

2

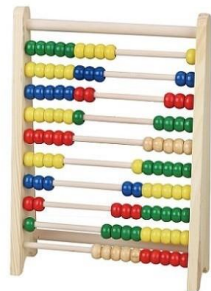
DOSEDANJI RAZVOJ STROJEV ZA RAČUNANJE

BRANKO ŠTER

PO KNJIGI - DUŠAN KODEK: ARHITEKTURA IN ORGANIZACIJA RAČUNALNIŠKIH
SISTEMOV

Digitalni princip

- digit
- fizikalna veličina diskretno predstavlja števila
- omejeno število stanj
- natančnost
- abak

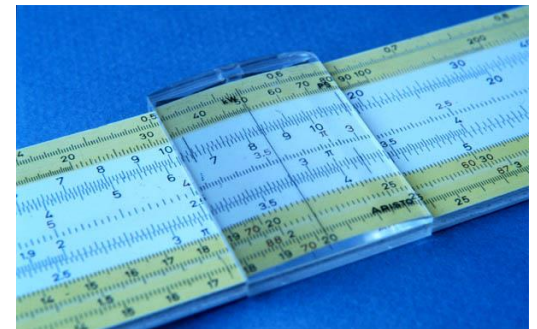


Analogni princip

- fizikalna veličina zvezno predstavlja števila
- omejena natančnost
- analognih rač. danes praktično ni več



- logaritmično računalo (Rechenschieber)



Analogni računalniki



Obdobje mehanike

Prvi kalkulatorji

Kalkulator je naprava (stroj), ki izvaja aritmetične operacije

- prvi kalkulatorji so izvajali le osnovne operacije



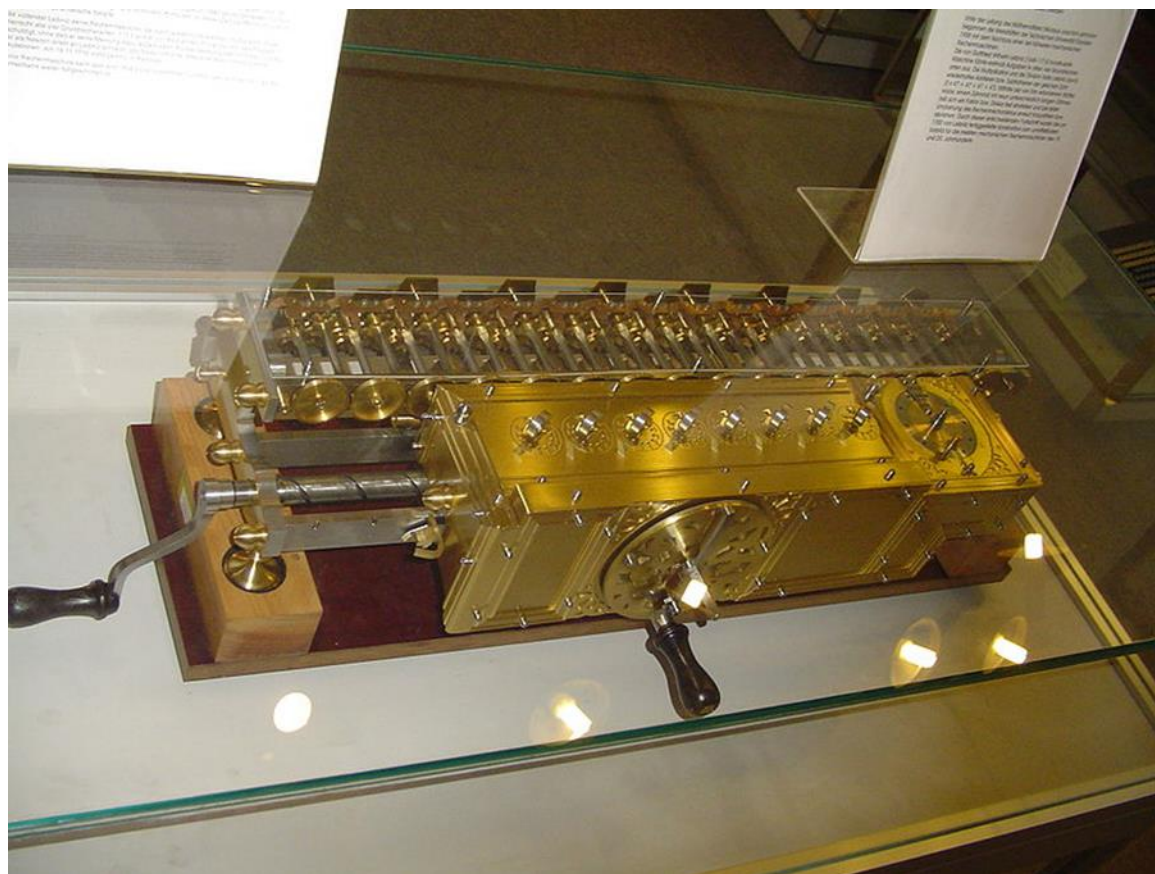
Schickard, 1623

- zobata kolesa (10 zobnikov)
- mehanizem za prenos naprej
- ročni pogon
- operacije: seštevanje, odštevanje (množenje, deljenje z nekaj dela)



Pascal, 1642

- 2 skupini koles po 6
- ena je akumulator
- druga za prištevanje ali odštevanje od števila v akumulatorju



Leibniz, 1671

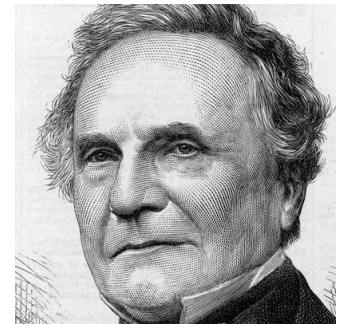
Charles Babbage

Njegovi stroji precej podobni današnjim računalnikom

- tehnologija primitivna

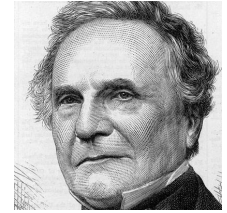
Diferenčni stroj (Difference engine), 1823

- aproksimacija funkcij s polinomi (na osnovi metode končnih diferenc)
- zaporedje fiksni operacij

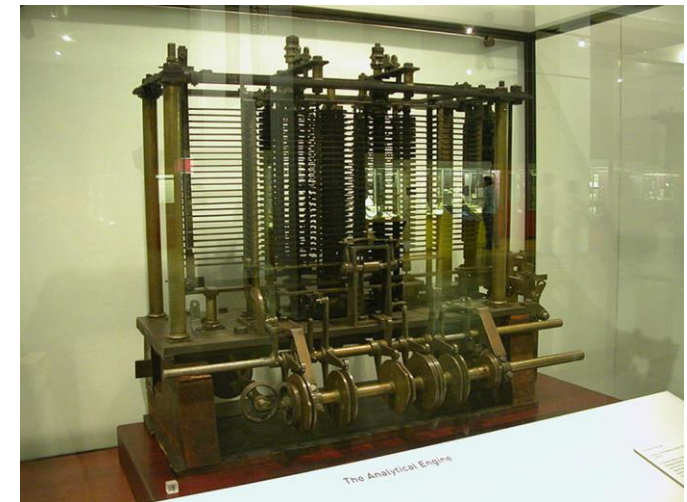
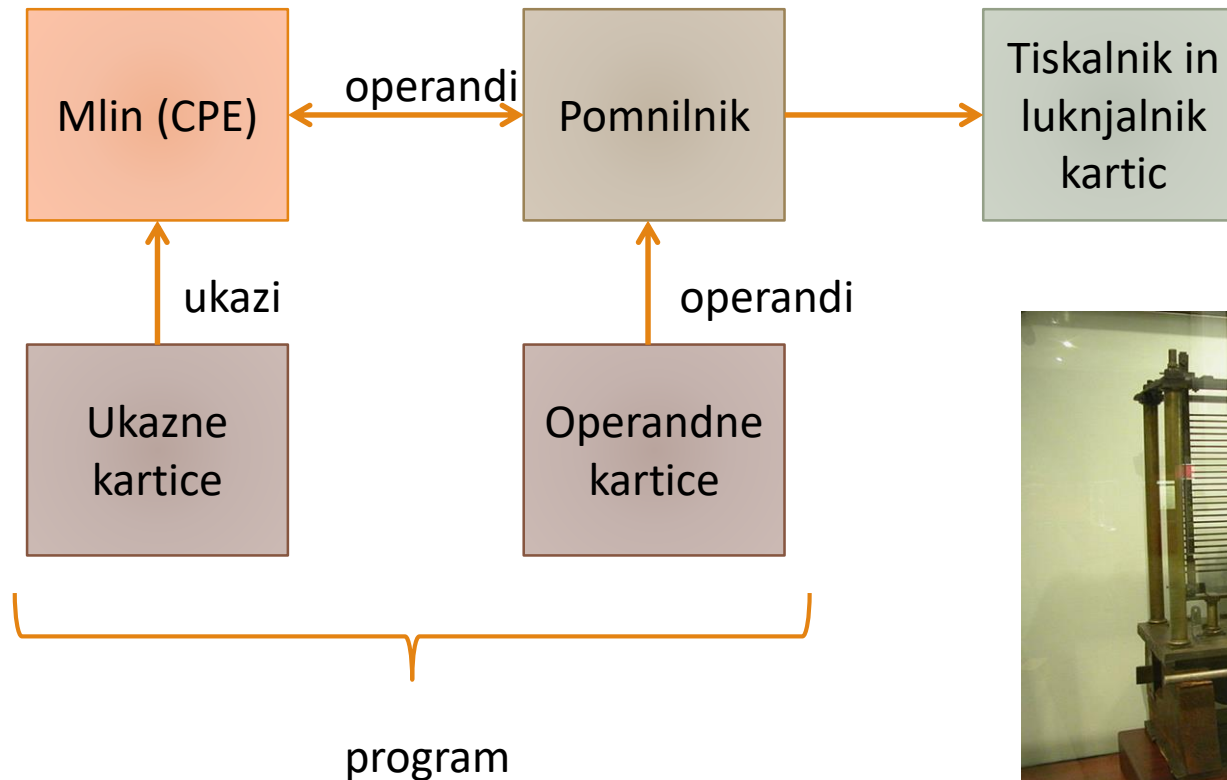


Analitični stroj (analytical engine), okrog 1835

- Prvi računalnik (le načrtovan)
- Računski del
 1. Mlin (mill): izvedba operacij
 2. Pomnilnik (store): shranjuje operande
- Luknjane kartice 2 vrst
 1. Ukazne kartice (s programi)
 2. Operandne kartice



Zgradba analitičnega stroja



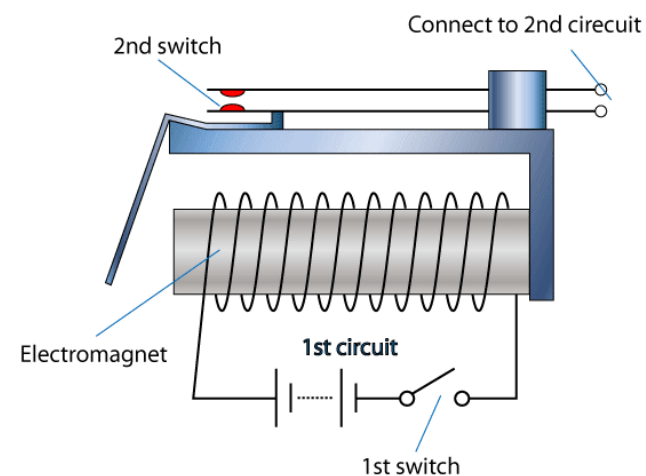
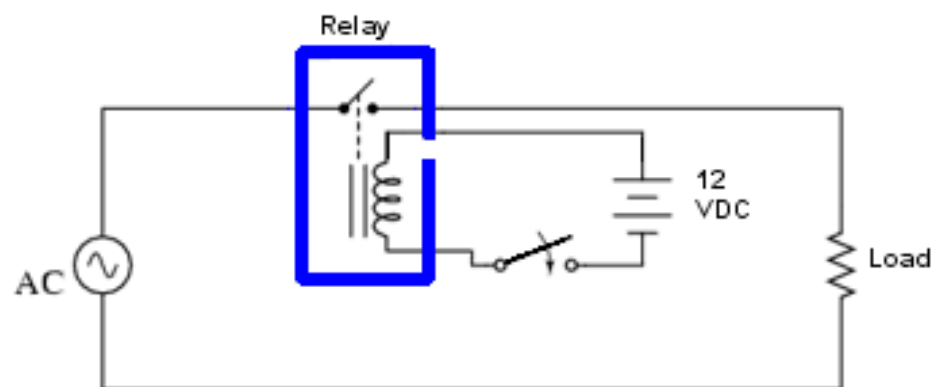
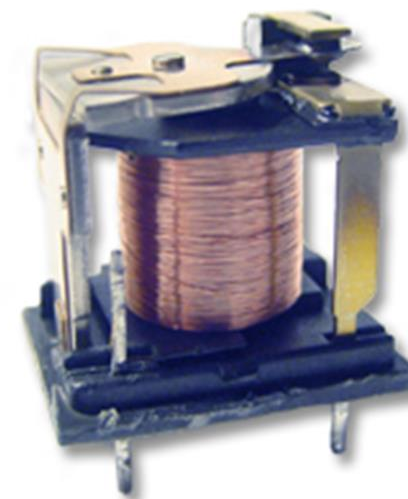
Analitični stroj (zgrajen kasneje)

Elektromehanski stroji

Elektrotehnika ponuja nove možnosti:

- elektromotorji za pogon mehanskih kalkulatorjev
- električno branje luknjanih kartic

Rele (relay) električno-krmiljeno stikalo



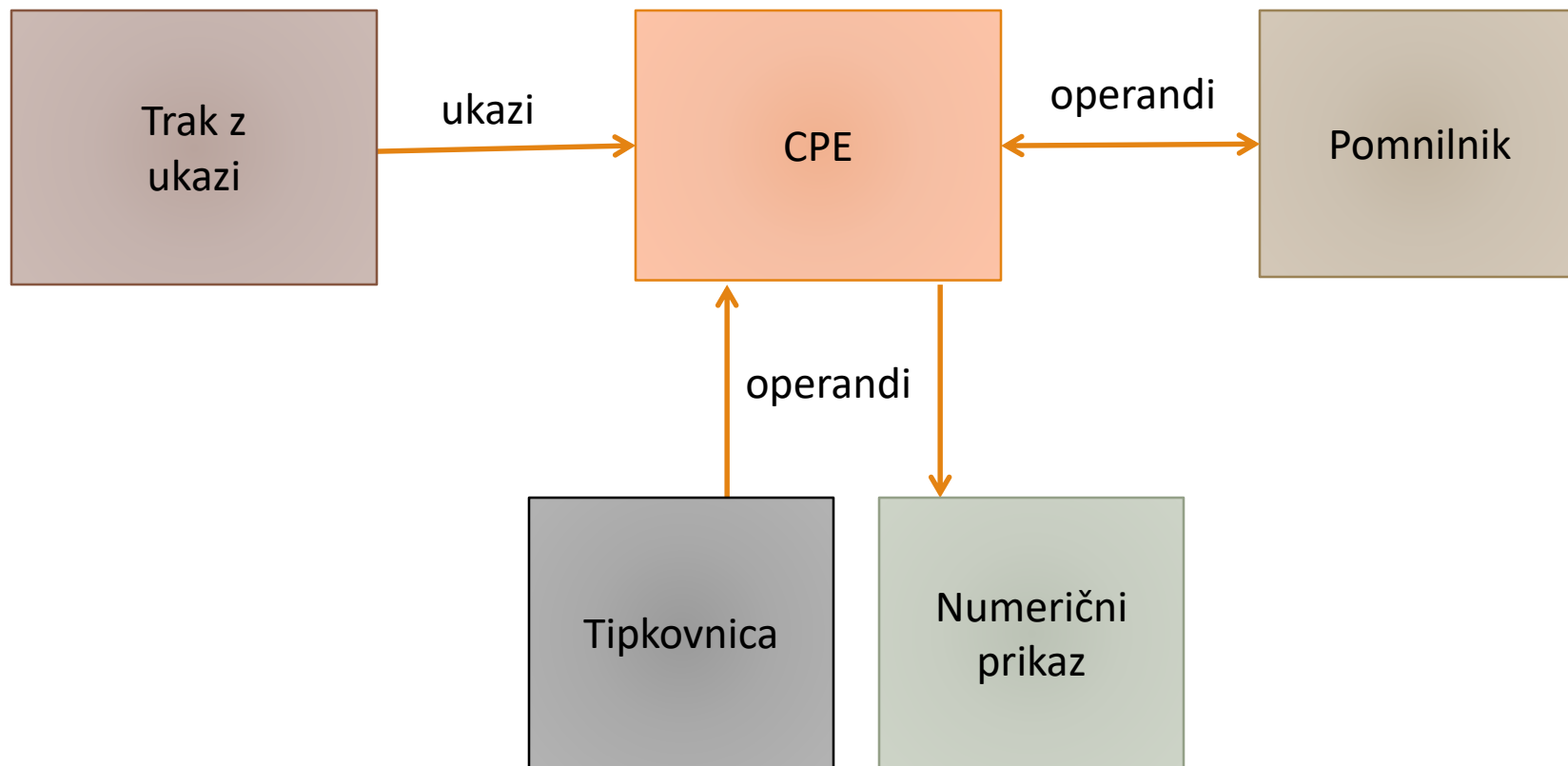
Konrad Zuse zgradi prvi delujoči računalnik

Zusejevi računalniki

- Z1, 1938, mehanski
- Z2
- Z3, 1941, prvi delujoči (splošnonamenski) računalnik
 - 2600 relejev
 - pomnilnik 64 22-bitnih besed (releji)
 - 8-bitni ukazi
 - luknjan trak
 - plavajoča vejica: 14-bitna mantisa, 7-bitni eksp. + predznak
 - Tipkovnica
 - Hiba: ni imel pogojnih skokov
 - Frekvenca 5-10 Hz
 - Uničen 1943 med bombardiranjem Berlina



Zgradba Z3



Z4 (Deutsches Museum, Muenchen)



Harvard Mark I

- Howard Aiken, izdelava IBM 1943
- 15m v dolžino
- elektromehanska desetiška števna kolesa
- pomnilnik 72 x 23 desetiških mest
- luknjan trak (24 stolpcev - bitov)
- Ukazi oblike A1 A2 OP
 - pomnilniška naslova + operacija, vsi 8-bitni



Elektromehanski stroji (40. leta) so bili uresničitev zamisli Babbagea

Njihov problem je mehanika, ki omejuje

- hitrost (vztrajnost gibljivih delov)
- zanesljivost (veliko zobnikov in vzvodov)

Hitro so zastareli zaradi pojava nove tehnologije, ki ne uporablja mehanike: **elektronika**

- elektronka (vacuum tube), 1904
- tranzistor, 1947

Prvi elektronski računalniki

Zakaj je elektronika hitrejša?

- rele potrebuje vsaj nekaj ms za preklop
- elektroni so bistveno hitrejši

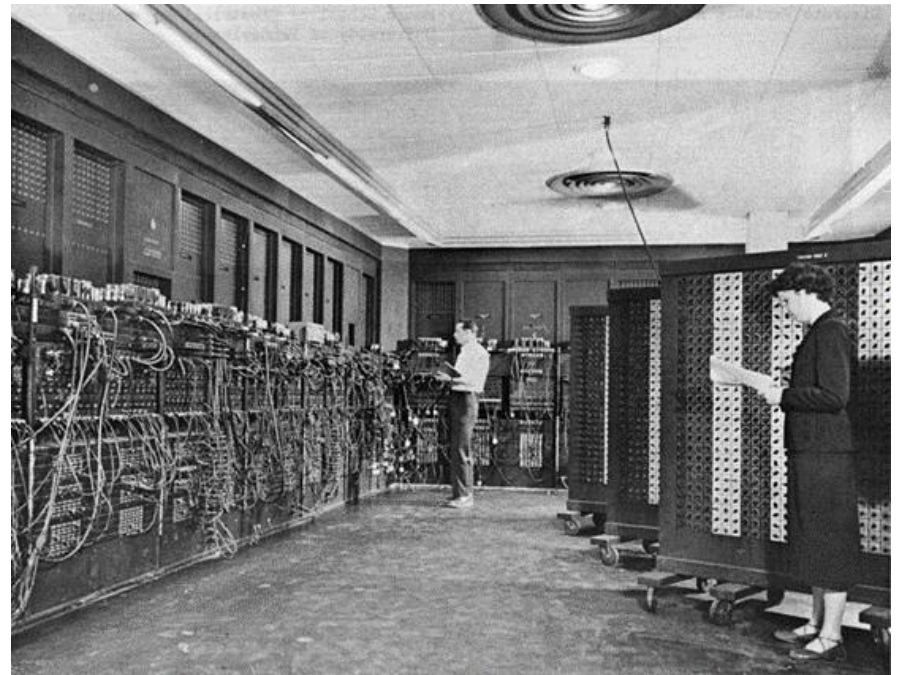
Elektronka ('vakuumška cev')



ENIAC

- Electronic Numerical Integrator And Calculator
- 1945, vojaško financiran
- pomnilnik 20 x 10 desetiških števil
 - pomnilni element 10-bitni krožni števec iz 10 FF (2 elektronki na FF)
 - skupno 4000 elektronk
- funkcijska tabela (104 x 12 desetiških mest)
 - stikala
- fiksna vejica
- operacije +, -, *, /, sqrt
 - +, - 0.2ms, * 3ms, / 30ms

- ročno programiranje (stikala, prevezovanje kablov)
 - 6000 stikal
 - zzzelo zamudno
- podatki na luknjanih karticah
- 18000 elektronk, 1500 relejev, 30 m, 30 ton, 140kW
- programiranje je lahko trajalo tudi več dni
 - zato so razmišljali (von Neumann) o shranjenem programu



Elektronski računalniki s shranjenim programom

John von Neumann napisal predlog za EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer)

- po njem von Neumannovi računalniki

Stroj voden *od znotraj*

Prednosti shranjenega programa

- dostop do ukazov enako hiter kot dostop do operandov
- program lahko kot vhodni podatek vzame drug program in ga spremeni v tretji
- prevajalniki, zbirniki

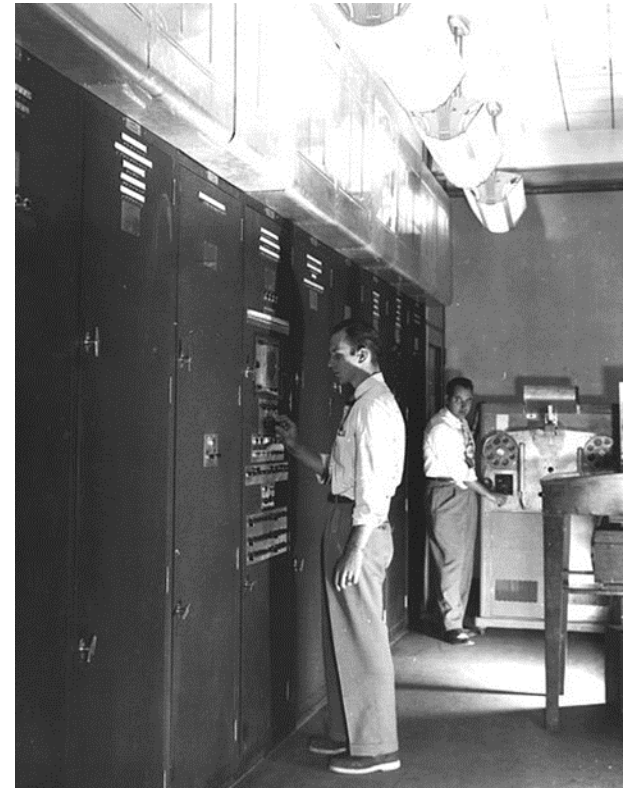


EDVAC, 1951

- pomnilnik 1K 16-bitnih besed, s krožnim dostopom
 - + 20K besed v pomožnem pomnilniku
- 3000 elektronk
- dvojiški stroj
- serijsko (bit za bitom)
- ukazi

A1 A2 A3 A4 OP

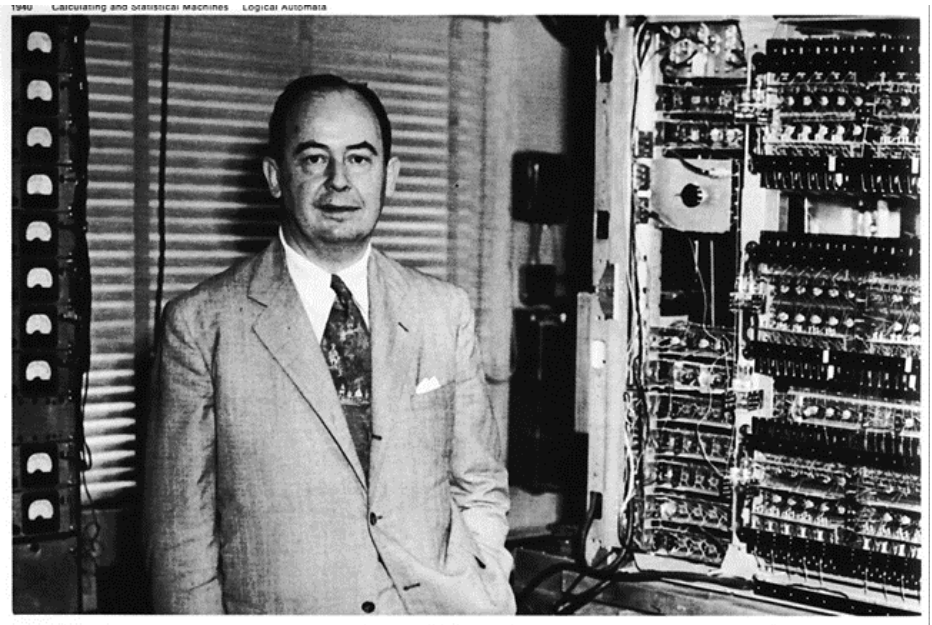
- A1, A2: naslova vhodov
- A3: naslov izhoda
- A4: naslov nasl. ukaza



IAS, 1951

- o njem dostopne vse informacije
- dvojiški
- pomnilnik na osnovi variante katodne cevi
 - čas dostopa neodvisen od prejšnjega naslova
 - 1K x 40
- hkratni dostop do bitov besede
- ukazi

OP A



- 40-bitni akumulator
- 1-operandni, 1-naslovni računalnik
- ukazi si sledijo po naraščajočih naslovih (razen pri skokih)
 - 12-bitni programski števec ($PC \leftarrow PC + 1$)
- beseda
 - 40-bitno število v 2^K
 - dva 20-bitna ukaza
 - $8(OP) + 12(A)$
- 40-bitni pomožni akumulator MQ

Razvoj po letu 1950

Komercialni interes

- serijska proizvodnja, nižja cena
- razlog za razmah niso več numerični problemi

Mejniki pri razvoju

1. mehanski kalkulatorji
2. programsko voden računalnik za splošne namene (Babbage, realizacija 1940. leta)
3. elektronika (ENIAC, 1945)
4. von Neumannovi računalniki (shranjen program), (EDVAC, IAS, ...)

Po 1951 je razvoj bolj tehnološki, manj arhitekturni

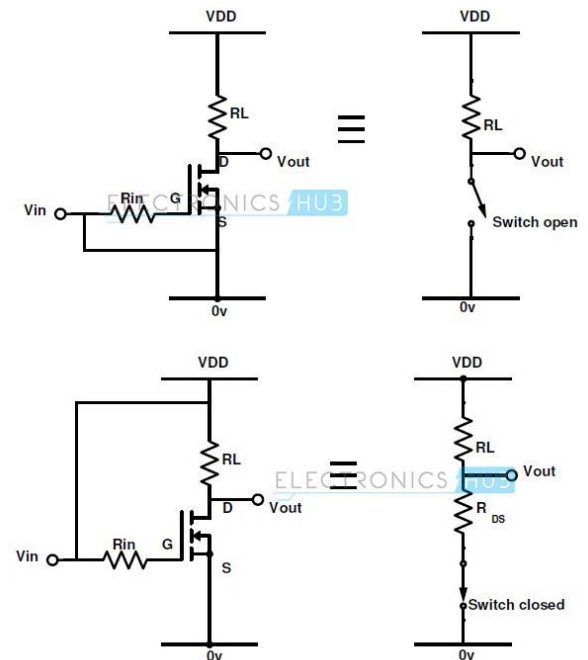
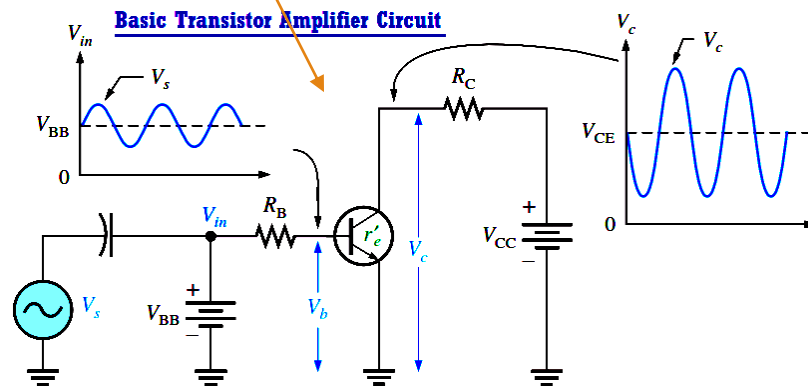
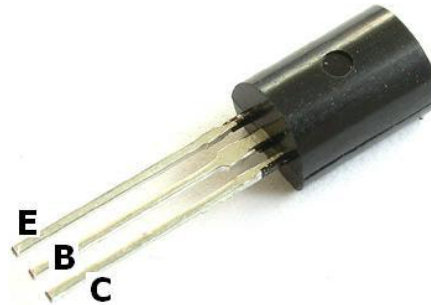
Razvoj tehnologije

Tranzistor, 1947

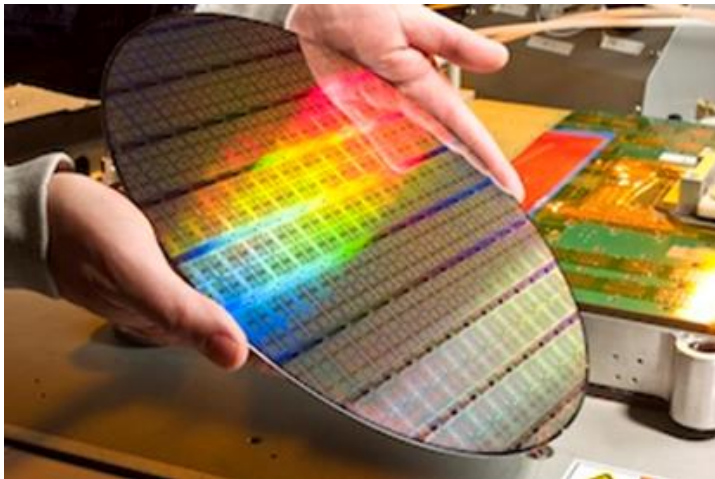
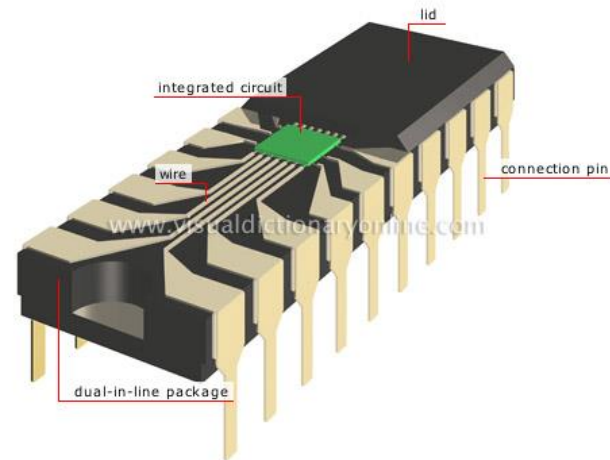
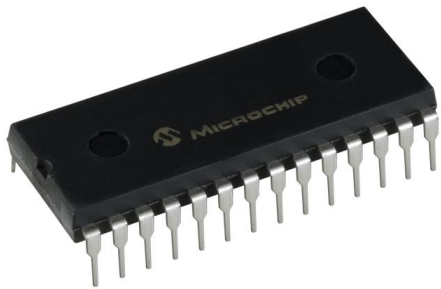
- Bell Labs (Shockley)

Uporaba tranzistorja

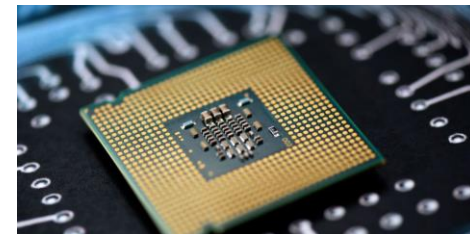
- ojačevalnik
- stikalo



Integrirana vezja (čipi), 1958

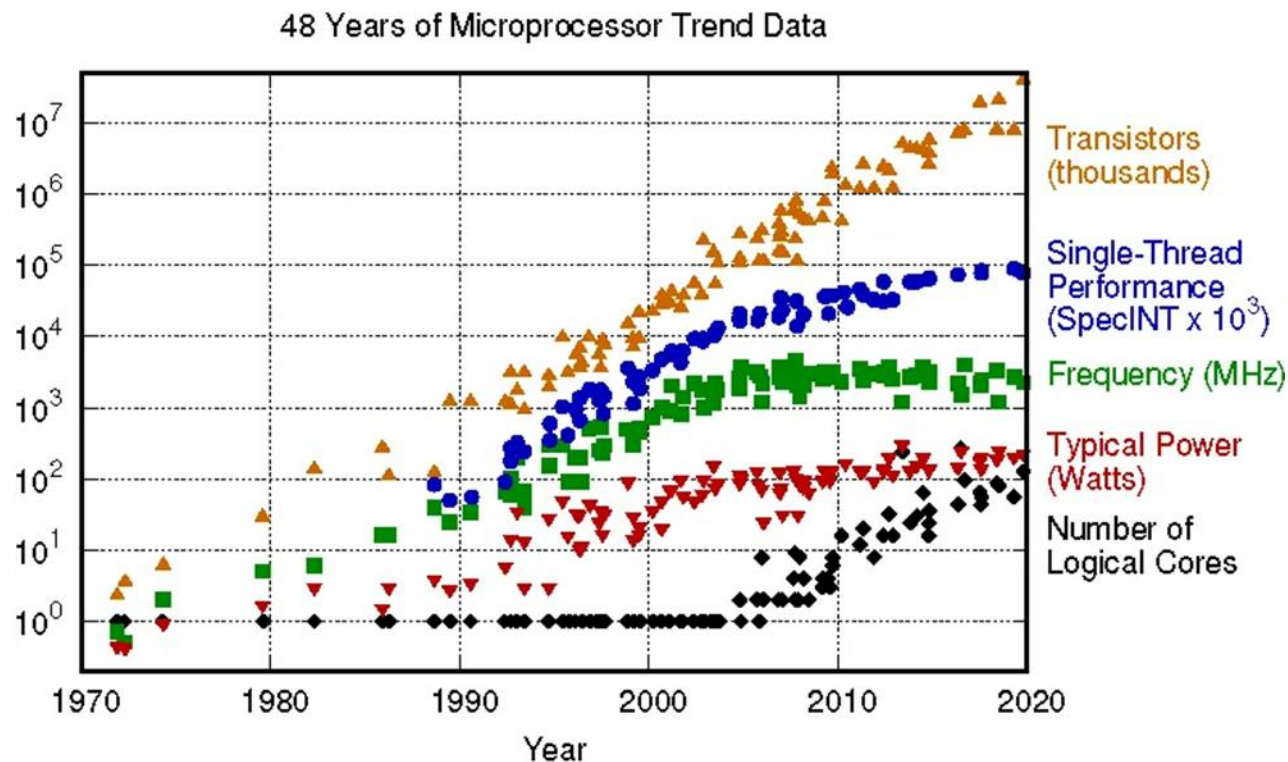


Silicijeva
rezina
(wafer)



Moorov zakon

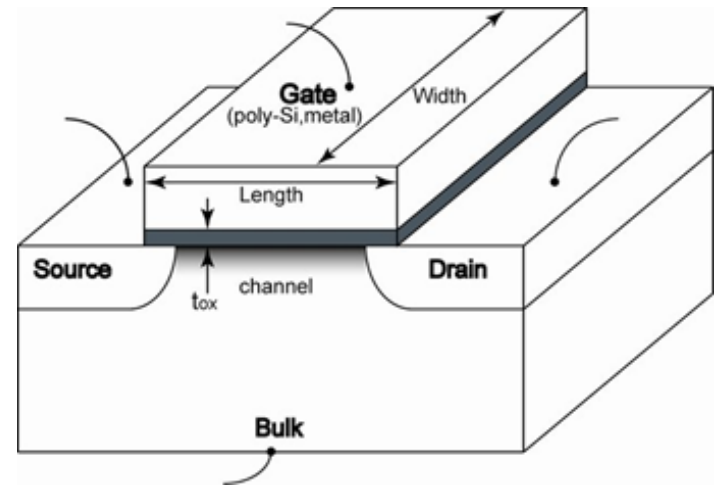
- podvojitev števila transistorjev na čipu vsakih 18 mesecev
 - tudi zmogljivost na watt
- 2000 (1971), nekaj milijard (danes)



Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2019 by K. Rupp

Dennardovo skaliranje

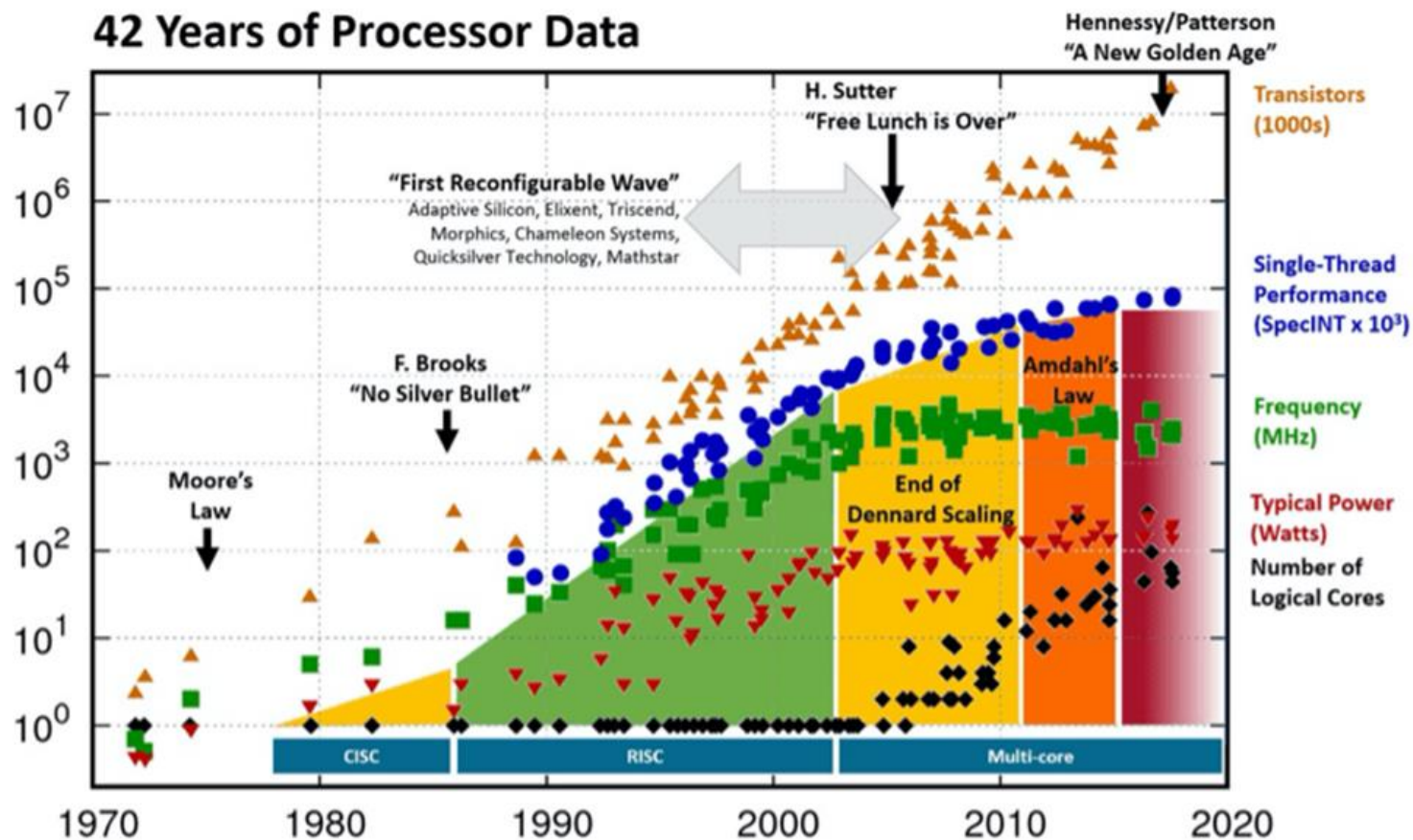
- z zmanjševanjem dimenzij tranzistorjev ostane poraba energije na površino konstantna, R. Dennard (1974)
 - napetost in tok sta manjša, a je tranzistorjev več



Stagnacija pri zmogljivosti (od 2005 dalje)

- tok odtekanja (leakage current) pri majhnih dimenzijah - pregrevanje

42 Years of Processor Data



Hennessy and Patterson, Turing Lecture 2018, overlaid over "42 Years of Processors Data"

<https://www.karlsruhp.net/2018/02/42-years-of-microprocessor-trend-data/>; "First Wave" added by Les Wilson, Frank Schirrmeyer

Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten

New plot and data collected for 2010-2017 by K. Rupp

Današnji računalniki

Namizni računalniki, Prenosniki, Tablice

Strežniki

Superračunalniki

Vgrajeni sistemi:

- telefoni, kamere
- igralne konzole, igrače
- UAV, (avtonomna) vozila
- gospodinjski aparati
- usmerjevalniki
- senzorska omrežja

...

Razvoj programiranja

Nekdaj programskih orodij ni bilo

- programiranje z vpisovanjem ničel in enic (strojni jezik)

Nalaganje programa iz zunanjega v glavni pomnilnik (50. leta)

- Bootstrap ali bootloader omogoča zagon OS

Simbolični zapis: Zbirni jezik (Assembly language)

Zbirnik (Assembler) je program, ki pretvarja programe iz zbirnega v strojni jezik

Knjižnice numeričnih podprogramov (procedur)

Višji programski jeziki v 60. letih

- prvi: FORTRAN (1956), ALGOL, COBOL, Lisp, ...
- kasneje: C, Pascal, C++, Java, ...

Primerjava

- koda v zbirnem oz. strojnem jeziku hitrejša
- programiranje v zbirnem jeziku počasnejše

Orodja: OS, zbirniki, nalagalniki, povezovalniki, prevajalniki, urejevalniki, razhroščevalniki, programi za monitoring, ...

V zgodnji 60. letih je imel IBM 4 vrste nekompatibilnih računalnikov

- IBM 360 ISA je bil prvi prenosljivi ukazni nabor

