



RAČUNALNIŠKA ARHITEKTURA

1 Uvod

- Spletne strani: <http://ucilnica.fri.uni-lj.si>
<http://www.fri.uni-lj.si/>
<http://laps.fri.uni-lj.si/>

- e-naslov: igor.skraba@fri.uni-lj.si

- Literatura:
 - Dušan Kodek: ARHITEKTURA IN ORGANIZACIJA
RAČUNALNIŠKIH SISTEMOV,
Bi-TIM, 2008

 - Andrew S. Tanenbaum: STRUCTURED COMPUTER
ORGANIZATION, Sixth Edition
Pearson Prentice Hall, 2013

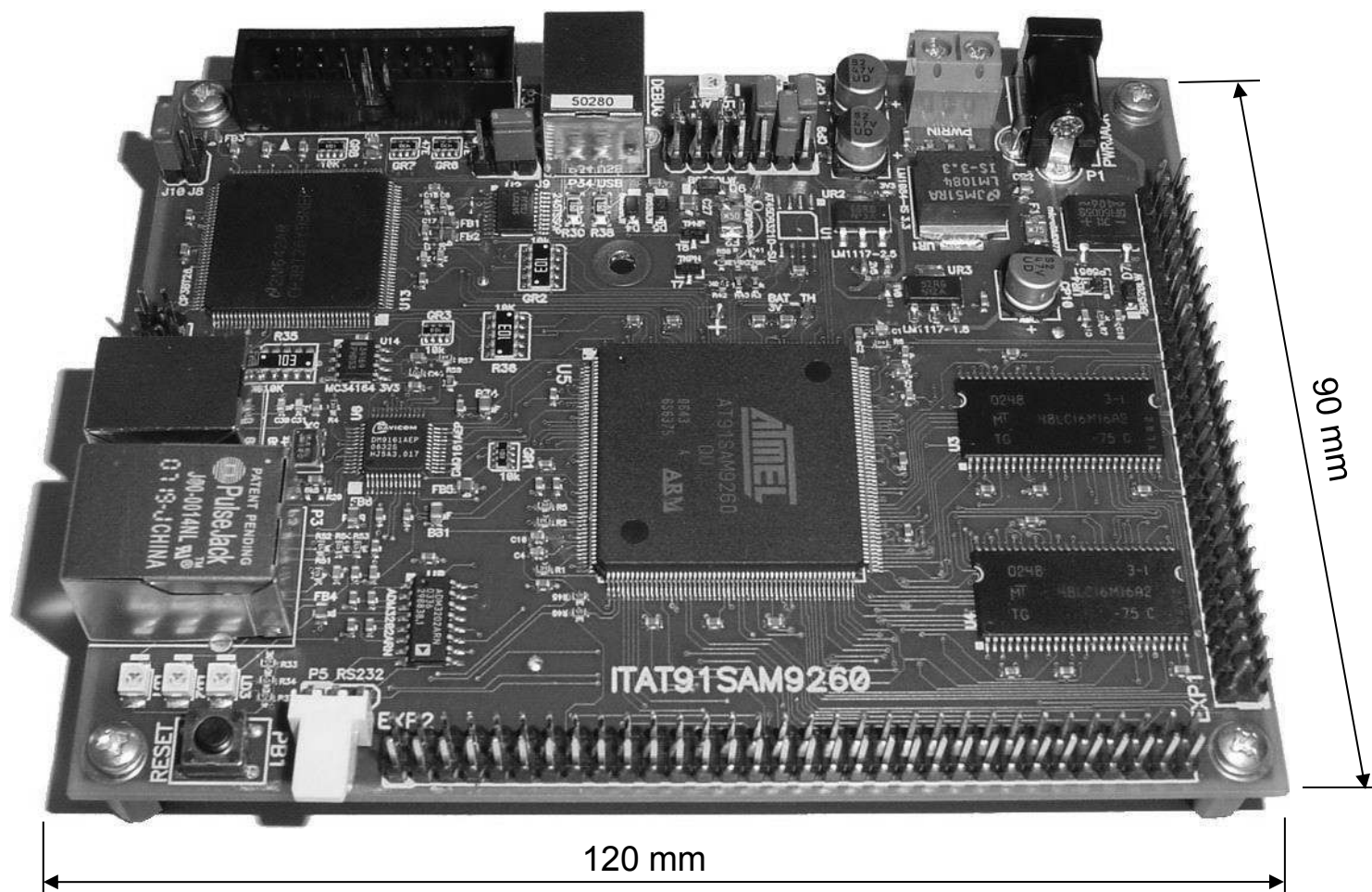
 - Prosojnice na <http://ucilnica.fri.uni-lj.si>

- Razvoj in uporaba računalnikov: informacijska revolucija (tretja revolucija v naši civilizaciji)
- Izredno hiter razvoj v zadnjih 25 letih
- Aplikacije, ki so bile do nedavna ekonomsko nemogoče, so naenkrat postale vsakdanje:
 - Računalniki v avtomobilih
 - Mobilna telefonija
 - Analiza DNK (projekt Človeški genom)
 - Svetovni splet
 - Iskalniki (iskalnik Google DNA \Rightarrow 280.000.000 zadetkov v 0,29 s)

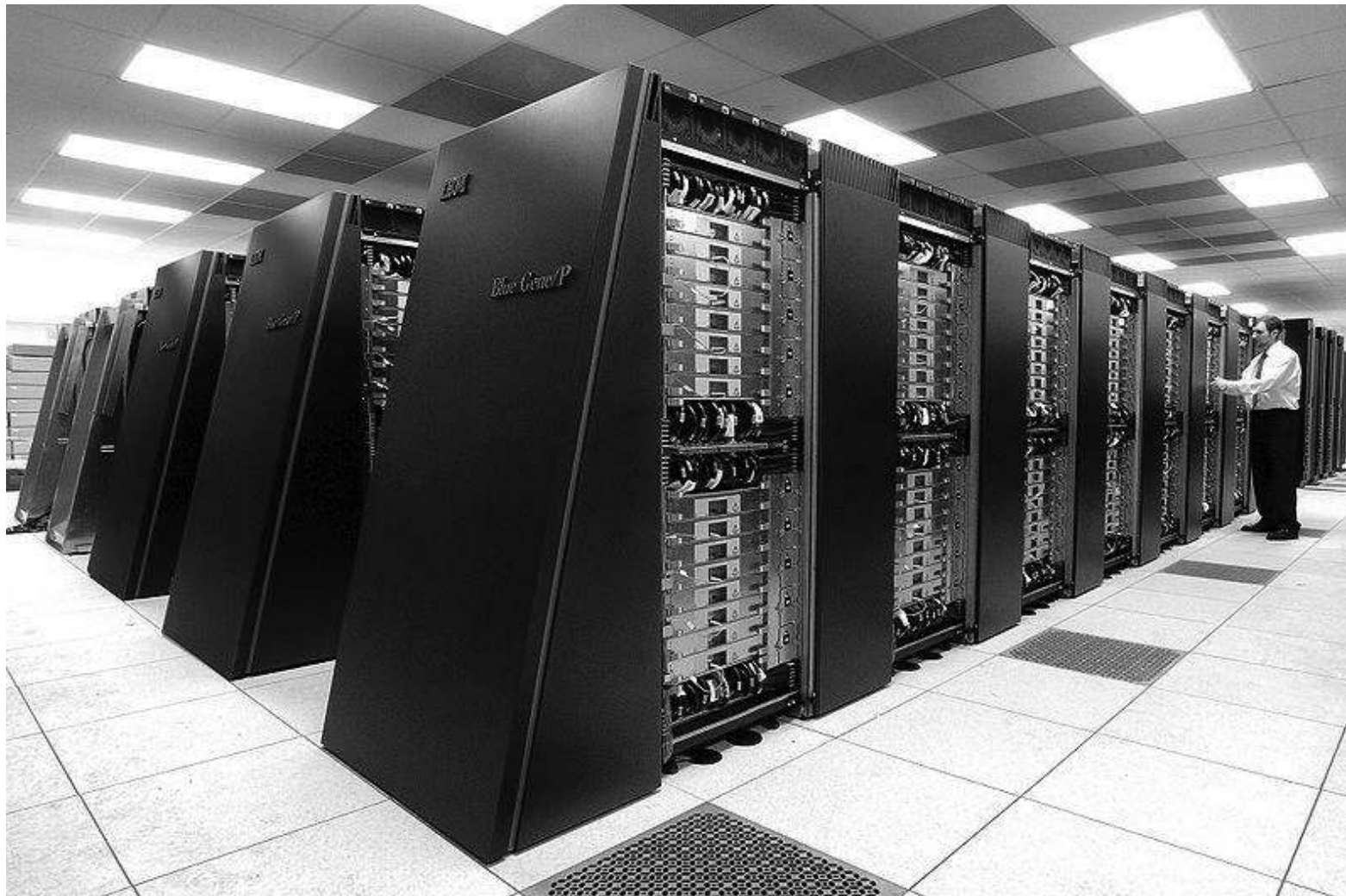
- Med računalniki so v izvedbi ogromne razlike:
 - Enostaven računalnik na enem čipu
 - Superračunalnik

- Z vsakim, tudi najenostavnejšim, pa lahko izračunamo vse kar se izračunati da (je izračunljivo)

- Računalnik FRI-SMS – avtor dr. Damjan Šonc
- Mikrokrmilnik AT91SAM9260 iz družine mikrokrmilnikov ARM9



- Superračunalnik IBM Blue Gene/P 163.840 procesorjev PowerPC
Argonne National Laboratory, ZDA 2008



- Google Data Center Oklahoma ZDA 2012 (8 v ZDA, 2 v Aziji in 4 v Evropi)



<http://www.google.com/about/datacenters/>

■ Delitev računalnikov glede na zmogljivost in ceno:

- ☐ Superračunalniki (npr. IBM Blue Gene/L /P /Q)
- ☐ Veliki računalniki (danes strežniki ~ M\$)
- ☐ Miniračunalniki (v 1960 letih kot nadomestilo za velike računalnike)
- ☐ Mikroračunalniki (CPE na enem čipu, osebni računalniki, delovne postaje)
- ☐ Vgrajeni (embedded = vsebovani) računalniki (pogosta zahteva je delovanje v realnem času)

- V današnjem času se je ta delitev računalnikov poenostavila na tri kategorije:
 - Osebni računalniki (namizni, tablični, . . .)
 - Strežniki
 - Med strežniki so velike razlike v ceni in zmogljivosti
 - Na spodnjem nivoju malo zmogljivejši namizni računalnik
 - Superračunalnik s terabajti glavnega pomnilnika in petabajti zunanjega pomnilnika na zgornjem nivoju
 - Vgrajeni (embedded) računalniki
 - Najštevilčnejša skupina računalnikov
 - Mikroprocesorji v avtomobilih, mobilnih telefonih, igralnih konzolah, gospodinjskih aparatih, avdio in video napravah, ...

Analogno – digitalno

Zvezno – diskretno









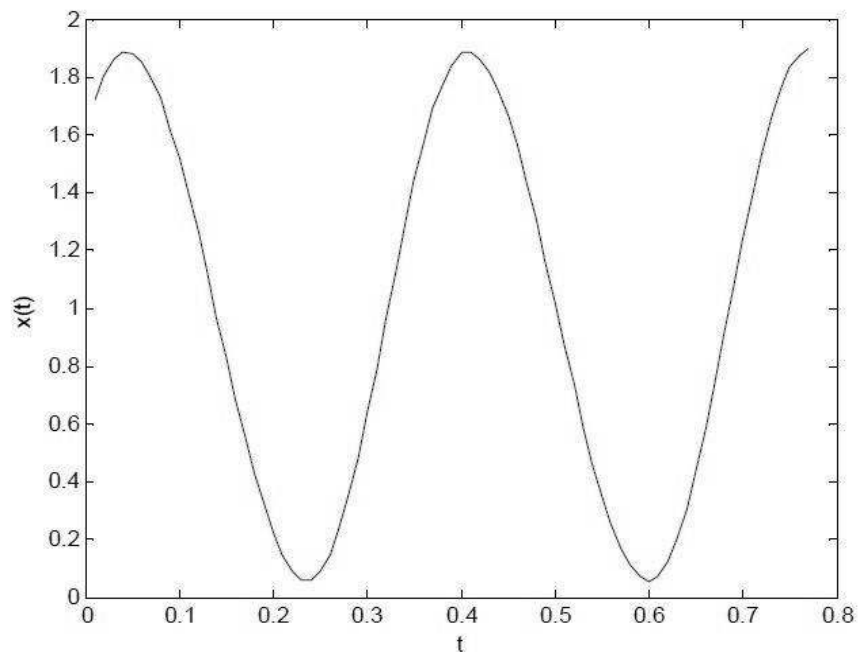
Analogno –
- zvezna predstavitev



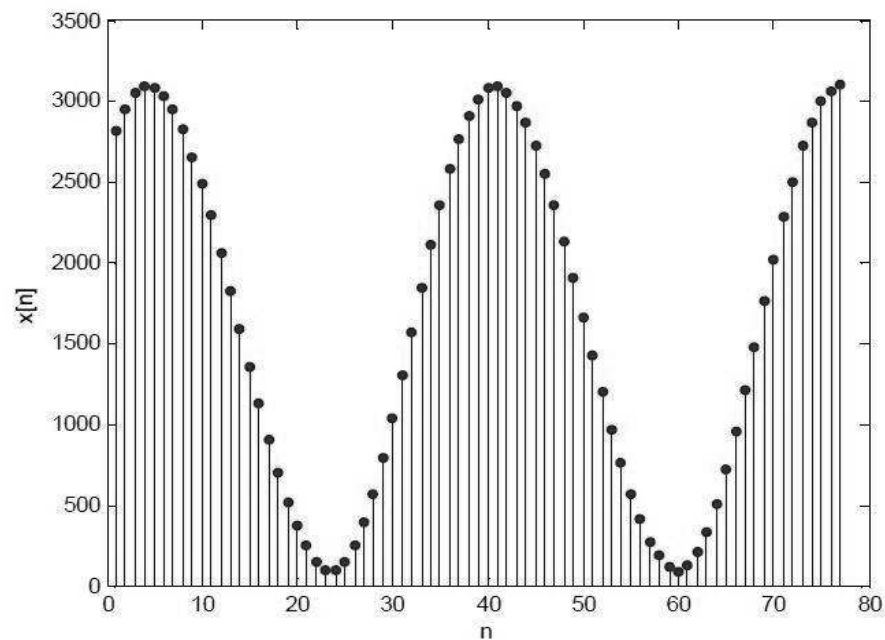
Digitalno –
- diskretna predstavitev



Analogno – - zvezna predstavitev



Digitalno – - diskretna predstavitev

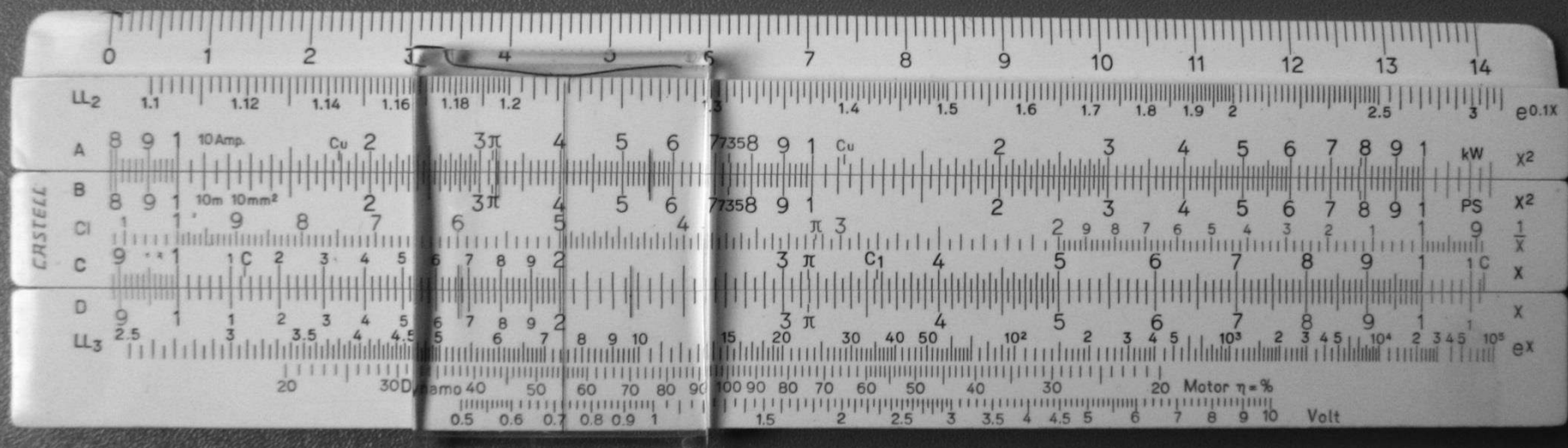




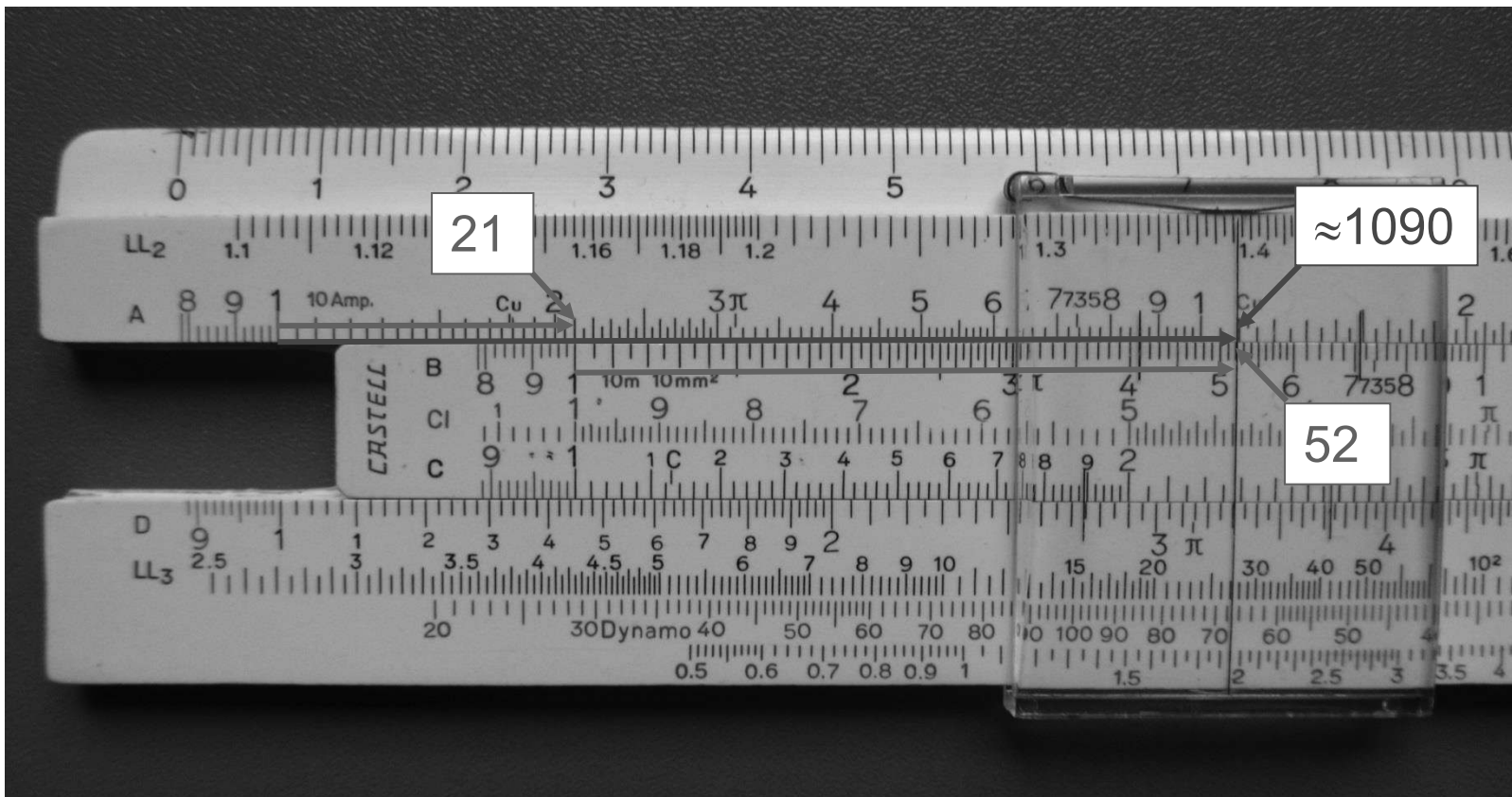
Analogno računanje – zvezna predstavitev števil

Digitalno računanje – diskretna predstavitev števil

- Analogno računanje poteka s predstavitvijo števil z neko drugo fizikalno veličino:
 - Z razdaljo \Rightarrow Logaritmično računalo
 - Ideja: $\log_{10}(a \cdot b) = \log_{10} a + \log_{10} b$



- Primer množenja npr. 21×52 z logaritmičnim računalom:



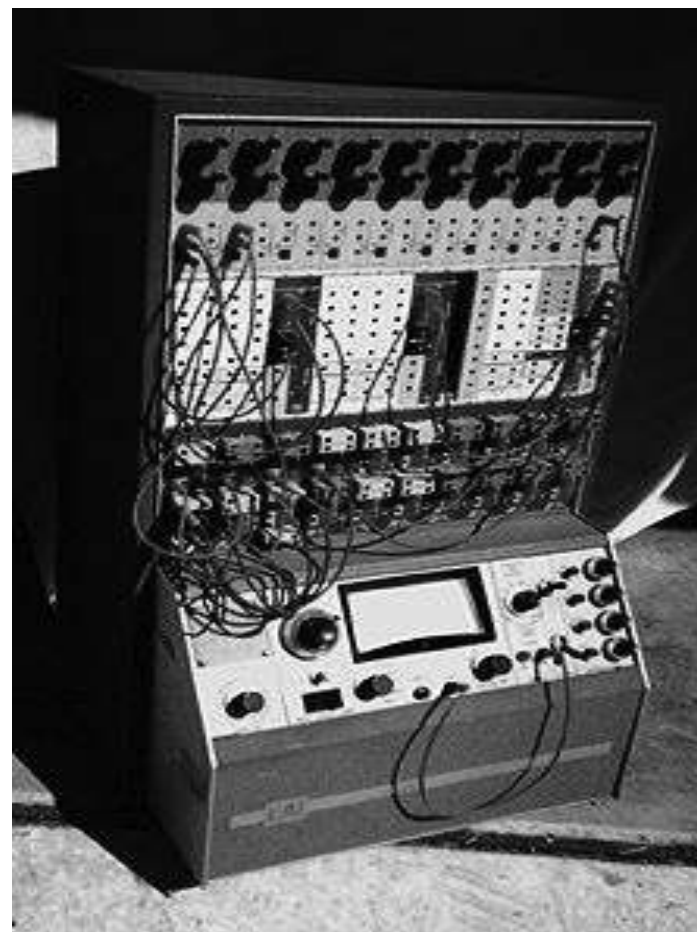
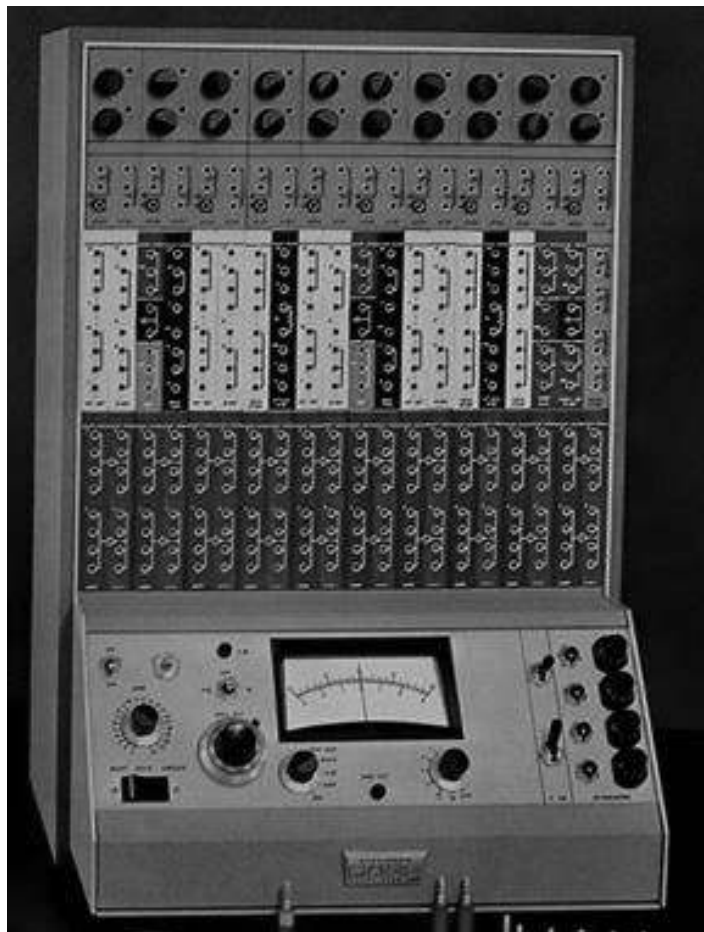
$$21 \times 52 \approx 1090$$

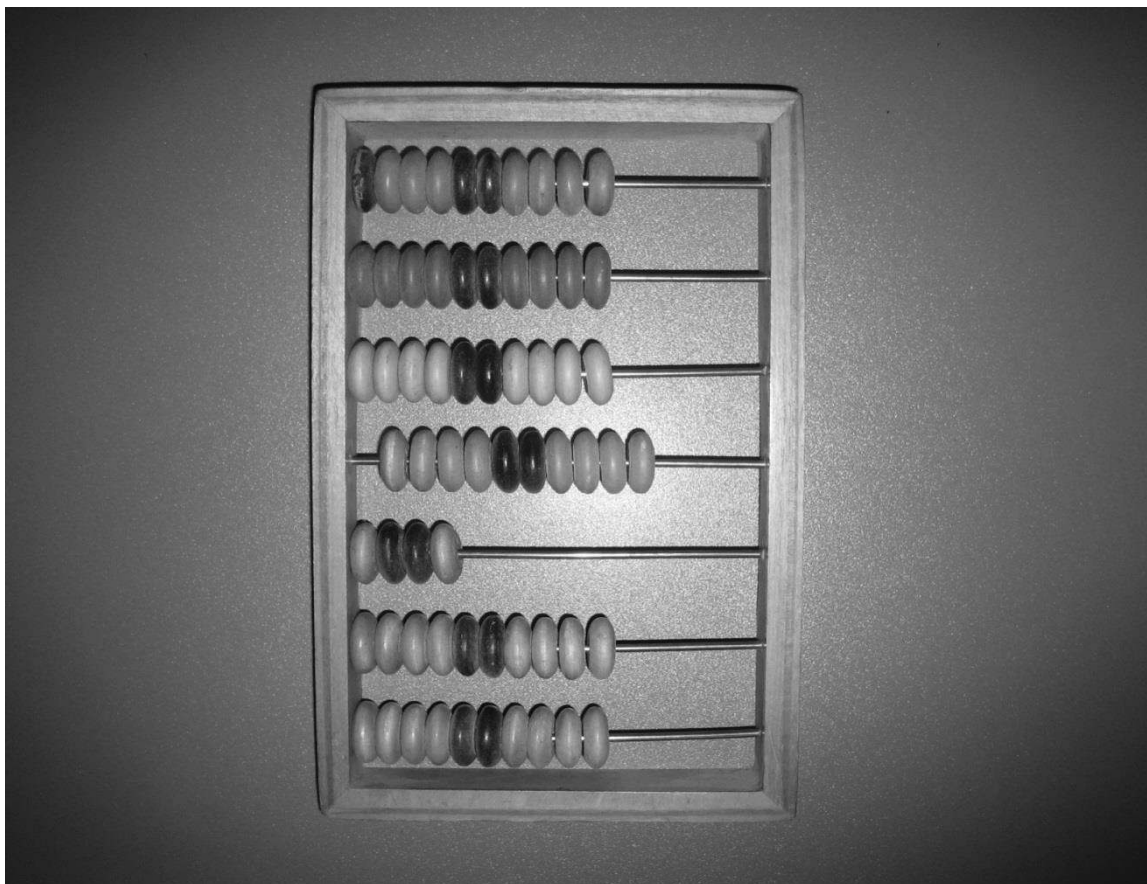
Odčitani rezultat

$$21 \times 52 = 1092$$

Točni rezultat

- Z napetostjo \Rightarrow Analogni računalnik





- Diskretno računanje s kroglicami
- S številkami od 0 do 9

- S števkama 0 in 1



- Dvojiški številski sistem:

- ☐ osnova številskega sistema je 2
- ☐ številki 0 in 1

- Dvojiška številka angl. binary digit = bit

- Bit = ena od dveh števil (0 ali 1) dvojiškega številskega sistema

- Digitalni računalnik

Vsebina predmeta: Zgradba in delovanje (digitalnih) računalnikov

- Računalniška arhitektura je zgradba računalnika kot jo vidi programer, ki programira v strojnem jeziku.
- Strojni jezik je jezik, ki ga sestavljajo ukazi, ki jih računalnik direktno izvaja. Te ukaze imenujemo strojni ukazi.
- Strojni ukazi so ukazi, ki so “vgrajeni” v računalnik. Računalniki različnih proizvajalcev imajo različne strojne ukaze.

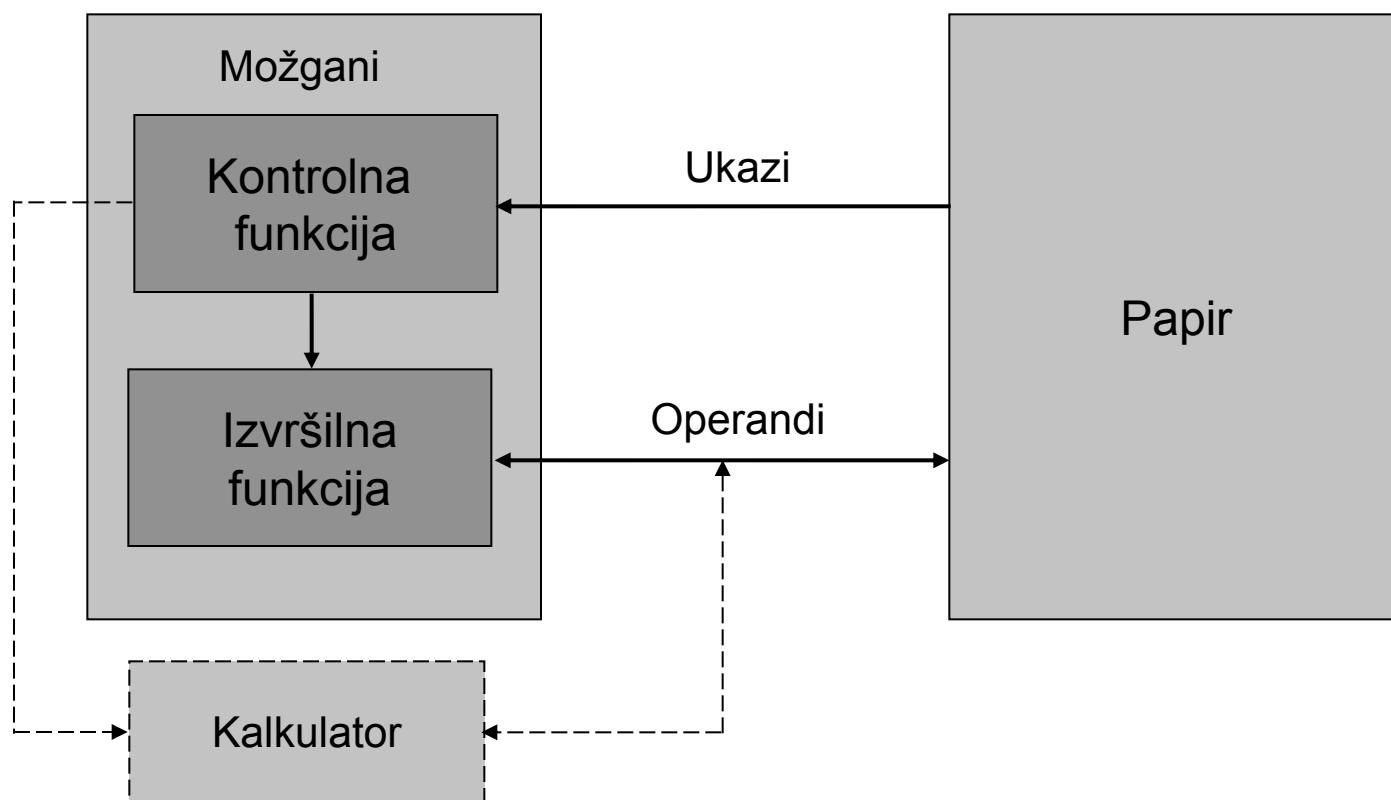
Kaj dela računalnik? (Kako deluje?)
Izvaja ukaze

- Digitalni računalnik je stroj za reševanje problemov tako da izvaja ukaze, ki jih vanj vnašajo ljudje.
- Zaporedje ukazov, ki določajo kako naj stroj izvede določeno nalogo, imenujemo program.
- Elektronsko vezje v računalniku prepoznavna in direktno izvaja samo omejeno število strojnih ukazov, v katere se morajo pred izvajanjem spremeniti vsi programi.
- Različni procesorji imajo različne strojne ukaze.

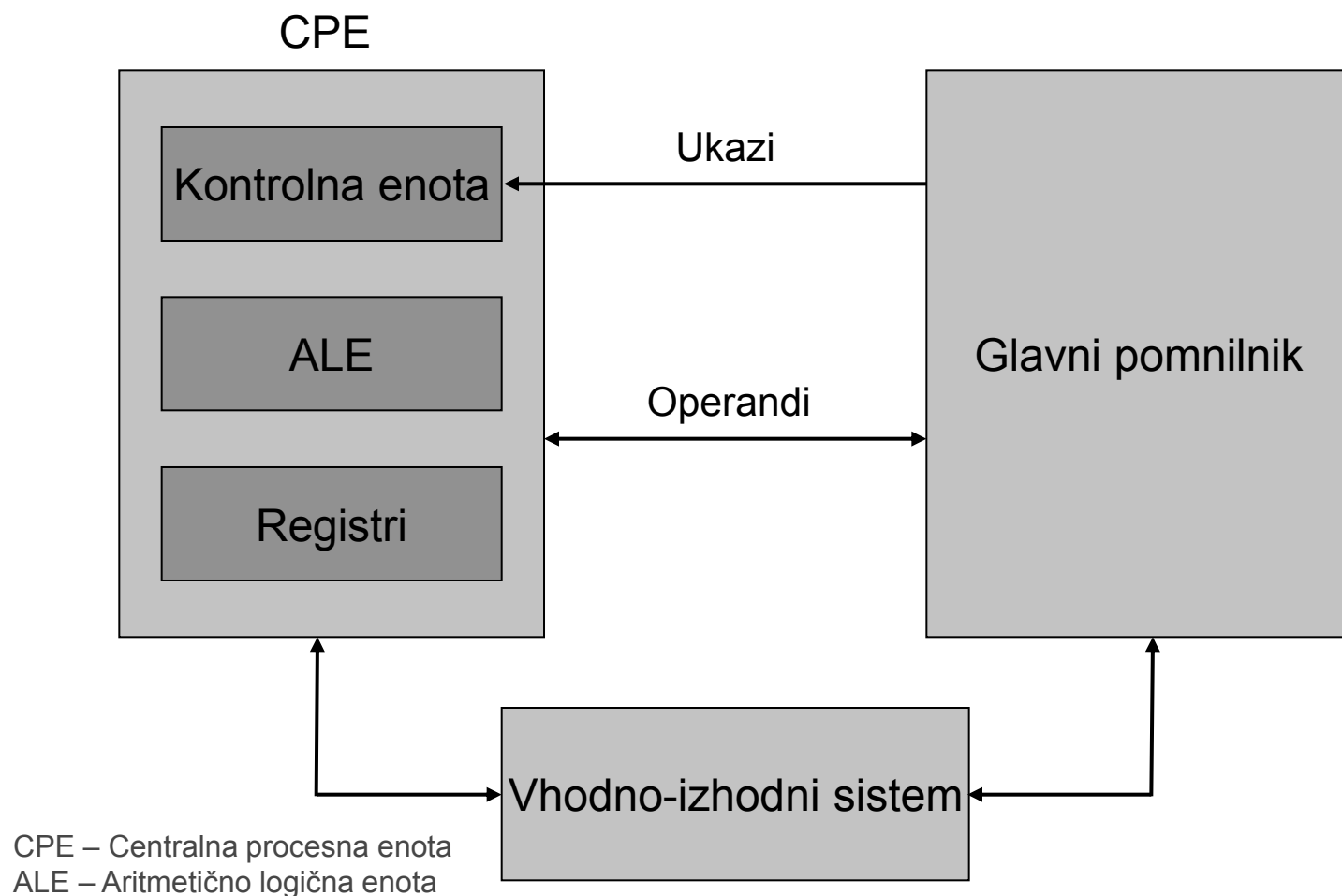
- Ti osnovni ukazi (strojni ukazi) so zelo enostavni kot npr.:
 - Seštej dve števili
 - Testiraj ali je število enako nič
 - Kopiraj podatek iz enega dela računalnikovega pomnilnika v drugi del.
- Vsak program, ki je napisan z nekimi drugačnimi ukazi (npr. z ukazi jezika Java, C++, VisualBasic,...) je zato treba spremeniti (prevesti) v te osnovne ukaze.

Povezava med ročnim in strojnim računanjem

Ročno računanje



Zgradba tipičnega računalnika



Informacije (ukazi in operandi) so v računalniku predstavljene v dvojiški obliki, s pomočjo električnih signalov

- Dve stanji (simbola) 0 in 1 sta predstavljeni z dvema nivojema električne napetosti.
 - ☐ **Stanje 0** predstavlja npr. nizka napetost (okrog 0V)
 - ☐ **Stanje 1** predstavlja npr. visoka napetost (do +5V)

- Enostavna realizacija s stikalom - primer:
 - ☐ **Stanje 0** - stikalo odprto - nizka napetost
 - ☐ **Stanje 1** - stikalo sklenjeno - visoka napetost

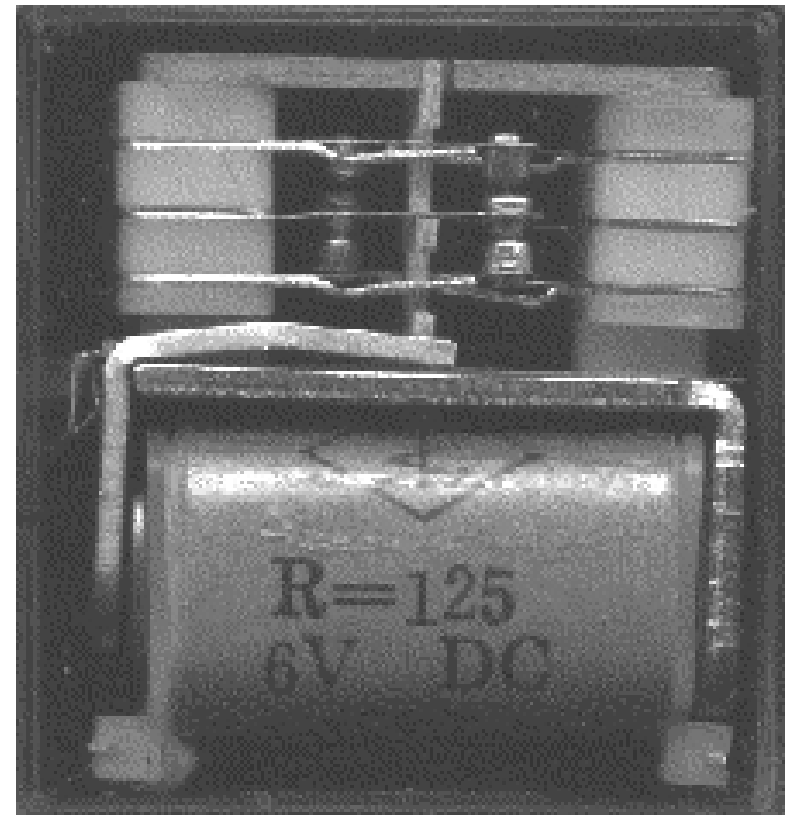
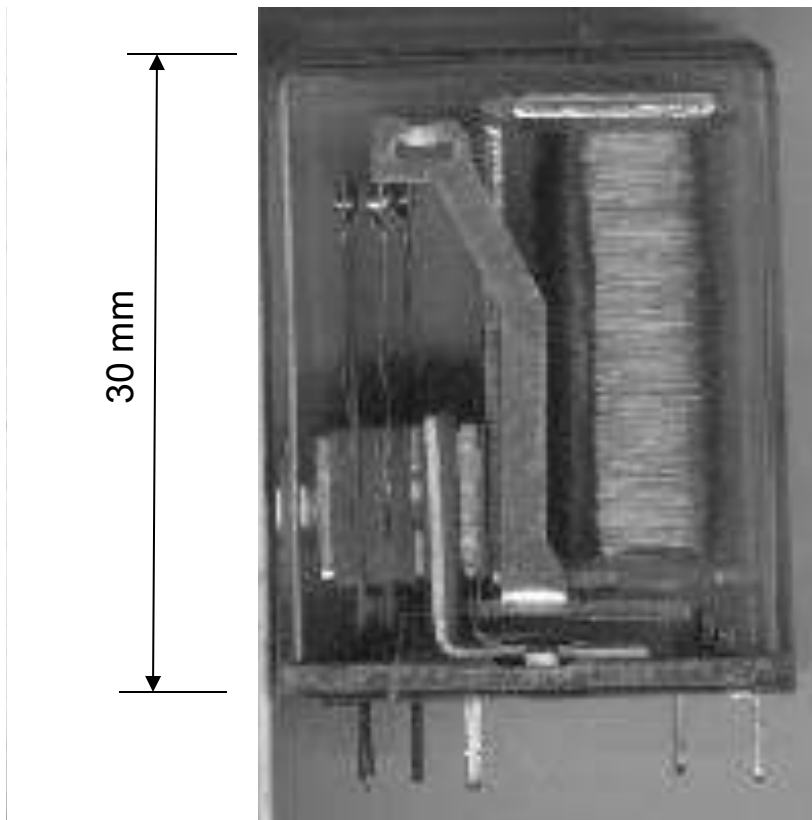
- Eno stikalo je lahko v dveh stanjih, v stanju 0 ali 1.
- Količina informacije, ki jo eno tako stikalo hrani, je 1 bit.
- Osnovno celico pomnilnika si lahko predstavljamo kot tako stikalo, ki navzven izkazuje svoje stanje in vanjo lahko shranimo 1 bit informacije. (0 ali 1)

Kombinacija 8 bitov v računalniku npr. 1000 1011 lahko predstavlja:

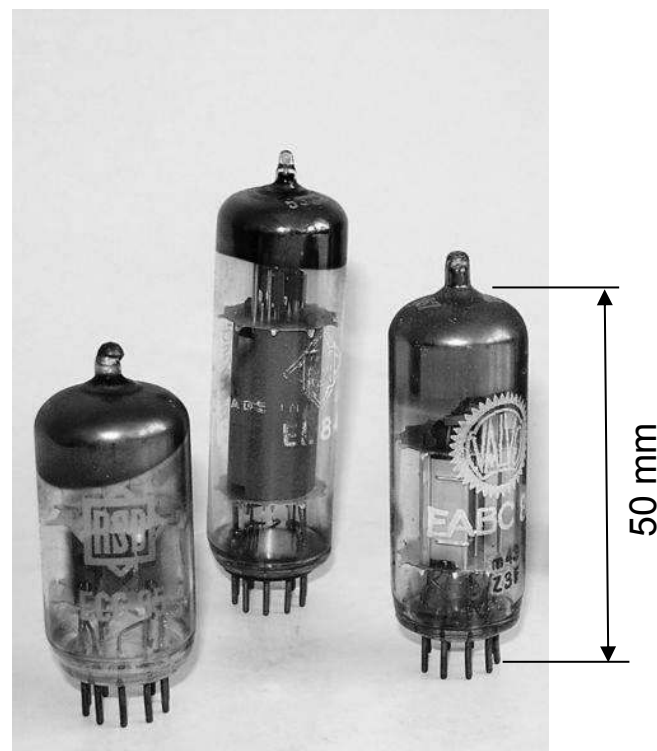
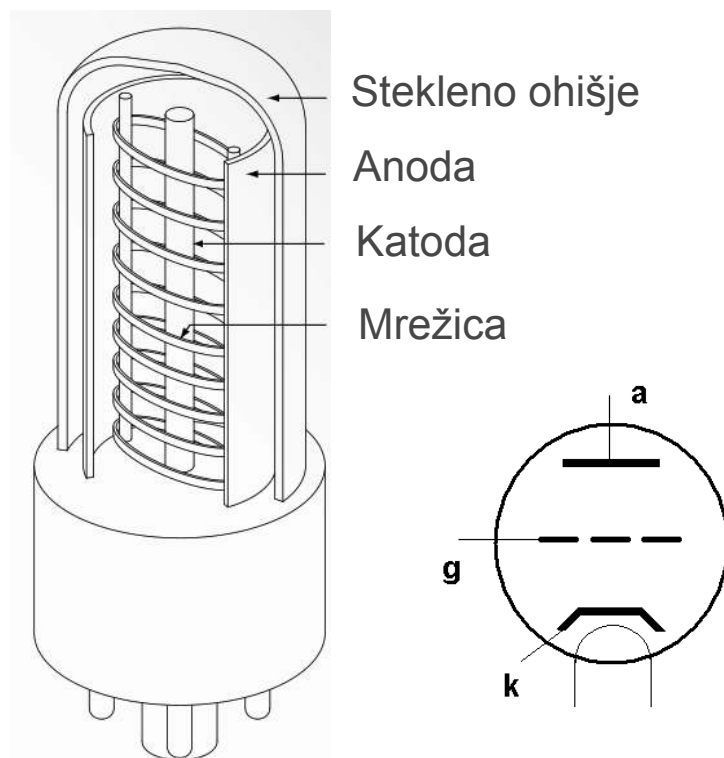
- število brez predznaka: 139(Desetiško)
- število s predznakom: - 11(Desetiško)
- znak v razširjeni ASCII abecedi: <
- strojni ukaz (op. koda 68HC11): ADDA (ukaz za seštevanje)
- pomnilniški naslov: 8B(Hex) = 139(Desetiško)
- kombinacijo bitov
- . . .

Realizacije stikala v razvoju digitalnih računalnikov – razvoj tehnologije

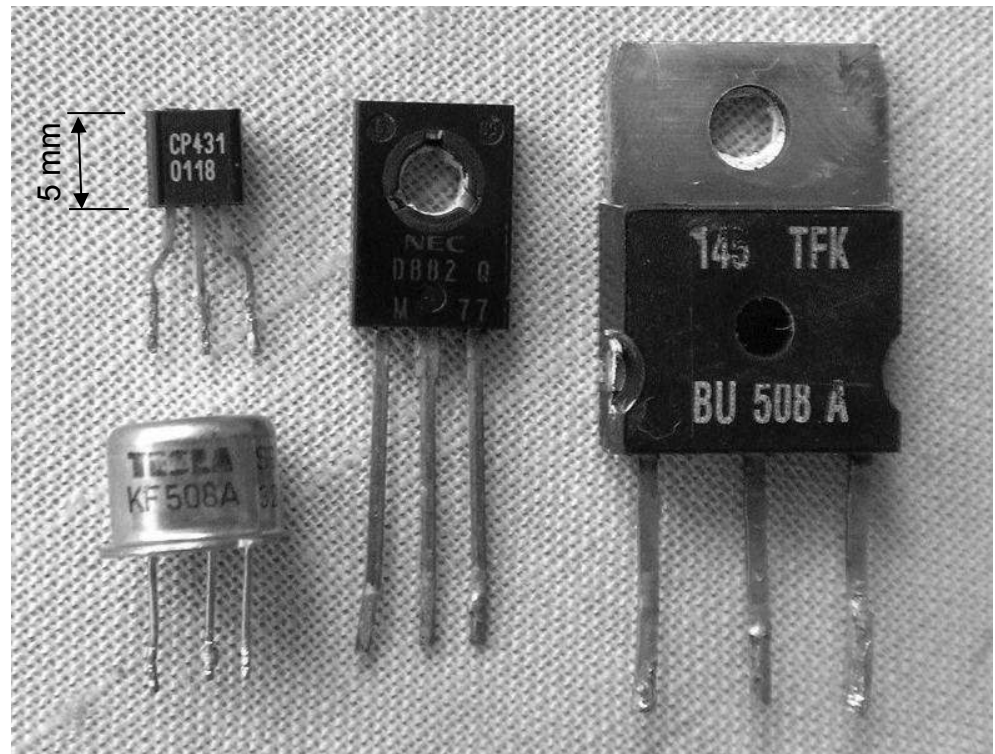
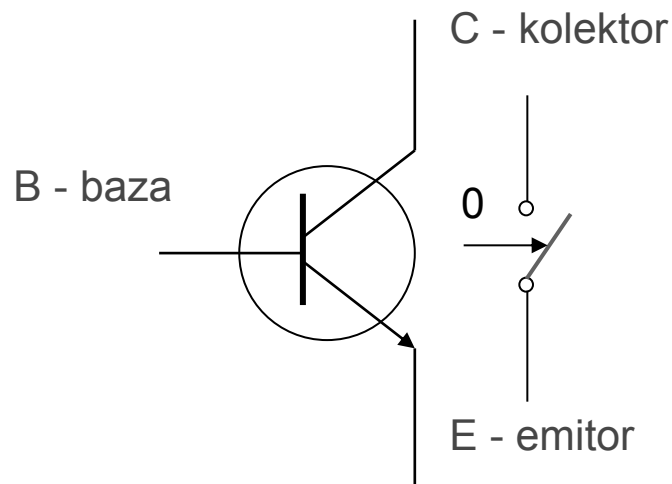
- Rele - elektromehansko stikalo leto 1939,
- čas preklopa ($0 \leftrightarrow 1$) 1-10ms ($\text{ms} = 10^{-3}\text{s}$)



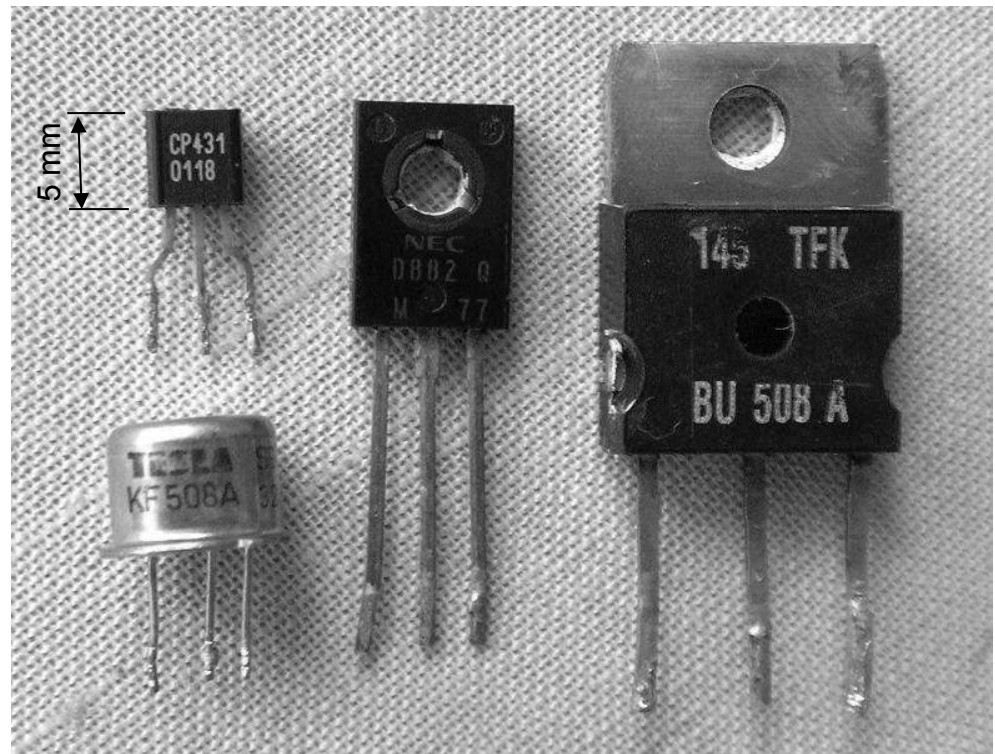
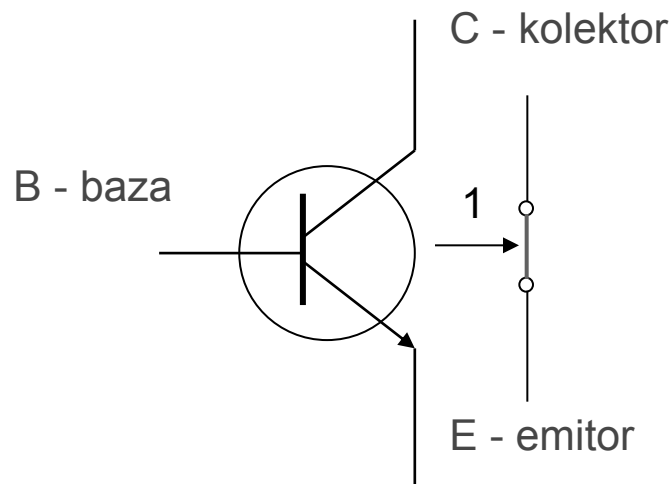
- Elektronka – elektronsko stikalo 1945-1955,
- čas preklopa $\sim 5\mu\text{s}$ ($\mu\text{s}=10^{-6}\text{s}$)



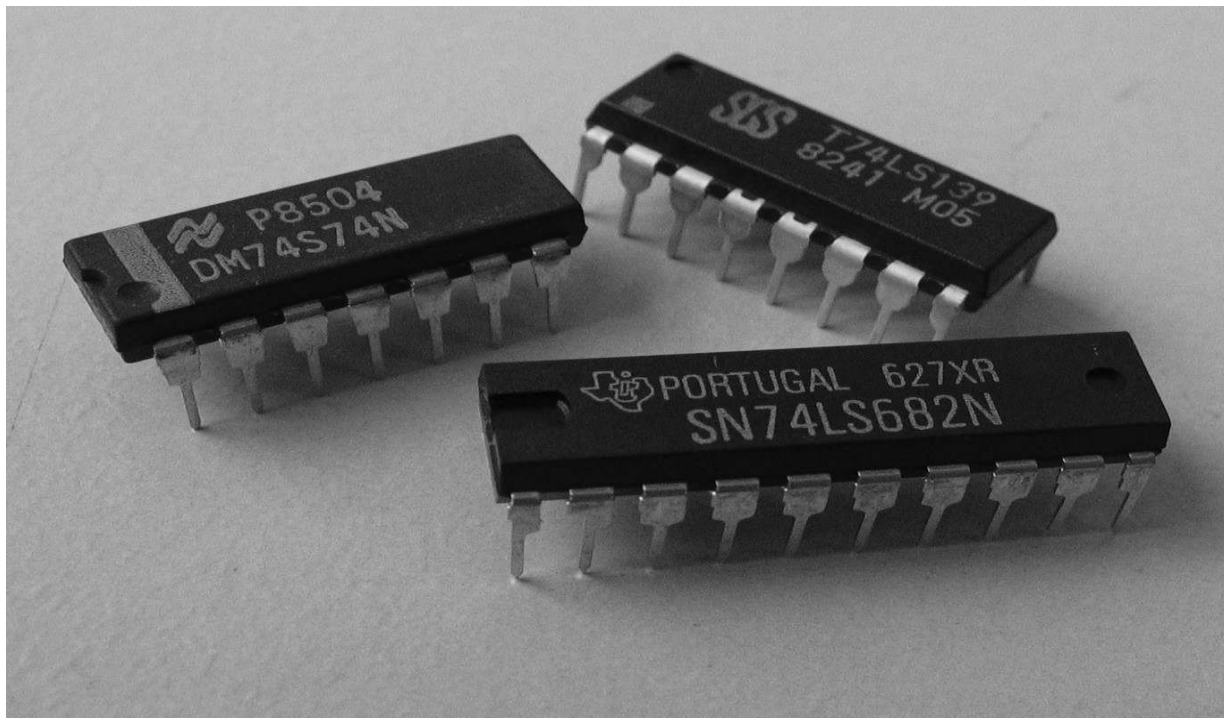
- Tranzistor, 1955 → , čas preklopa $\sim 10\text{ns}$ ($\text{ns}=10^{-9}\text{s}$)



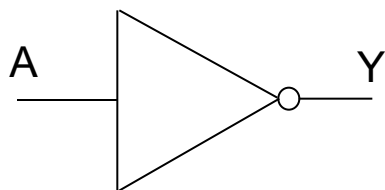
- Tranzistor, 1955 → , čas preklopa $\sim 10\text{ns}$ ($\text{ns}=10^{-9}\text{s}$)



- Integrirano vezje (več tranzistorjev na eni Si ploščici) – čip 1958
- SSI, MSI integrirana vezja
 - (Small Scale Integration, Medium Scale Integration)
- Logične funkcije, flip-flopi, registri, seštevalniki, . . .



Realizacija logične funkcije NEGACIJA (NOT)



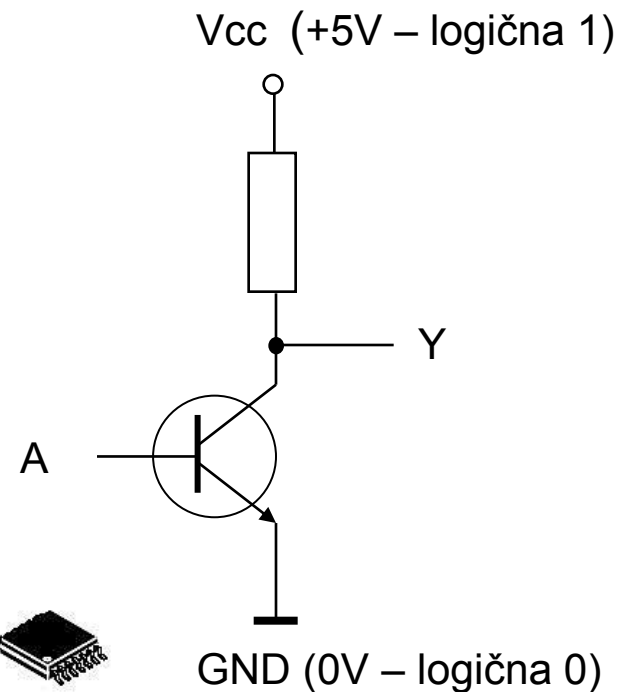
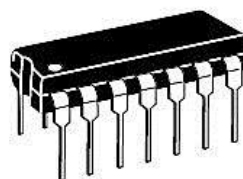
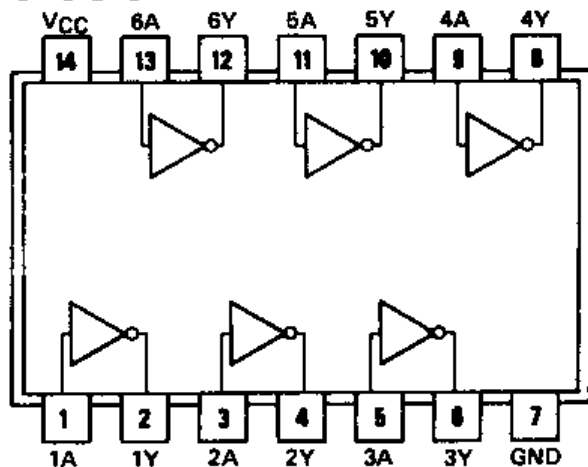
Simbol

A	Y
0	1
1	0

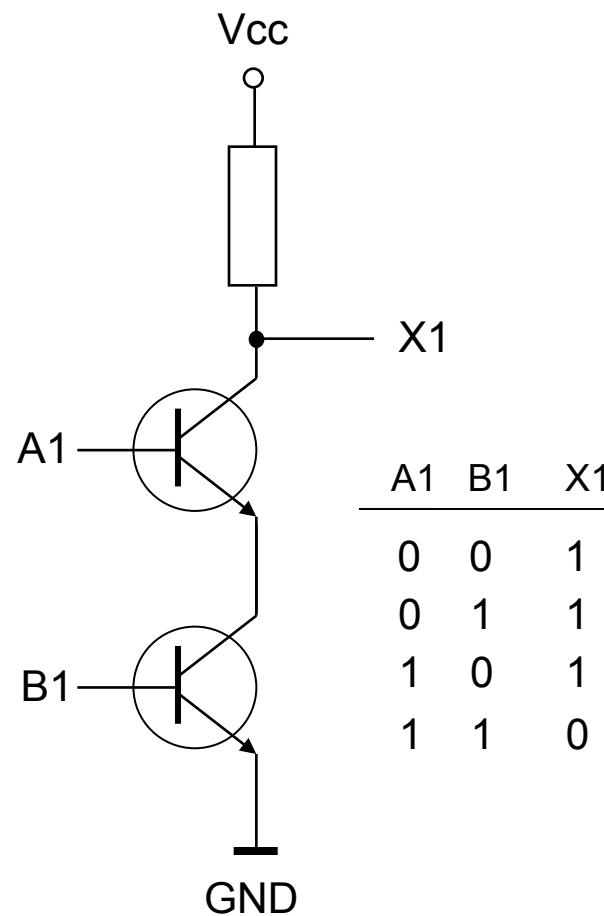
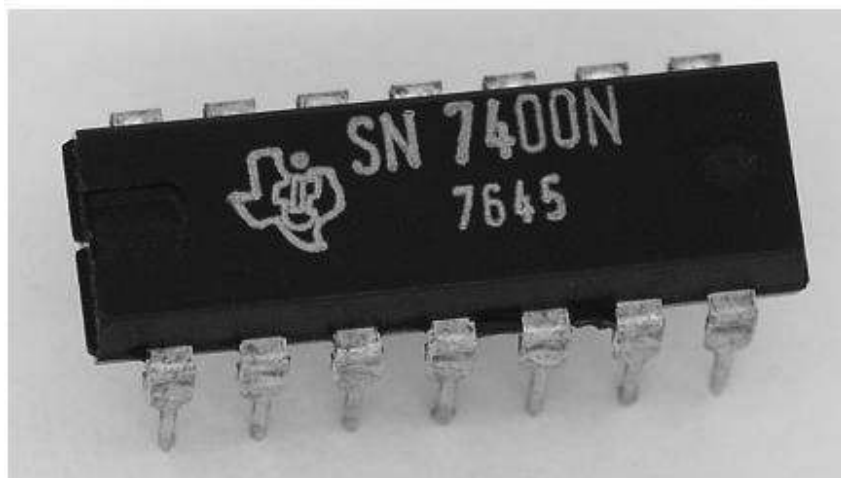
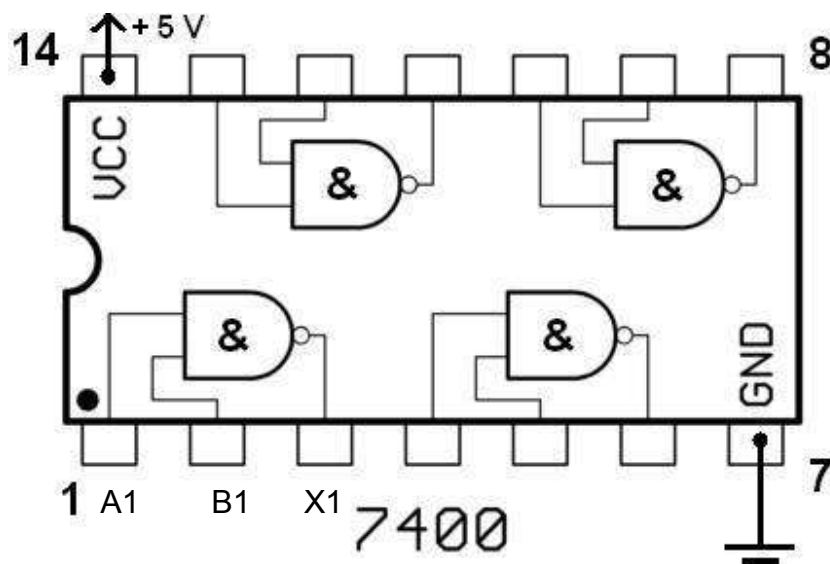
Pravilnostna tabela

IC (Integrated Circuit) s 6 negatorji

7406



Realizacija logične funkcije NAND (Negirana konjunkcija)



■ Realizacija stikala:

☐ Elektromehansko stikalo

- Rele, 1939, čas preklopa 1-10ms

☐ Elektronsko stikalo

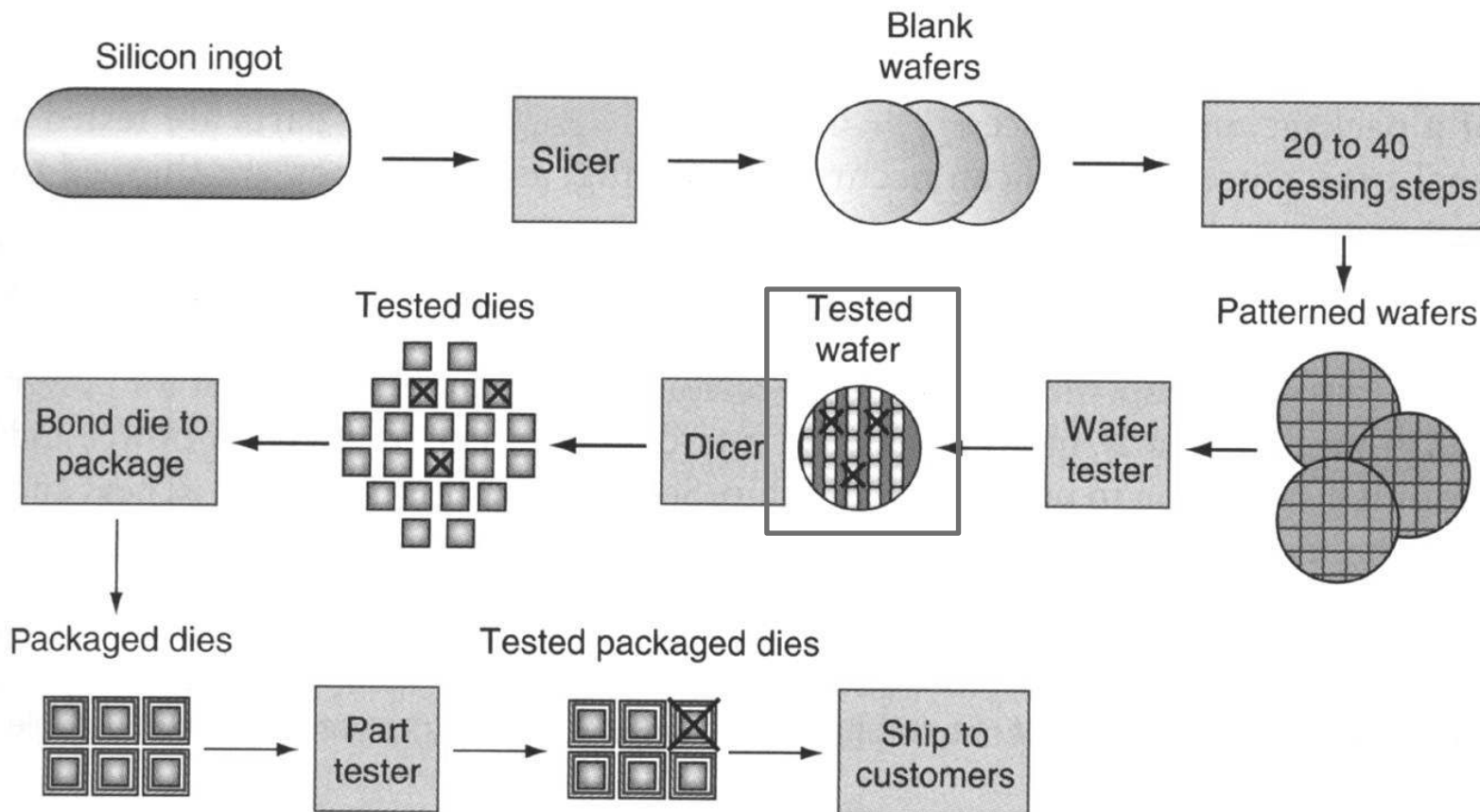
- Elektronka, 1945-1955, čas preklopa $\sim 5\mu\text{s}$

- Tranzistor, 1955 \rightarrow , čas preklopa $\sim 10\text{ns}$

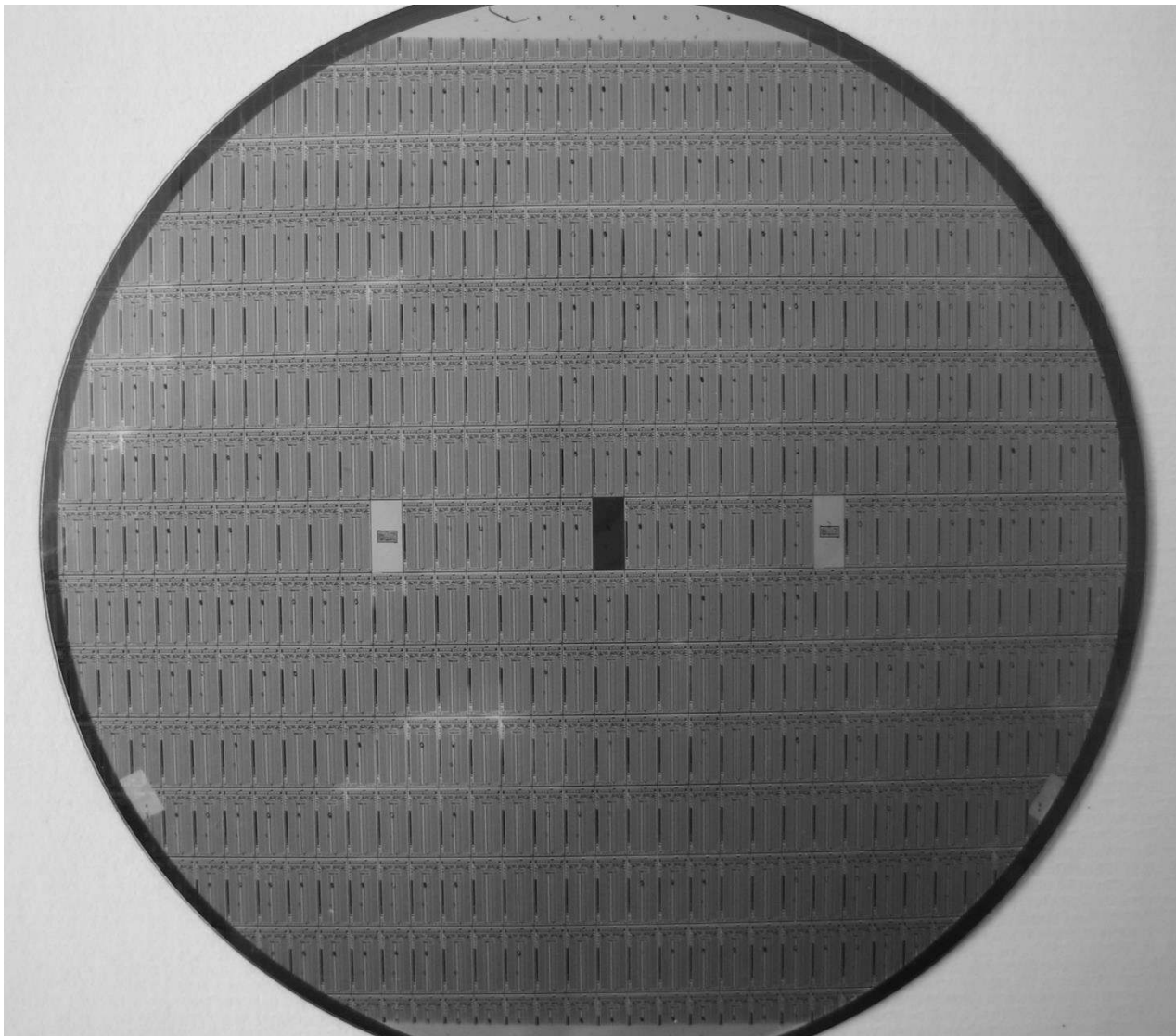
- ☐ Integrirano vezje - čip, 1958

- ☐ VLSI (Very Large Scale Integration) integrirana vezja

Postopek izdelave VLSI čipa



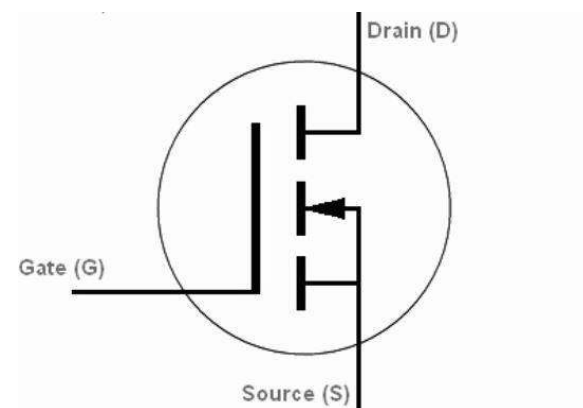
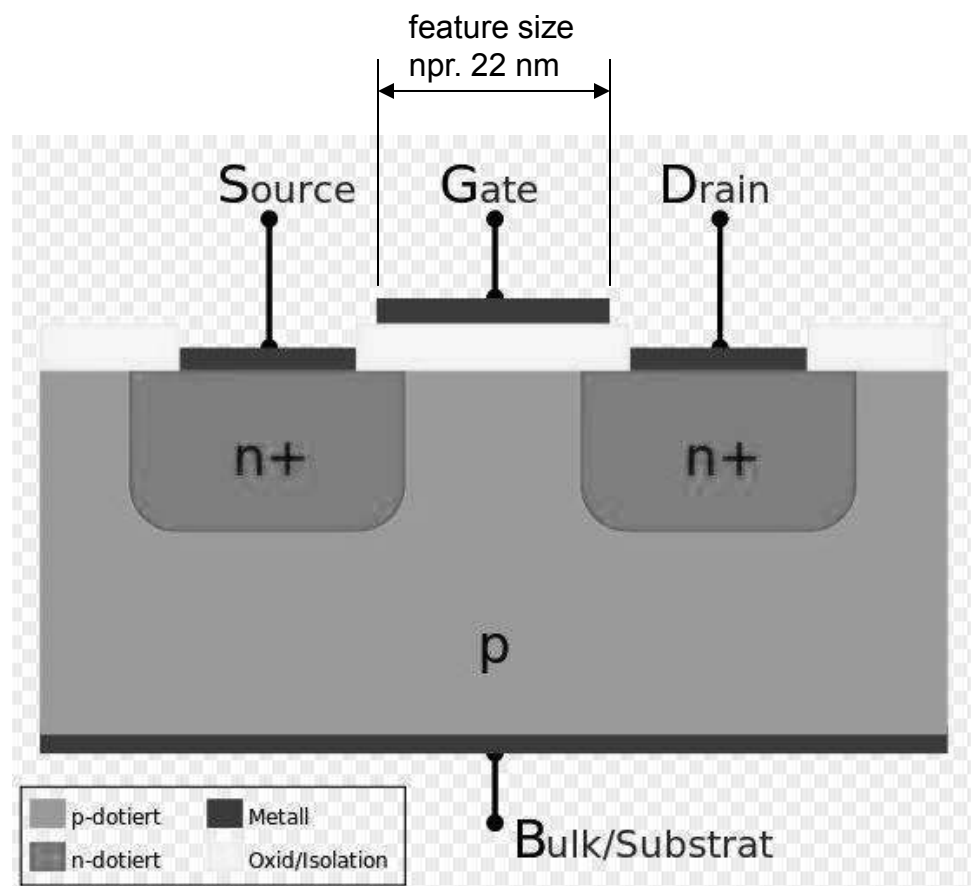
David A. Patterson, John L. Hennesy:
Computer Organization and Design, Fourth Edition





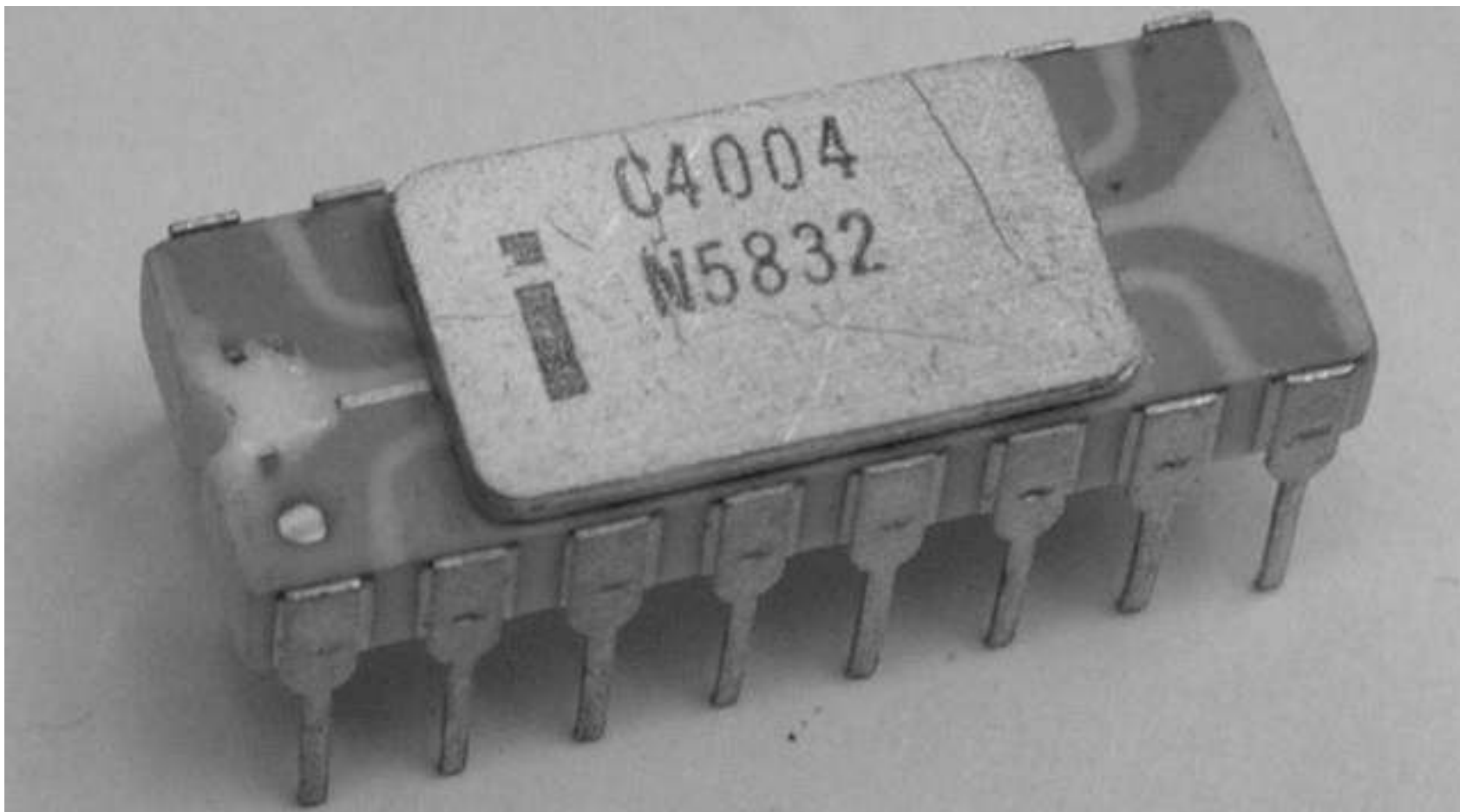
- 22 nm proces (feature size 22 nm)
 - Parameter **feature size** pri integriranih vezjih v največji meri določa število tranzistorjev na integriranem vezju in tudi njihove lastnosti
 - Določa najmanjšo možno velikost kateregakoli objekta na integriranem vezju
 - Objekt je lahko del tranzistorja, povezovalna žica, presledek med dvema objektoma. Celoten tranzistor je običajno večji
 - Število tranzistorjev na čipu je odvisno od površine, ki jo zaseda tranzistor, zato se število tranzistorjev povečuje s kvadratom zmanjševanja parametra feature size

Tranzistor kot del integriranega vezja



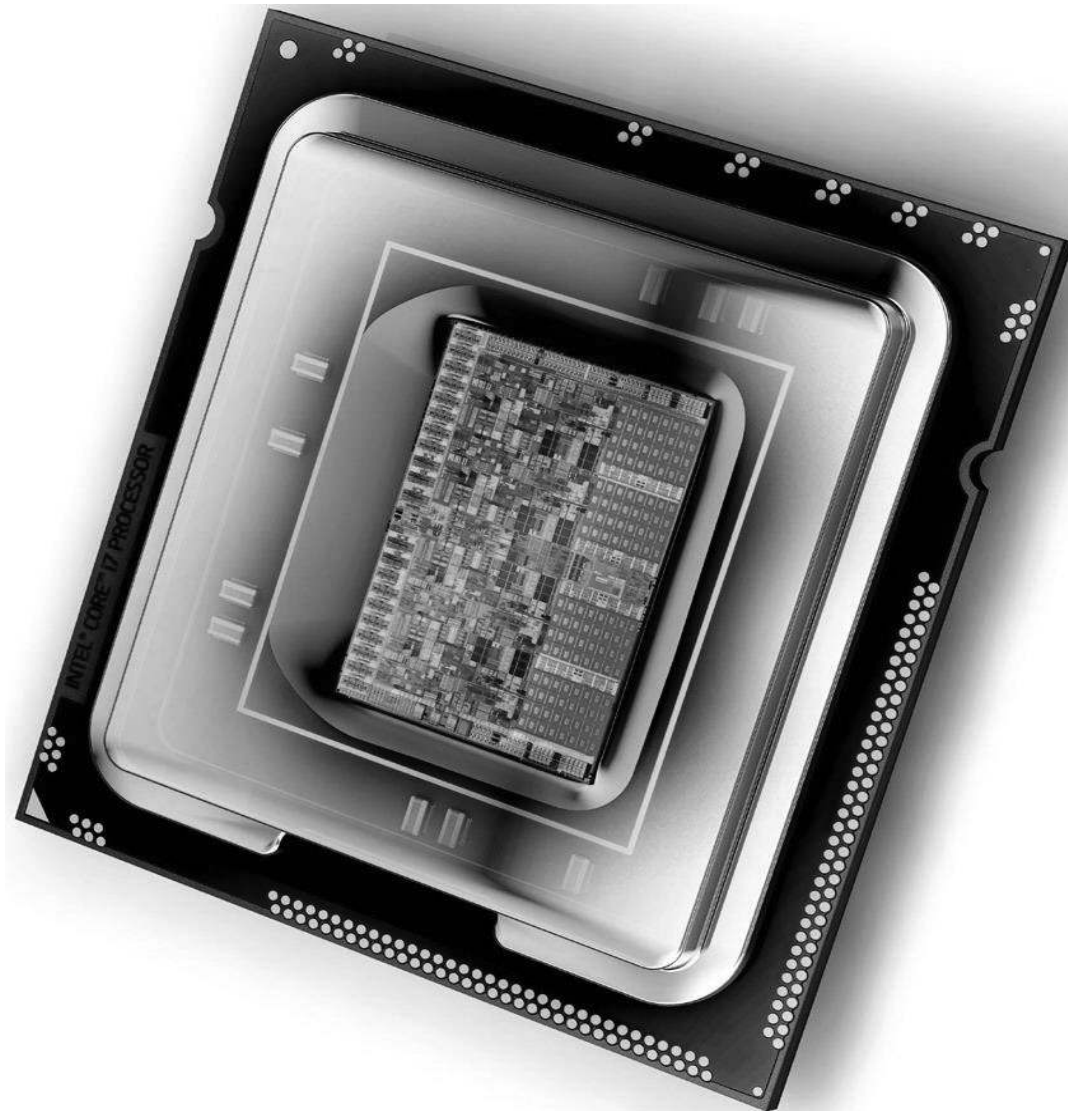
- Prvi procesor na enem čipu Intel 4004 (leto 1971)
 - 2.250 tranzistorjev na ploščici 3,2 x 4,2 mm
 - 10 μm proces (feature size 10 μm = $10 \times 10^{-6} \text{ m}$ = 0,00001 m, človeški las ima premer približno 100 μm)
 - 16 kontaktov
 - Izvedba ukaza 10,8 μs (= 0,0000108 s) ali 21,6 μs
 - Poraba 1,0 W
 - Cena (preračunana na današnja razmerja) \$26

Mikroprocesor Intel 4004

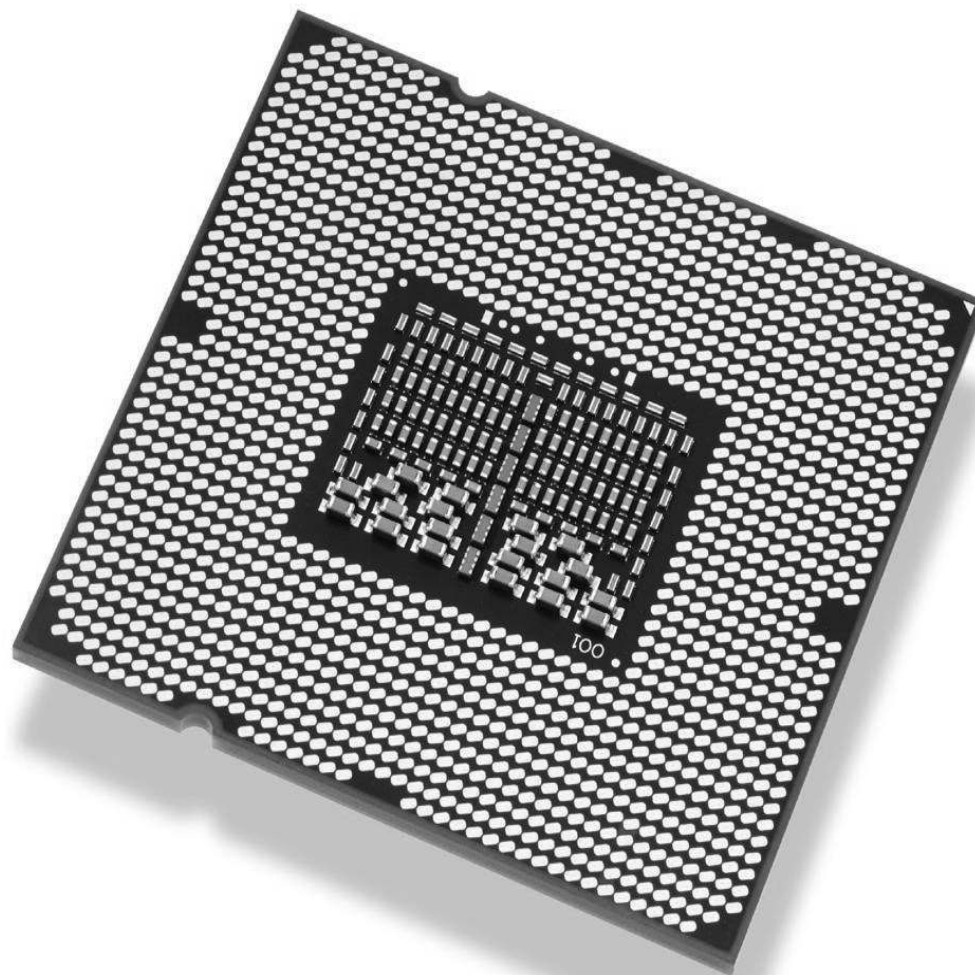


■ Procesor Intel i7 3770T (leto 2012):

- ~1.600.000.000 tranzistorjev
- 22nm proces ($1\text{nm} = 1 \times 10^{-9}\text{m} = 0,000000001\text{m}$)
- Velikost čipa 160 mm^2 (približno $12,6 \times 12,6\text{ mm}$)
- 4 jedra (4 procesorji), grafični procesor
- 1155 kontaktov
- Poraba (TDP) 45 W
- Priporočena cena (Intel) 294 \$







Vsebina:

1. RA-1 Uvod
2. RA-2 Razvoj strojev za računanje
3. RA-3 Osnovni principi delovanja
4. RA-4 Predstavitev informacije v računalniku
5. RA-5 Strojni ukazi
6. RA-6 Zgradba in delovanje CPE
7. RA-7 Merjenje zmogljivosti CPE
8. RA-8 Pomnilnik
9. RA-9 Pomnilniška hierarhija
10. RA-10 Vhod in izhod