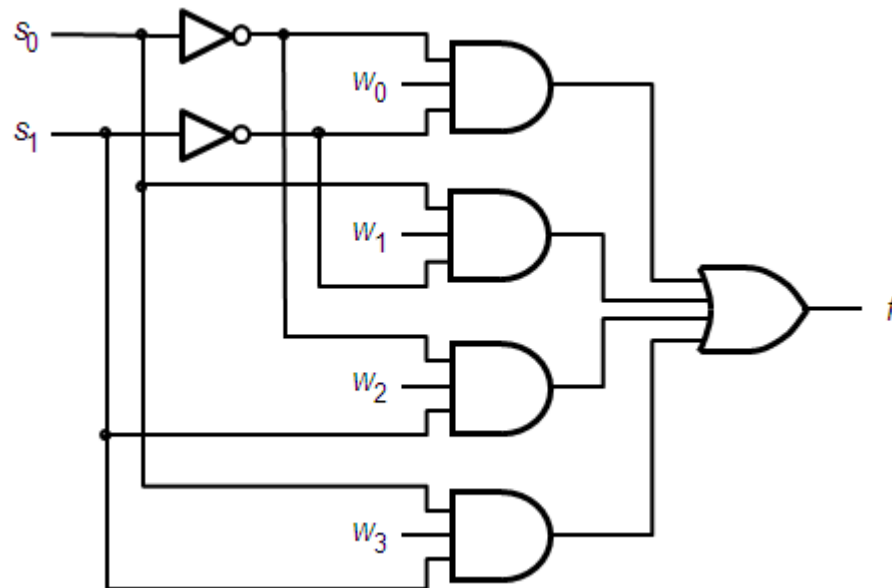
ARCHITECTURE Behavior OF mux4to1 IS
BEGIN
    WITH s SELECT
        f <= w0 WHEN "00",
            w1 WHEN "01",
            w2 WHEN "10",
            w3 WHEN OTHERS ;
END Behavior ;
```

Ett enkelt exempel

2. Booleska ekvationen

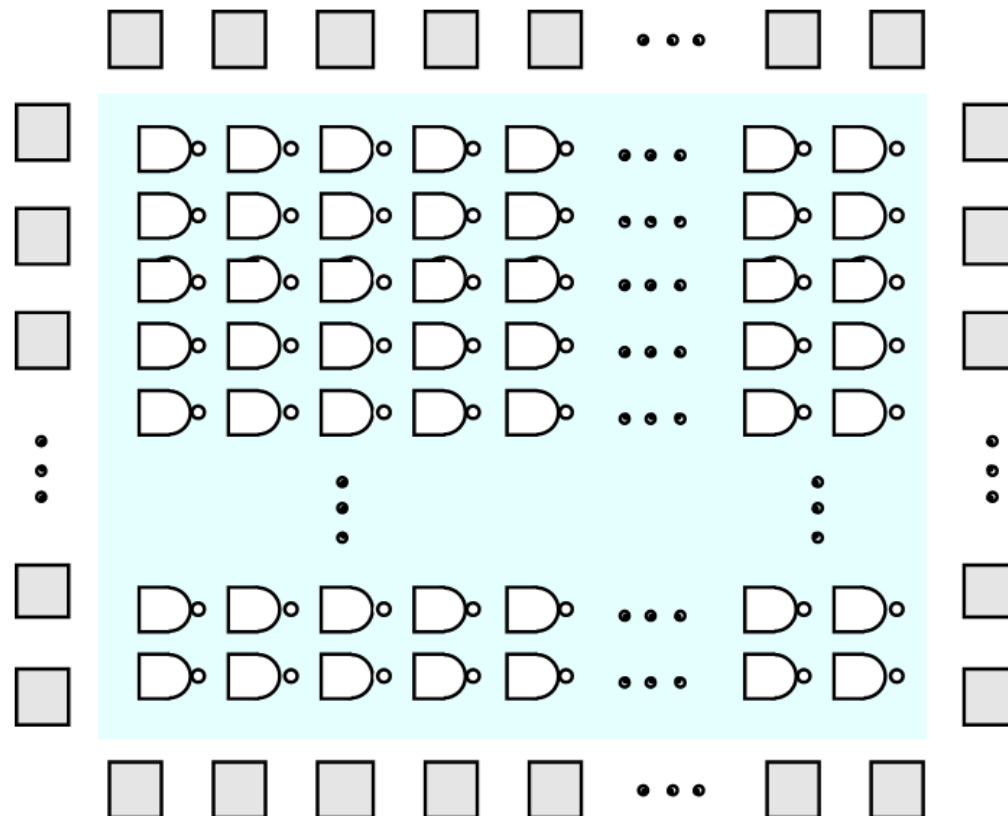
$$f = \bar{s}_1 \cdot \bar{s}_0 \cdot w_0 + \bar{s}_1 \cdot s_0 \cdot w_1 + s_1 \cdot \bar{s}_0 \cdot w_2 + s_1 \cdot s_0 \cdot w_3$$

3. Implementeringen

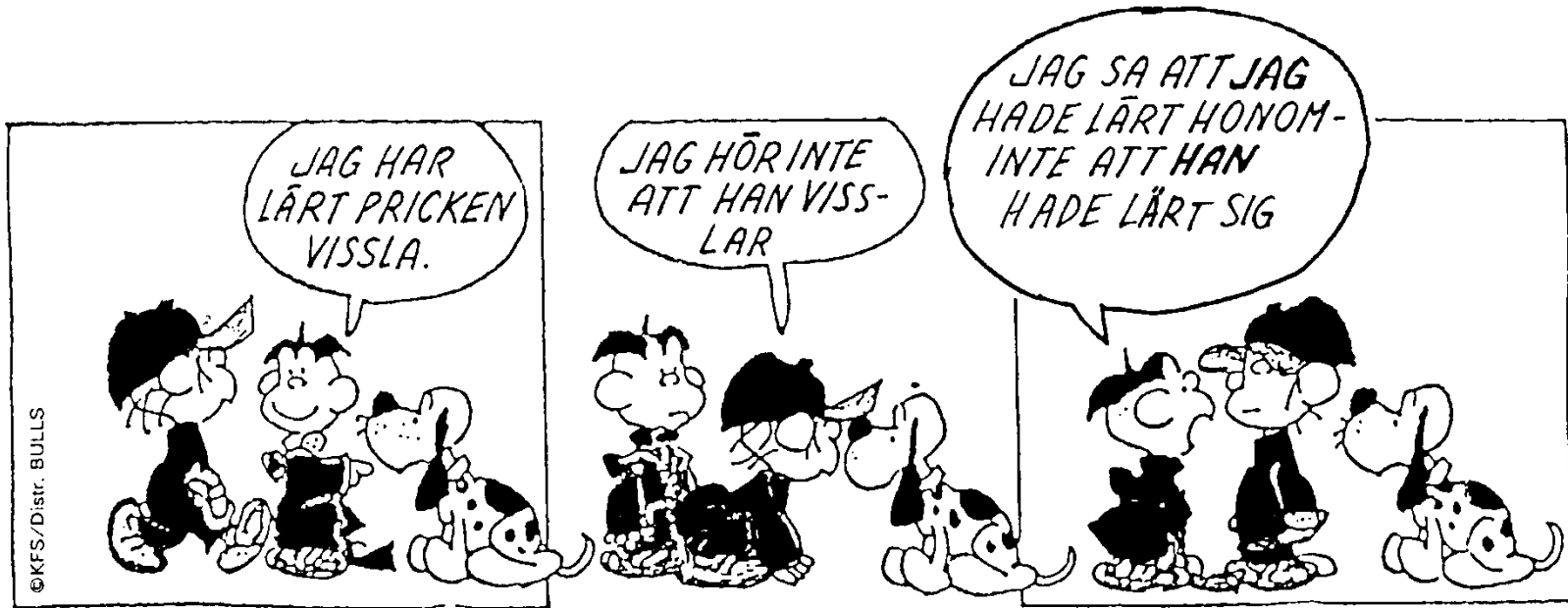


Implementering på en GATE-Array

- Funktionen kan sedan implementeras på en GATE-Array med 2-input NAND-grindar – Hur?



Lärarens roll i undervisningen...



- Glöm inte att det är studentens uppgift att lära sig nya kunskaper
- Lärarens uppgift är att stödja inläringen

Vem är Fredrik Jonsson?

- Fredrik Jonsson
- E91 KTH
- PhD Radio Electronics
April 2008
- Frequency synthesis



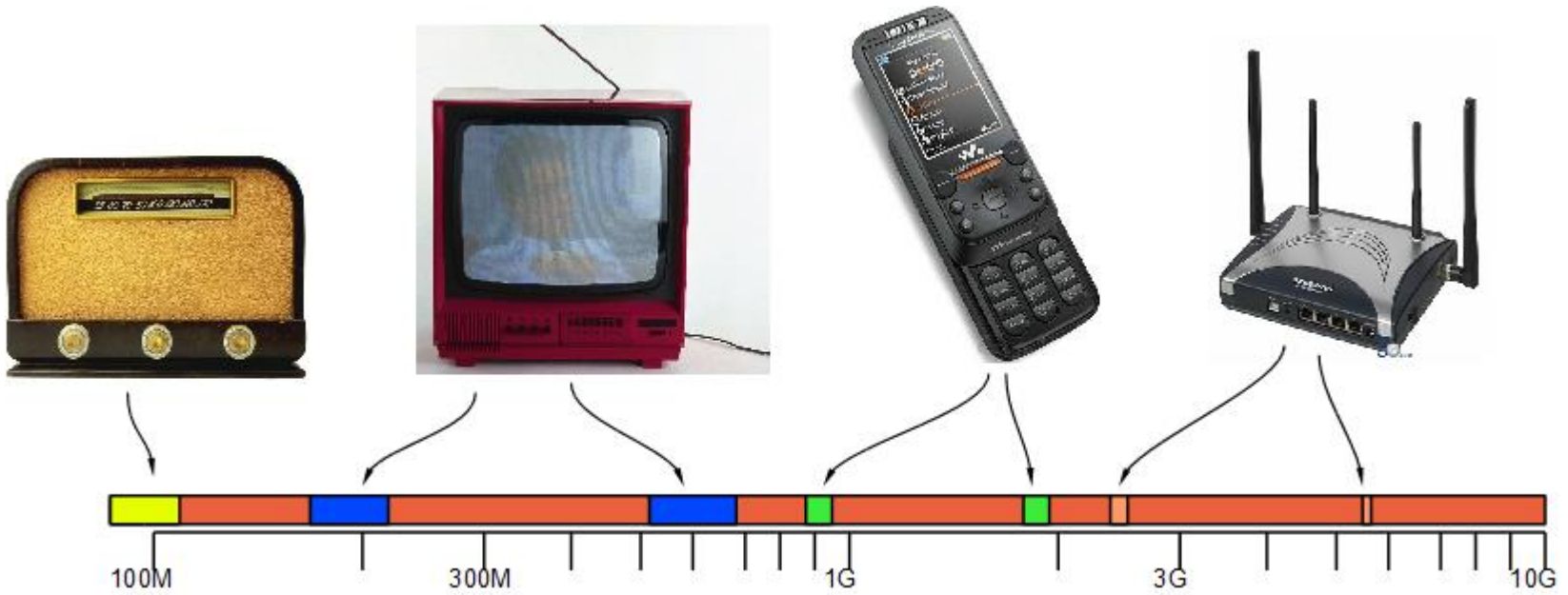
Vem är Fredrik Jonsson?



- Fredrik Jonsson
- E91 KTH
- PhD Radio Electronics
April 2008
- Frequency synthesis



Frekvens syntes



DiBcom DVB receiver



**“Vargen” DVB receiver
>8 millioner sålda**

Utlandsarbete

MAXIM



Maxim Semiconductor
Sunnyvale California
Wireless Data group
WiMax



Internet of Things

Storage and processing is currently moving into centralized servers (Google, Facebook etc.)



The "Cloud"

Internet of Things

Storage and processing is currently moving into centralized servers (Google, Facebook etc.)



The "Cloud"

Internet of Things

Today:
Stationary and
handheld devices
connected to
Internet and cloud



Connected devices

Internet of Things

Tomorrow:
Billions of connected devices

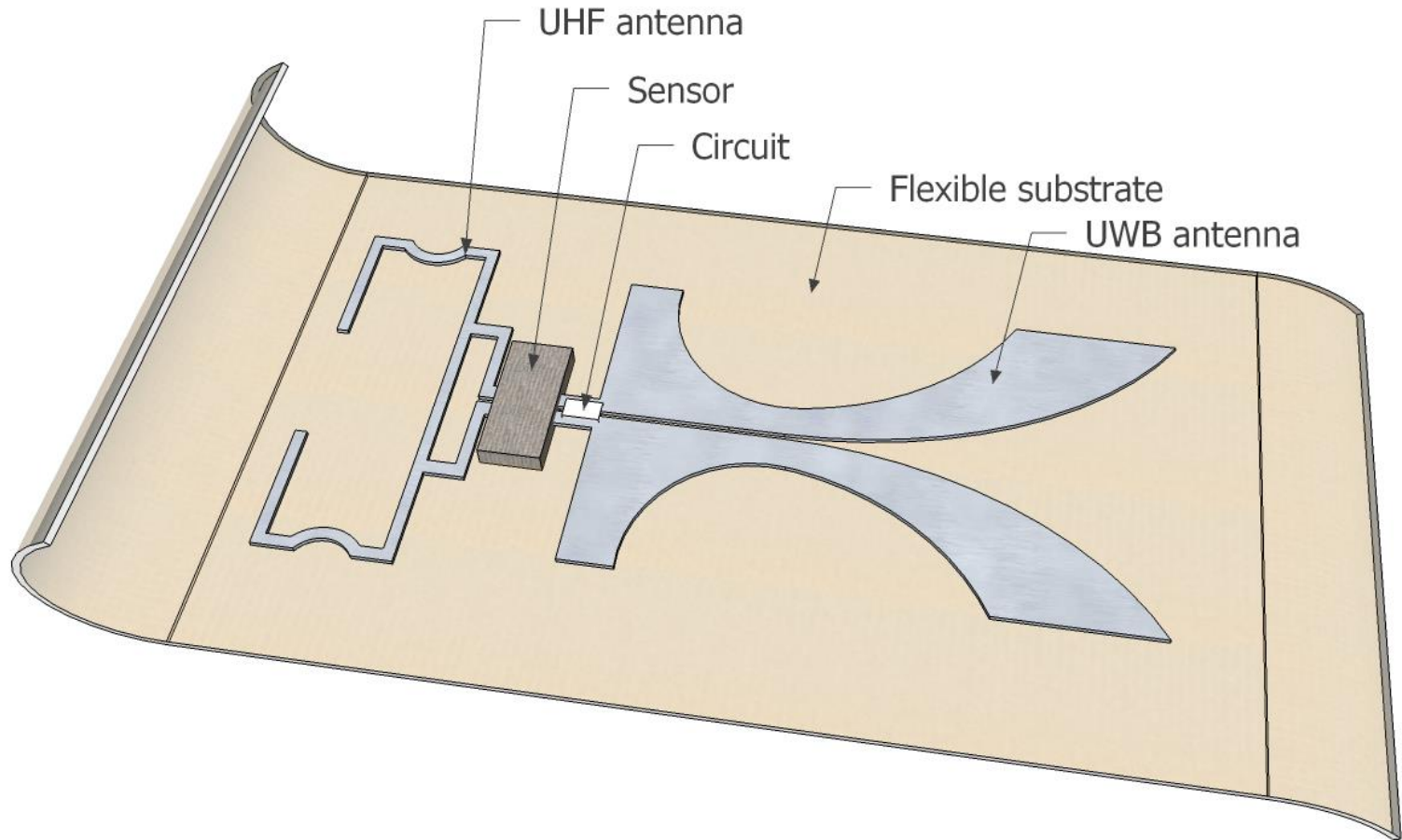
Ericsson vision:
50 billion connected
devices in 2020

NXP
(Philips hardware division):
IP controlled light bulbs



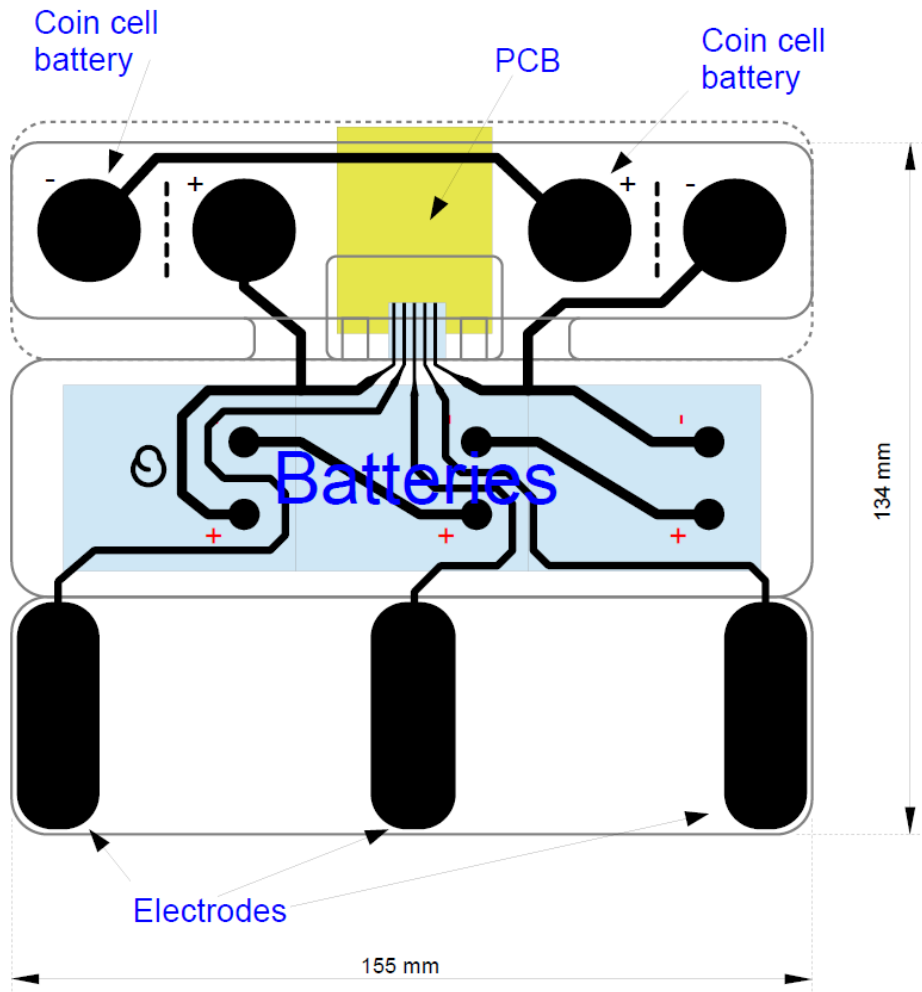
”Internet of Things”

System integration

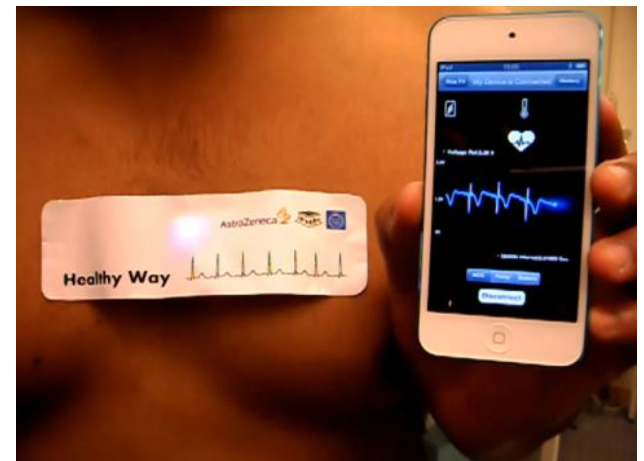


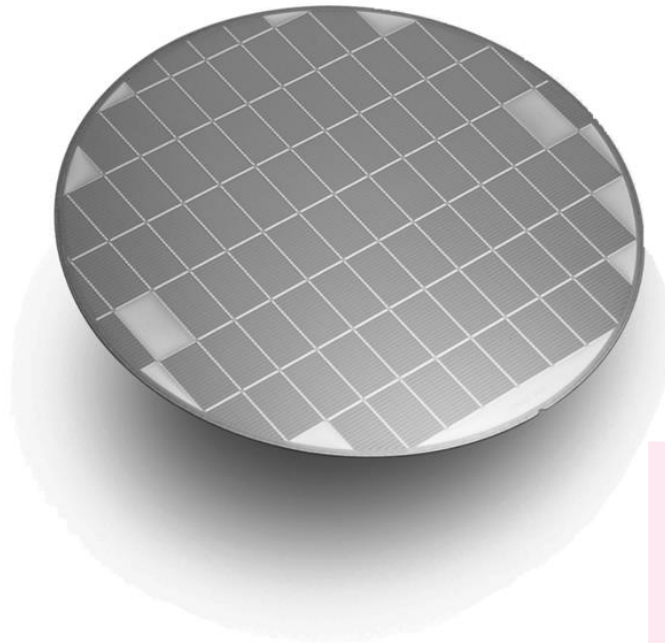
Integrate passive radio with sensor and display driver
Use UHF/UWB to enable two way communication and positioning

Hybrid integration, flexible electronics



Bärbar sensor klistrad på kroppen





Utvecklingen går rasande fort...

Table 1.1 A sample of the International Technology Roadmap for Semiconductors.

	Year					
	2006	2007	2008	2009	2010	2012
Technology feature size	78 nm	68 nm	59 nm	52 nm	45 nm	36 nm
Transistors per cm ²	283 M	357 M	449 M	566 M	714 M	1,133 M
Transistors per chip	2,430 M	3,061 M	3,857 M	4,859 M	6,122 M	9,718 M

Digital hårdvara i en dator

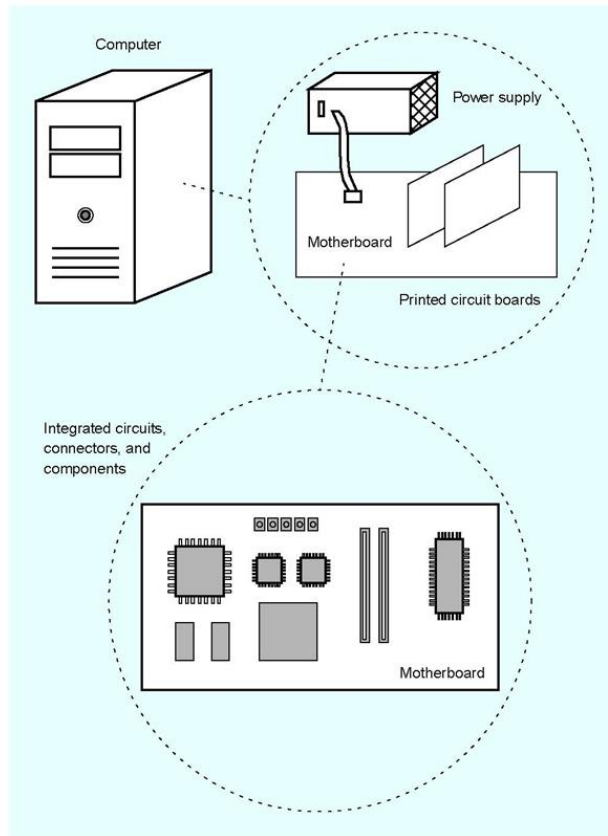


Figure 1.5. A digital hardware system (Part a).

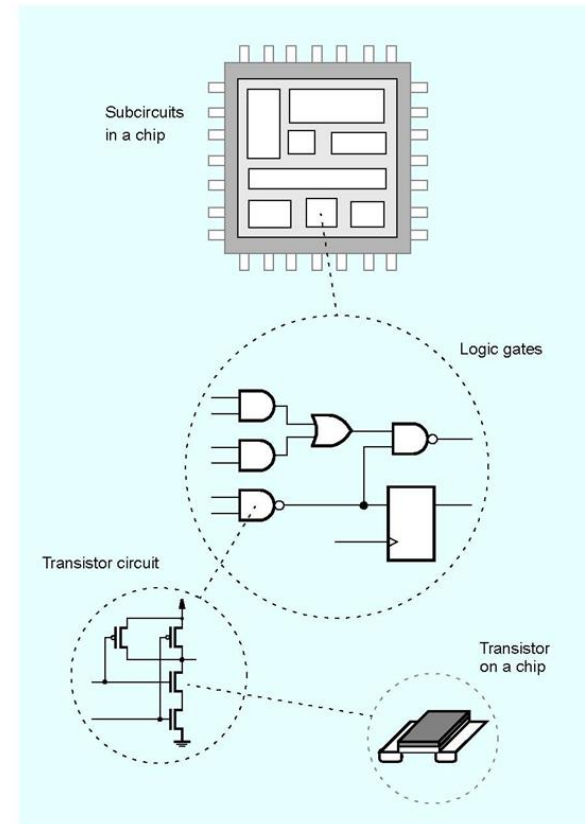
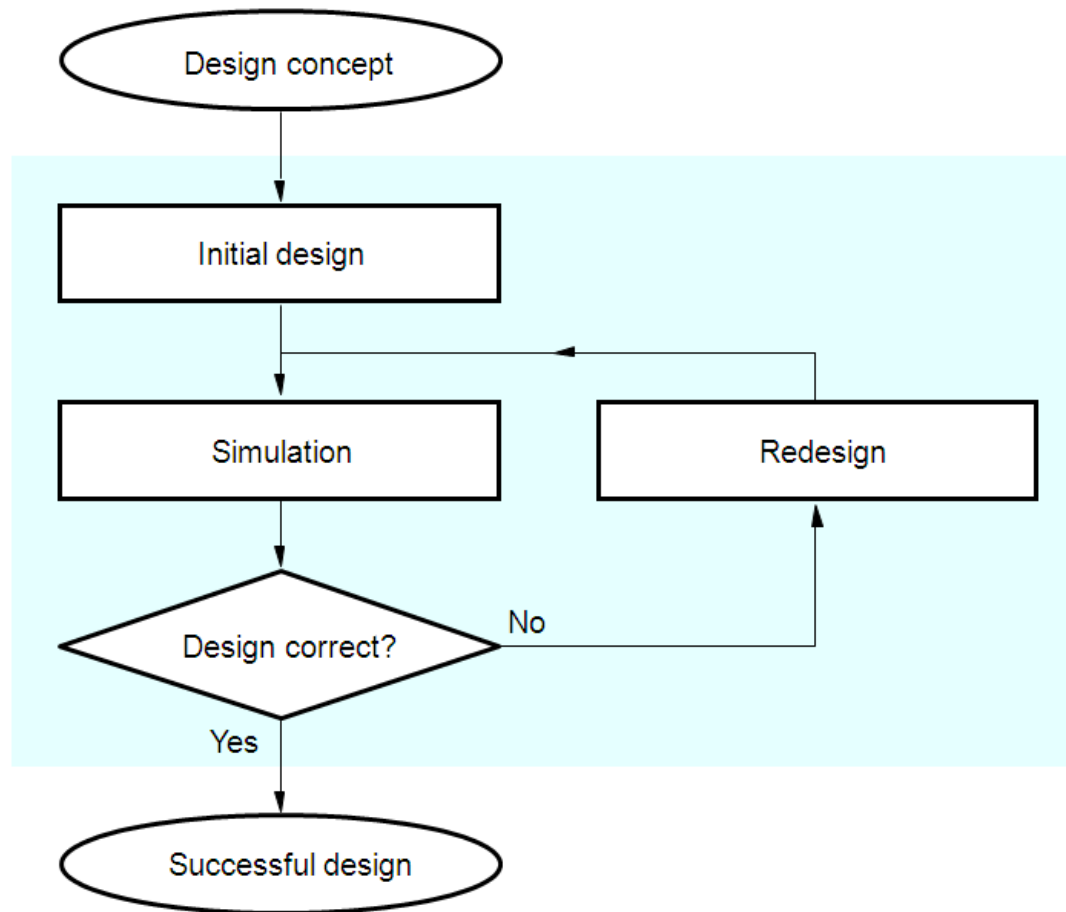


Figure 1.5. A digital hardware system (Part b).

Designprocessen



Men VHDL har sina begränsningar

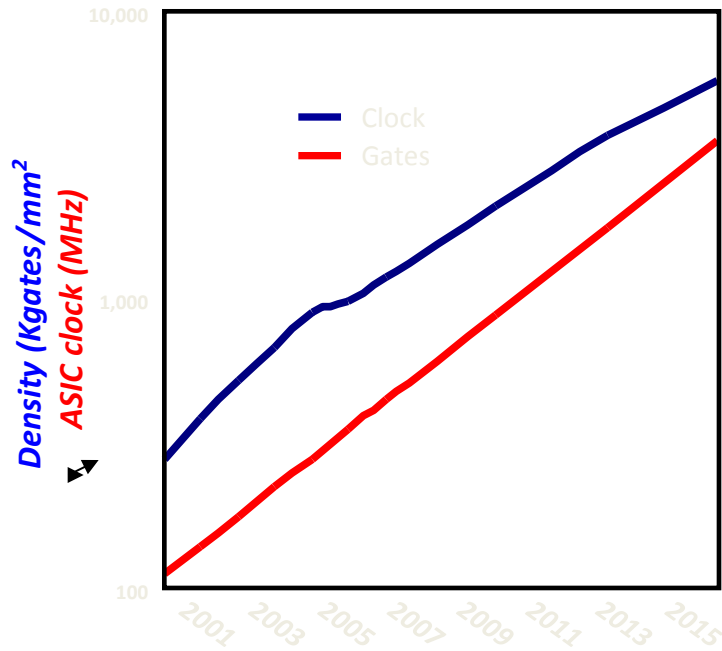


- Komplex semantik
- Låg abstraktionsnivå
- Svårt att göra formell verifikation!

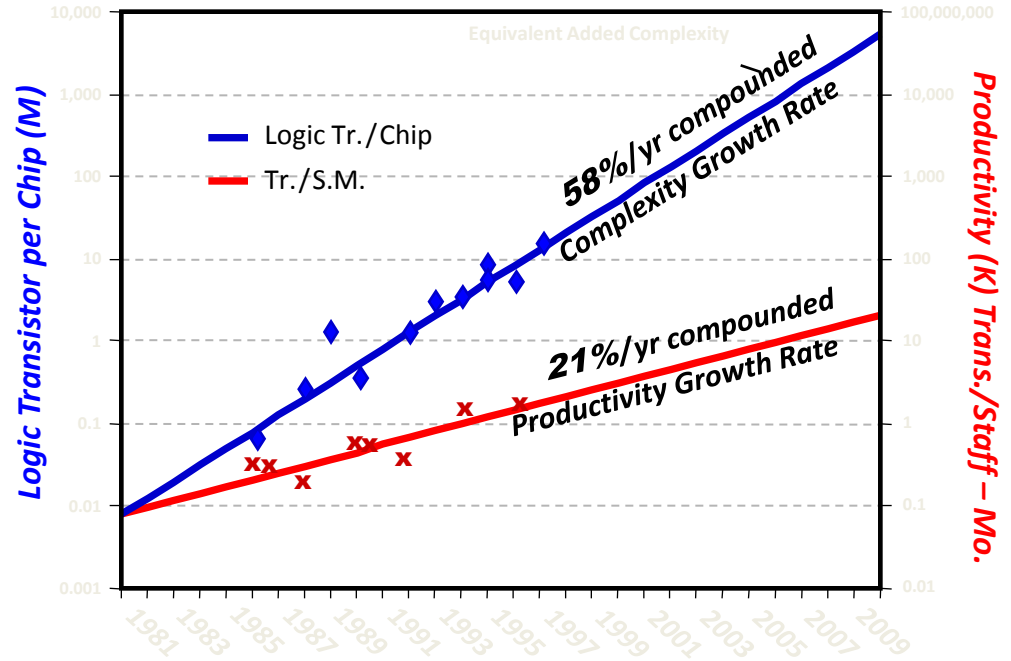
För att verifiera komplexa kretsar behövs det språk som baseras på en enkel formell semantik och matematisk modellering!

The growing design-productivity gap

Moore's Law:
Standard cell density and speed



Design Productivity Crisis
Potential Design Complexity and Designer Productivity



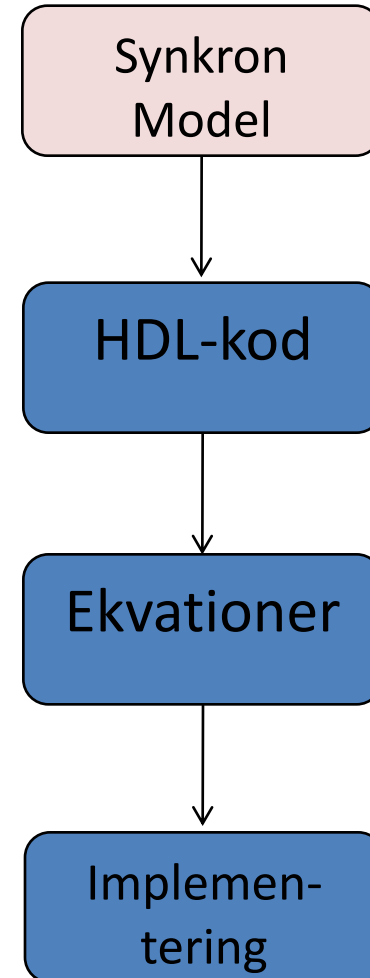
Source: (SRC 1997)

Designs do not only get more complex, but also much more expensive!

Design på en högre abstraktionsnivå



- Målet är att jobba på en högre abstraktionsnivå!
 - Design time och time-to-market förbättras
 - Verifikation blir enklare!

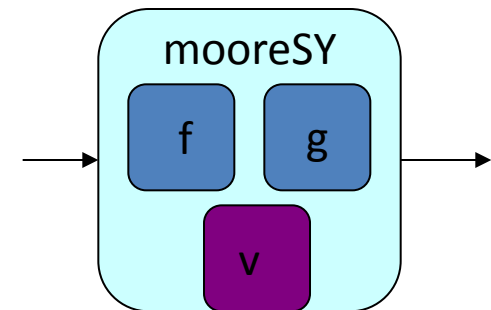
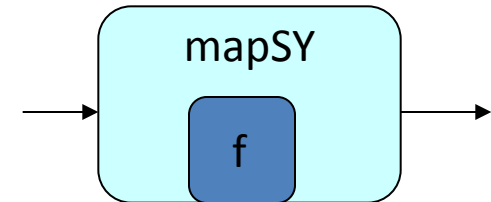


Designing in ForSyDe

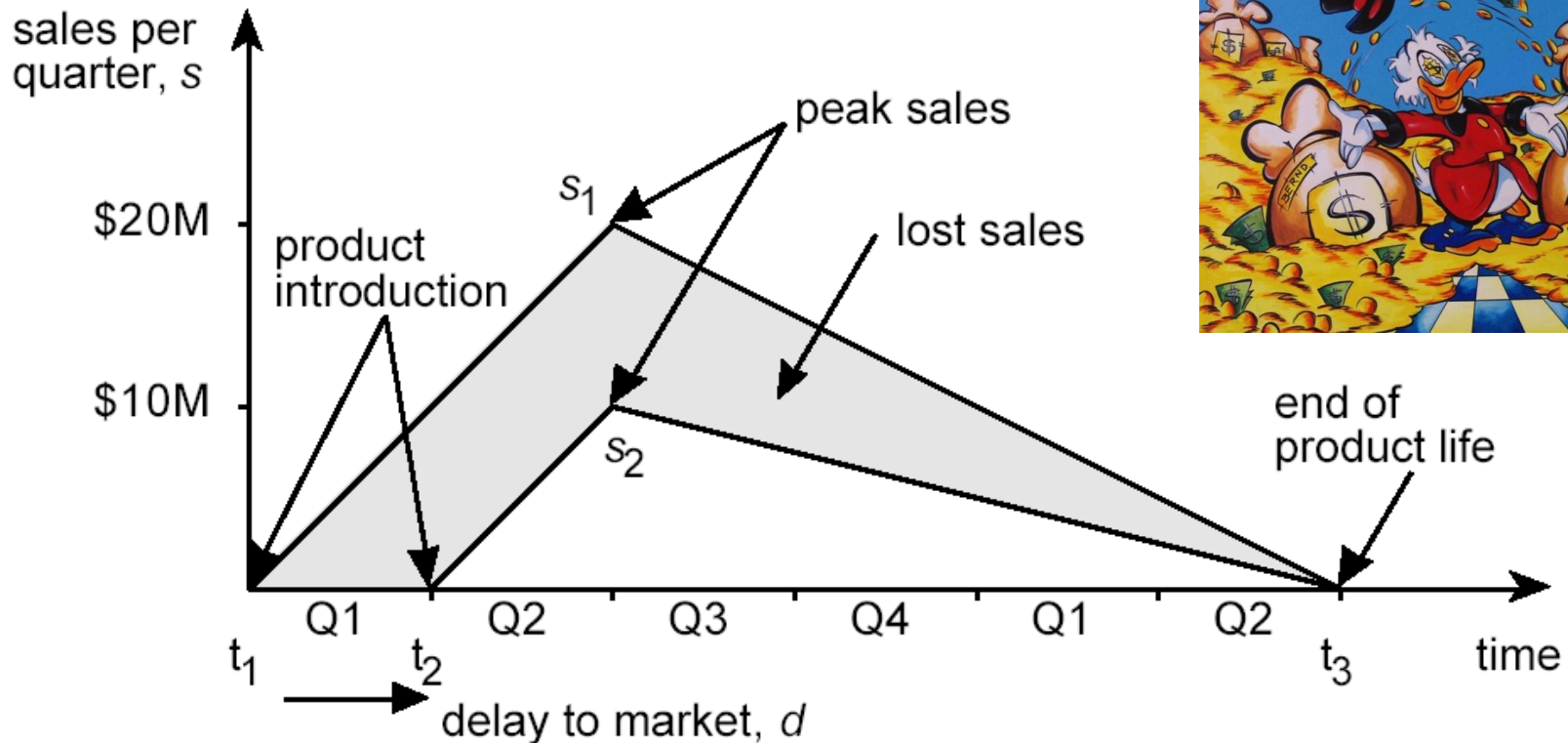
Process Constructor Types



- We need three main categories of process constructor
 - Combinational
 - Process has no internal state
 - Delay
 - Process delays input
 - Sequential
 - Processes have an internal state



Time-to-market is critical!



Source: Smith 1997



**ROYAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY**

Vetenskap

- utvecklande av tidigare okänd objektiv kunskap med systematiska metoder

Konst

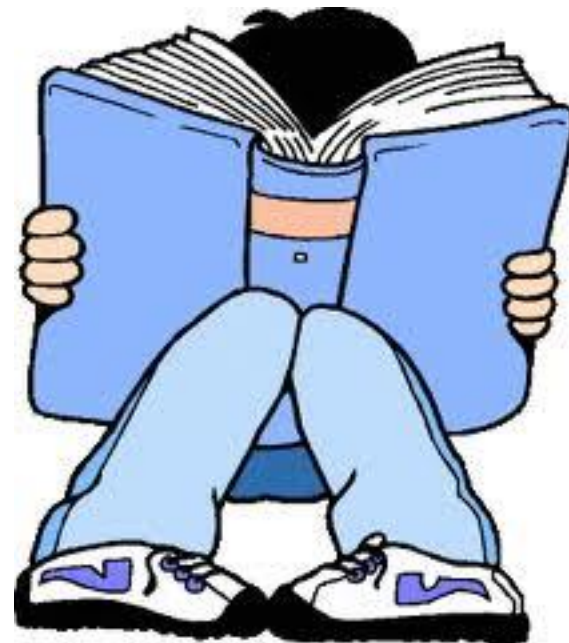
- De sköna konsterna
- Färdighet. Förmåga att med hjälp av kunskap, erfarenhet och rent kroppsliga egenskaper kunna utföra en viss handling

- Matematiska modeller behövs för att konstruera digitala system
- Time-to-market tvingar fram en högre abstraktionsnivå
- Design metoder som ForSyDe försöker att flytta designstarten till en högre abstraktionsnivå och ger en bas för formell verifiering

Det finns en kursbok...

- Brown/Vranesic, Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design (3rd edition), Mc-Graw-Hill, 2009 (Kårbokhandeln)
- Alternativ: Lars-Hugo Hemert, Digitala Kretsar, Studentlitteratur. ISBN 91-44-01918-1

Läs den!



Glöm inte...



- att tempot är mycket högre på KTH än på gymnasiet!
- En civilingenjör har ett stort ansvar för samhället och måste därför ha en gedigen utbildning!

- Kursbok: Kapitel 1
- ForSyDe web page:
 - <http://www.ict.kth.se/forsyde/>

Om kursen...

Kursens mål

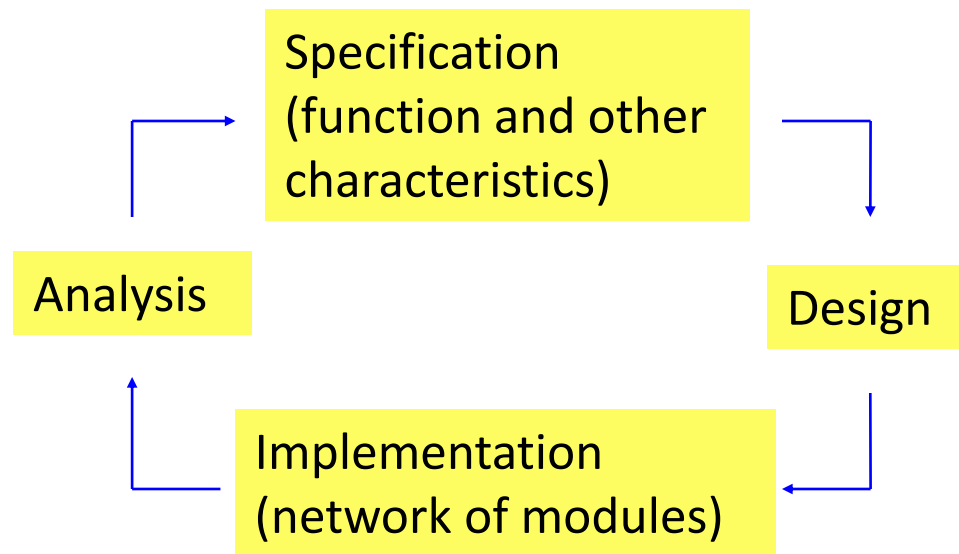


- Att lära ut de teoretiska grunderna för analys och konstruktion av kombinatoriska och sekventiella kretsar
- Att genom praktisk problemlösning ge en förståelse för de olika design-/konstruktions-faserna i syfte att kursdeltagarna ska behärska konstruktion av enkla kombinatoriska och sekventiella digitala system

Kursens mål



- Att lära kursdeltagarna en designmetodik



- Att med hjälp av denna metodik kunna konstruera enkla digitala system

- Introducera studenterna till engelska och engelsk kurslitteratur
 - Nästan all relevant litteratur inom ämnet är på engelska
 - Engelska är arbetspråk i alla större svenska internationella bolag
 - Att tala engelska (någorlunda) flytande är en förutsättning för en framgångsrik karriär som civilingenjör

- Kursbok
 - Brown/Vranesic, *Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design (3rd edition)*, Mc-Graw-Hill, 2009 (Kårbokhandeln)
- Mer material finns på websida
 - <https://www.kth.se/social/course/IE1205/>
 - Föreläsningbilderna läggs ut på websidan efter lektionen!

- Specifikation av digitala funktioner och system
- Digitala byggelement
- Kombinatoriska system
- Digital Aritmetik
- Synkrona system och tillståndsmaskiner
- Asynkrona system och tillståndsmaskiner
- Lite större digitala system – om processorn och datorer

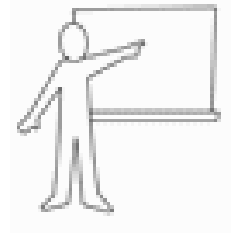
- Vi kommer inte att gå igenom VHDL i någon större utsträckning – det är en hel kurs i sig.

- Examination
 - LABA, 2 hp
 - Betyg: G/U
 - TENA, 4.0 hp
 - Betyg A-E/F
- Föreläsningar - 28 h (14x2h)
- Övningar - 16 h (8x2h)
- Laborationer - 8 h (2x4h)

- Föreläsare
 - Fredrik Jonsson
- Övningar
 - Shaoteng Li / Geng Yang
 - Nan Li
- Laborationer (utförs i Kista)
 - Jue Shen
 - Qin Zhou
 - Jordi Solsona Belenguer

- Tentamen äger rum på Campus Valhallavägen
 - Aktuell information på KTH:s websidor
 - Tor 15 jan, 9:00-13:00 (D41, D42, E33, E34)
(kursen läses även i Kista, därav ytterligare salar)
- Anmälan krävs
 - Senast två veckor innan tentamen!
 - Rutinerna för anmälan kommer att informeras i mer detalj senare

- Laborationer utförs i Kista
 - KTH-Kista, Electrum, Sal Ka-305
- Anmälan krävs och görs via Daisy-systemet
 - <https://daisy.ict.kth.se/>
- Personliga förberedelseuppgifter, kontrollera din personliga kod i Daisy
- Obligatoriska labbförberedelser. **Var beredd att redovisa muntligt vid tavlan på laborationen.**



- Föreläsaren försöker att vara tillgänglig under rasten och en stund efter lektionen
 - Utnyttja den tiden
- Mail
 - KTH-personal dränks i mailfloden, så det kan ta en stund tills vi hinna svara på ett e-mail
 - Titta först på websidan om du har en fråga
 - Skicka tydliga och klara mail till rätt person
 - Använd din KTH-mailadress!
 - Kalla ditt meddelande "IE1205 : ...", så att vi lätt hittar kursrelaterade brev

Mer information finns på webben!



- Det är inte möjligt att gå igenom all information under lektionen
- Besök hemsidan (uppdateras kontinuerligt under kursen)
 - <https://www.kth.se/social/course/IE1205/>

- Digitaltekniken använder bara två siffersymboler: 0 och 1
 - Enkelt att implementera – varje värde motsvarar en spänningsnivå, t ex
 - 0 Volt motsvarar 0
 - 5 Volt motsvarar 1

Hur kan man då representera vanliga tal?

- I det decimala talsystemet har man 10 olika siffersymboler: 0 till 9
- Ett decimaltal representeras med en sekvens av siffersymboler
 - Positionen i sekvensen ger siffrans vikt och multipliceras med en potens av 10 (*basen* i decimalsystemet är 10)

$$(653)_{10} = 6 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0$$

- Representation av ett heltal

$$N_{10} = x_{m-1} \cdot 10^{m-1} + x_{m-2} \cdot 10^{m-2} \dots + x_1 \cdot 10^1 + x_0 \cdot 10^0$$

$$(653)_{10} = 6 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0$$

- Representation av ett decimaltal

$$N_{10} = x_{m-1} \cdot 10^{m-1} + x_{m-2} \cdot 10^{m-2} \dots + x_1 \cdot 10^1 + x_0 \cdot 10^0 + x_{-1} \cdot 10^{-1} + x_{-2} \cdot 10^{-2} + \dots$$

$$(6.53)_{10} = 6 \cdot 10^0 + 5 \cdot 10^{-1} + 3 \cdot 10^{-2}$$

- Binärsystemet fungerar på samma sätt som decimalsystemet, men man använder basen 2 i stället för 10!

$$N_2 = x_{m-1} \cdot 2^{m-1} + x_{m-2} \cdot 2^{m-2} \cdots + x_1 \cdot 2^1 + x_0 \cdot 2^0 + x_{-1} \cdot 2^{-1} + x_{-2} \cdot 2^{-2} + \cdots$$

$$(110)_2 = 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = (6)_{10}$$

$$(11.01)_2 = 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} = (3.25)_{10}$$

- I det oktala talsystemet är basen 8 och därmed används siffersymbolerna 0 till 7

$$N_8 = x_{m-1} \cdot 8^{m-1} + x_{m-2} \cdot 8^{m-2} \dots + x_1 \cdot 8^1 + x_0 \cdot 8^0 + x_{-1} \cdot 8^{-1} + x_{-2} \cdot 8^{-2} + \dots$$

$$(65.3)_8 = 6 \cdot 8^1 + 5 \cdot 8^0 + 3 \cdot 8^{-1} = (53.375)_{10}$$

- I det hexadecimala talsystemet är basen 16 och därmed används siffersymbolerna 0 till 9 och A till F

$$N_{16} = x_{m-1} \cdot 16^{m-1} + x_{m-2} \cdot 16^{m-2} \dots + x_1 \cdot 16^1 + x_0 \cdot 16^0 + x_{-1} \cdot 16^{-1} + x_{-2} \cdot 16^{-2} + \dots$$

$$(AE.8)_{16} = 10 \cdot 16^1 + 14 \cdot 16^0 + 8 \cdot 16^{-1} = (174.5)_{10}$$

- En allmän formulering kan erhållas för basen b

$$N_b = x_{m-1} \cdot b^{m-1} + x_{m-2} \cdot b^{m-2} \dots + x_1 \cdot b^1 + x_0 \cdot b^0 + x_{-1} \cdot b^{-1} + x_{-2} \cdot b^{-2} + \dots$$

Heltalen för olika talsystem



2	8	10	16
0	0	0	0
1	1	1	1
10	2	2	2
11	3	3	3
100	4	4	4
101	5	5	5
110	6	6	6
111	7	7	7
1000	10	8	8
1001	11	9	9
1010	12	10	A
1011	13	11	B
1100	14	12	C
1101	15	13	D
1110	16	14	E
1111	17	15	F
10000	20	16	10

Quick question

Vilket hexadecimala tal motsvarar det binära talet 00010111 ?

A: 23

B: 13

C: 17



Omvandling mellan decimala och binära tal



- Omvandling från binär till decimal är trivial
- Omvandlingen från decimaltal till binärtal görs genom upprepade delning med 2
 - Resten ger siffervärdet
 - Siffrorna kommer i omvänd ordning – Least Significant Bit (LSB) kommer först

$$53 \div 2 = 26R1 \Rightarrow x_0 = 1 \text{ (LSB)}$$

$$26 \div 2 = 13R0 \Rightarrow x_1 = 0$$

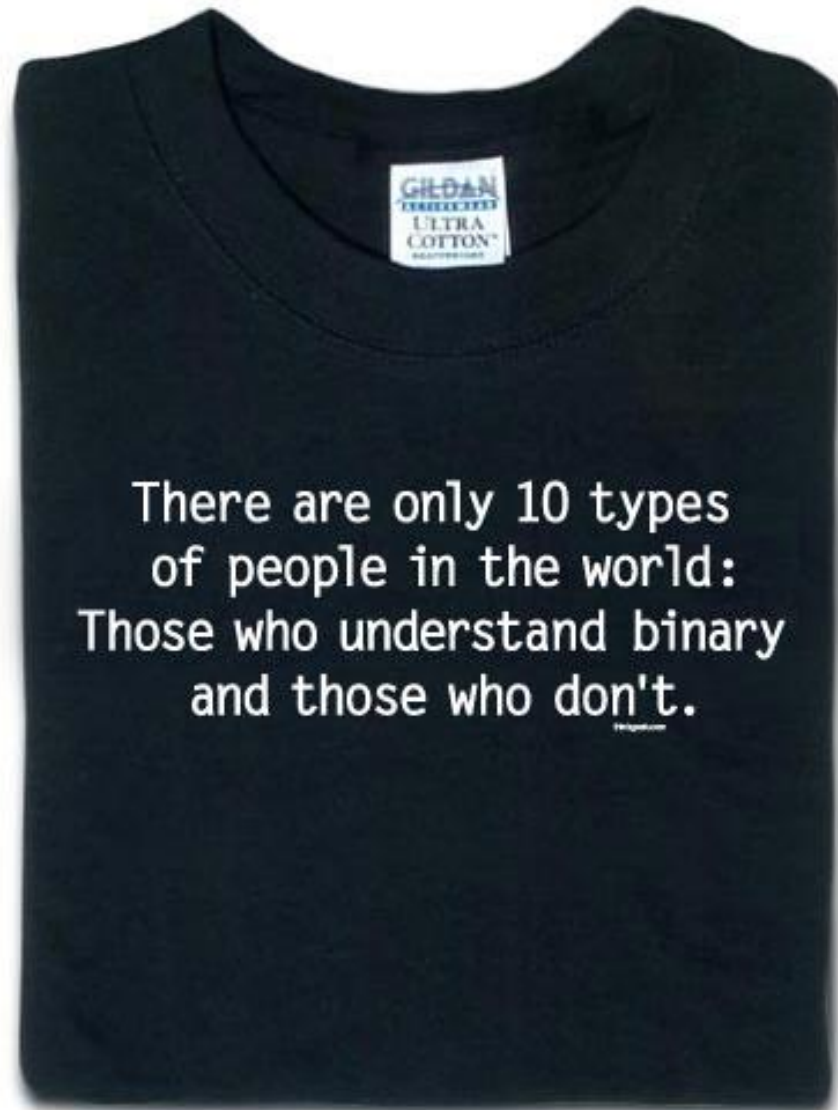
$$13 \div 2 = 6R1 \Rightarrow x_2 = 1$$

$$6 \div 2 = 3R0 \Rightarrow x_3 = 0$$

$$3 \div 2 = 1R1 \Rightarrow x_4 = 1$$

$$1 \div 2 = 0R1 \Rightarrow x_5 = 1 \text{ (MSB)}$$

Dvs 53 decimalt motsvarar 110101 binärt



There are only 10 types
of people in the world:
Those who understand binary
and those who don't.

Sammanfattning



- Det finns olika talsystem
- Digitaltekniken använder det binära talsystemet
- Man kan omvandla tal mellan olika talsystem