

Von Neumannov model računala

(Građa računala, str. 31- 57)

(Zbirka riješenih zadataka iz GR, str.19-33)

Jedan od najznačajnijih članaka na području arhitekture računala

A. W. Burks, H. H. Goldstein i von J. Neumann:

“Uvodna rasprava o logičkom oblikovanju elektroničkog računskog uređaja”
(“*Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*”), 1946. godine.

Generacije računala:

- **Nulta generacija – mehanički strojevi za računanje (1644. – 1945.)**
- Pascal (1642. i 1644.) – mehanički kalkulator, obavlja zbrajanje i oduzimanje
- Leibniz (1673.) – računski stroj: zbrajanje, oduzimanje, množenje i dijeljenje
- Babbage (1822.) – *diferencijski stroj* temeljen na računu konačnih diferencija. (1834.) – započeo rad na *analitičkom stroju* – četiri osnovne računske operacije i korjenovanje; *programirljivi računski stroj opće namjene*.
- Zuse Z1(1934. – 1936.) – elektromehanički releji
- Aiken (1944.) – elektromehaničko računalo Mark I, prvo američko računalo opće namjene

- **Prva generacija – elektronička računala s elektronskim cijevima (1945. – 1955.)**

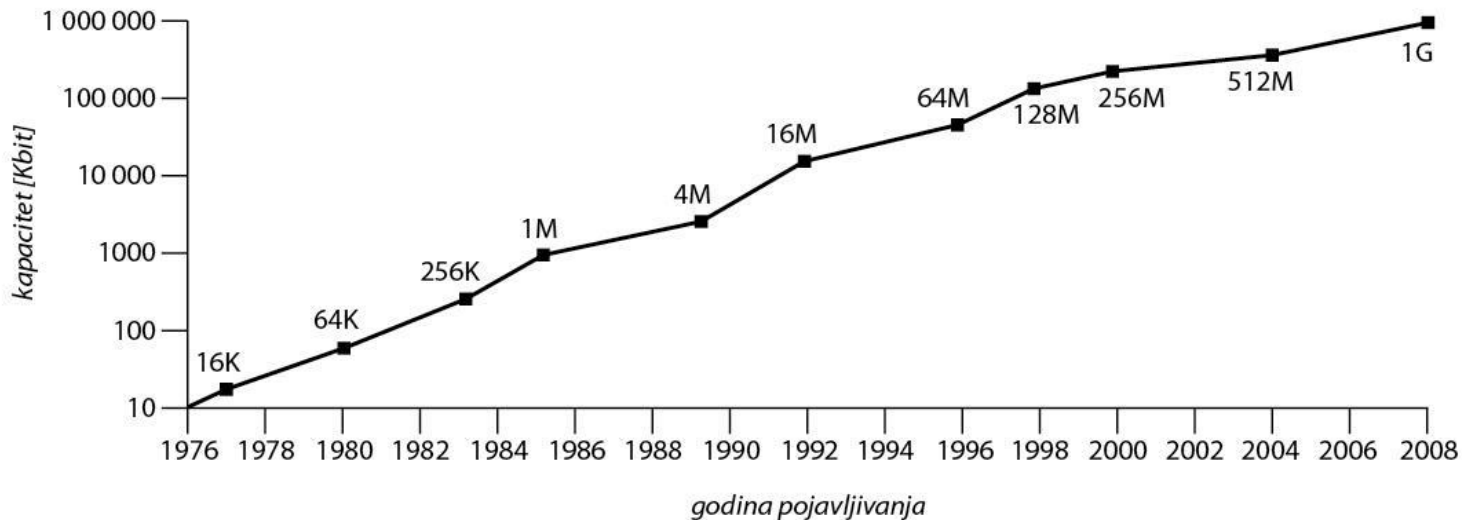
- COLOSSUS (1943.), Engleska, A. Turing – razbijanje šifriranih poruka
- ENIAC (***E**lectronic **N**umerical **I**ntegrator **A**nd **C**omputer*) (1943. – 1946.) – 18000 elektronskih cijevi, 1500 releja, ~30 tona mase, potrebna snaga od **140 kW!**
- EDSAC (***E**lectronic **D**elay **S**torage **A**utomatic **C**omputer*) (1949.) – prvo elektroničko računalo s pohranjivanjem programa.
- IAS (J. von Neumann, 1943. – 1952.)
- Whirlwind I (MIT, istodobno sa IAS) – 16-bitno računalo, prvo računalo za upravljanje u stvarnom vremenu
- Godine 1953. tada mala tvrtka IBM započinje s proizvodnjom računala IBM 701.

- **Druga generacija računala – tranzistor kao građevna komponenta (1955. – 1965.)**
- Poluvodičku elektroničku komponentu *tranzistor* izumili su 1948. trojica istraživača J. Bardeen, W. Brattain i W. Shockley.
- (Pojednostavljeno – Tranzistor ~ sklopka s dva stanja (isključeno / uključeno; engl. *off/on*) koja je električki upravljana.)
- Prvo računalo izgrađeno na temelju tranzistora bilo je TX-0 (*Transistorized eXperimental computer 0*) (u MIT Lincoln Laboratoryju).
- PDP-1 (DEC, 1960.) – prvo malo računalo (*miniračunalo*), ~ 120 000\$
- PDP-8 (DEC, 1965.) – 12-bitno miniračunalo ~ 16 000\$; prodano > 50 000 primjeraka
- IBM 1401 (IBM, 1961.) – vrlo popularno malo poslovno računalo
- IBM 7094 (IBM, 1961.) – jedno od vodećih računala za znanstvenu uporabu
- CDC 6600 (CDC, 1964.) – prvo superračunalo za znanstvenu primjenu.

- **Treća generacija – integrirani sklopovi (1965. – 1980.)**
- Integrirani sklop ili čip (R. Noyce, 1958.) – postupak kojim se deseci tranzistora mogu integrirati na komadiću silicija
 - niska cijena,
 - naglašen stupanj paralelnosti (uvišestručenje jedinica za obradu, izvedba protočnih instrukcijskih i aritmetičkih struktura)
 - višeprogramski rad
- IBM System/360 Model 30, 40, 50 i 65, UNIVAC 1100 te DEC-ove PDP-11 i VAX 11 porodice računala.
- **Intel 4004** (1971.) prvi 4-bitni mikroprocesor, predviđen kao kalkulatorski čip
- Intel 8008 (1972.) **Prvi 8-bitni mikroprocesor** opće namjene
- Cray I (1974.) – prvo vektorsko superračunalo
- Druga generacija 8-bitnih mikroprocesora (1974) – Motorola 6800, Intel 8080 – nagovještavaju revoluciju na području računala

- Četvrta generacija računala – sklopovi vrlo visokog stupnja integracije VLSI (1980. – ?)

- Povećanje broja tranzistora integriranih na čipu opisuje Mooreov zakon koji govori da se broj tranzistora na čipu udvostručuje svakih 18 – 24 mjeseca.



- Četvrta generacija računala – obilježena industrijom *osobnih računala*.
- IBM-ova osobna računala temeljena na Intel 8088 (1981.) – postala najprodavanija računala u povijesti.
- Drugi proizvođači: Commodore, Apple, Amiga i Atari koji su temeljili dizajn na tzv. *non-Intel CPU*, tj. mikroprocesorima drugih proizvođača.
- Mikroprocesori – osim za računala opće namjene, rabe se za izgradnju *ugrađenih računalnih sustava* (ugradnja u npr. videoigre, kućanske naprave, laserski pisači, mobilni telefoni, automobili itd.)
 - Primjer; od 54 milijuna isporučenih procesora MIPS 1998., samo 1% korišteno za računarske sustave opće namjene, ostalo u ugrađenim računalnim sustavima.
- Procesori vrlo velikih performansi – 64-bitni procesor Intel Xeon (2005.) ima faktor 6500 veću performansu u odnosu na VAX 11/780 (1978.)
- Godina 1980. novi pristup arhitekturi RISC (Reduced Instruction Set Computer)
- VLIW (Very Long Instruction Word) – procesori za multimedijску primjenu

Tehnologija – sastavnica	Godina	Broj osnovnih operacija u sekundi
elektromehanika – releji	1940.	10
elektronika – elektronske cijevi	1945.	10^3
elektronika – tranzistor	1950.	10^4
mikroelektronika – sklopovi niskog stupnja integracije	1960.	10^5
mikroelektronika – sklopovi srednjeg stupnja integracije	1980.	10^6
mikroelektronika – sklopovi vrlo visokog stupnja integracije	2000.	10^9

	Simbol	Prefiks		Simbol
10^3	k	kilo	2^{10}	Ki ili k_b (ili K)
10^6	M	mega	2^{20}	Mi ili M_b (ili M)
10^9	G	giga	2^{30}	Gi ili G_b (ili G)
10^{12}	T	tera	2^{40}	Ti ili T_b (ili T)
10^{15}	P	peta	2^{50}	Pi ili P_b (ili P)
10^{18}	E	eksa	2^{60}	Ei ili E_b (ili E)
10^{21}	Y	jota	2^{70}	Yi ili Y_b (ili Y)

Starija praksa – koristi metričke nazive i prefikse za potencije broja 2 (ponekad se još uvijek koristi, 1 kilobajt (1KB) = 1024 B, itd.)

Od 1998. – IEC standard definira posebne prefikse i oznake za potencije broja 2 (kibi – KiB, mibi – MiB, gibi – GiB, itd.)

	Simbol	Prefiks
10^{-3}	m	mili
10^{-6}	μ	mikro
10^{-9}	n	nano
10^{-12}	p	piko
10^{-15}	f	femto
10^{-18}	a	ato
10^{-21}	y	jokto

Funkcijske jedinice von Neumannovog računala

Zahtjevi koji su poslužili kao ishodište za određivanje arhitekture računala:

- Računalo opće namjene s potpuno automatskim izvođenjem programa
- Pohranjivanje podataka (ulaznih, međurezultata i rezultata)
- Pohranjivanje sljeda instrukcija (programa)

Računala s gornjim karakteristikama – računalo opće namjene s pohranjivanjem programa (*General purpose stored-program computer*)

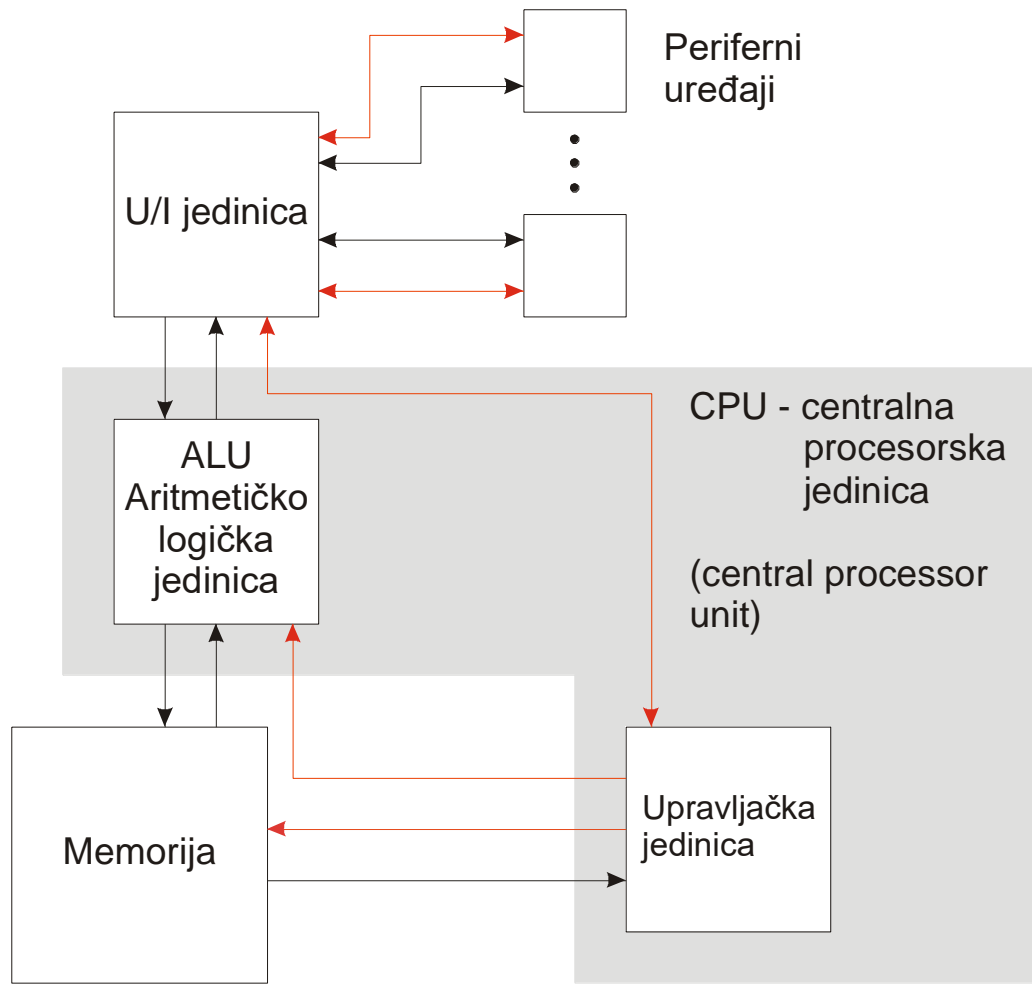
Značajke:

- Instrukcije svedene na *numerički kod* – podaci i instrukcije pohranjuju se na jednak način u istoj jedinici –
memoriji
- Računalo – stroj za računanje mora imati jedinicu za izvršavanje osnovnih aritmetičkih operacija –
aritmetičku jedinicu
- Jedinica koja “razumije” i tumači instrukcije te upravlja sljedom izvođenja operacija –
upravljačka jedinica

- Računalo mora imati mogućnost komunikacije s vanjskim svijetom (korisnikom, procesom, drugim računalom) jedinica koja mu to omogućava -
ulazno-izlazna jedinica

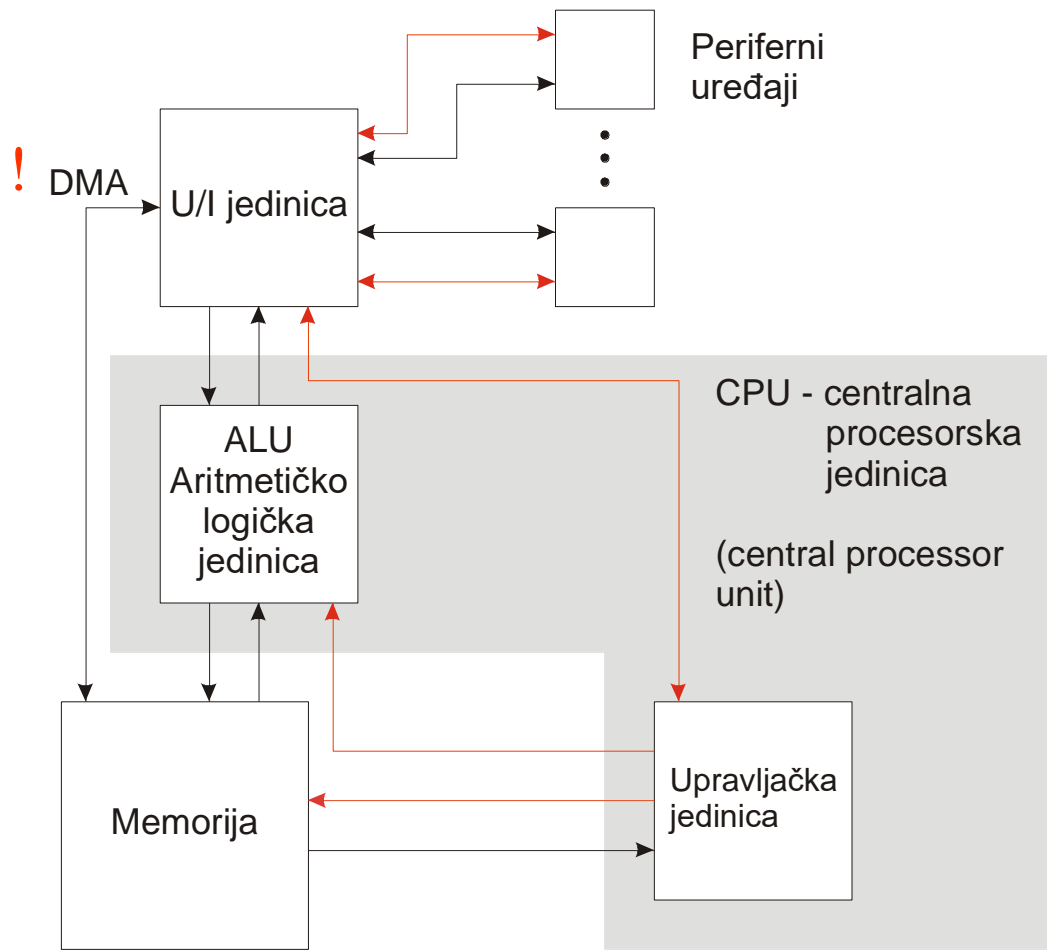
Pet funkcijskih jedinica koje čine računalo:

1. **Aritmetička jedinica**
2. **Upravljačka jedinica**
3. **Memorija**
4. **Ulazna jedinica**
5. **Izlazna jedinica**



↔ Upravljanje

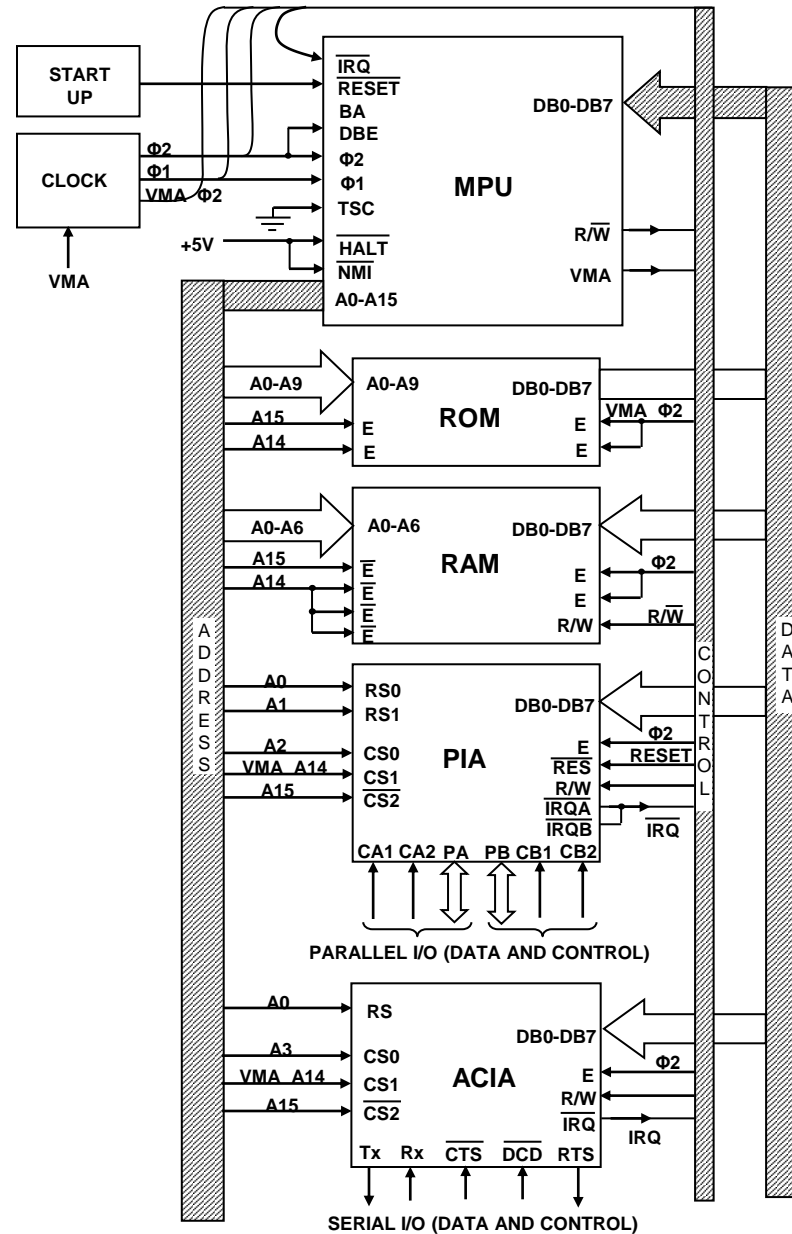
↔ Tok podataka



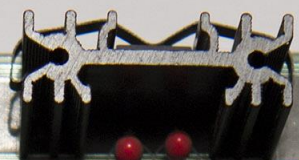
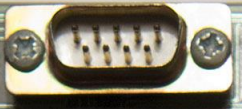
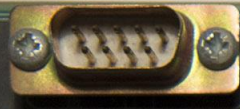
←→ Upravljanje
 ←→ Tok podataka

DMA - Direct Memory Access

Mikroračunarski sustav na bazi mikroprocesora MC6800



MANUFACTURED BY: FLIGHT ELECTRONICS LTD SOUTHAMPTON U.K. 0703 227721



MC145407P
ADDWJ8937

MC15406P
QQTK9010

T74LS148B1
98938

T74LS10A1
98934

T74LS27B1
98925

GS 037
GD74LS07

T74LS21B1
98953

M74HC4040E1
98924

T74LS138B1
98935N

MCM6206P45
BQDCL9012

T74LS05B1
98942A

T74LS132B1
98944

T74LS74B1
99007A

IXQX-100C
28,000 MHz
K B P

PORTUGAL 8222T
SN74AS138N

MC68681P
14PT1QEHN8926

MCM6206P45
BQDCL9012

MCM6206P45
BQDCL9012

MCM6206P45
BQDCL9012

MALAYSIA CPPFQ-12
MC68020RC16E
28.000000
QEH19017

MALAYSIA ZSUGO
MC68881R168
16.000000
QLE18815

MC68230P10
2A760
IETC8929

M58920EMV SIDE 2 ISS

MOTOROLA

SER. NO. 0304



Prikaz veličine adresnog prostora za Intelovu porodicu procesora

- Intel 8080 Adresna sabirnica: A0 – A15
64 K memorijskih lokacija
256 I/O lokacija
- Intel 8085 Adresna sabirnica: A0 – A15
64 K memorijskih lokacija
256 I/O lokacija
- Intel 8086 Adresna sabirnica: A0 – A19
8088

1M memorijskih lokacija
64 K I/O lokacija
- Intel 286 i Intel 386 SX A0 – A23
16 M memorijskih lokacija
64 K I/O lokacija

Prikaz veličine adresnog prostora za Intelovu porodicu procesora (nastavak)

Intel 386 DX

A0 – A31

4G memorijskih lokacija

64 K I/O lokacija

Intel 486

A0 – A31

4G memorijskih lokacija

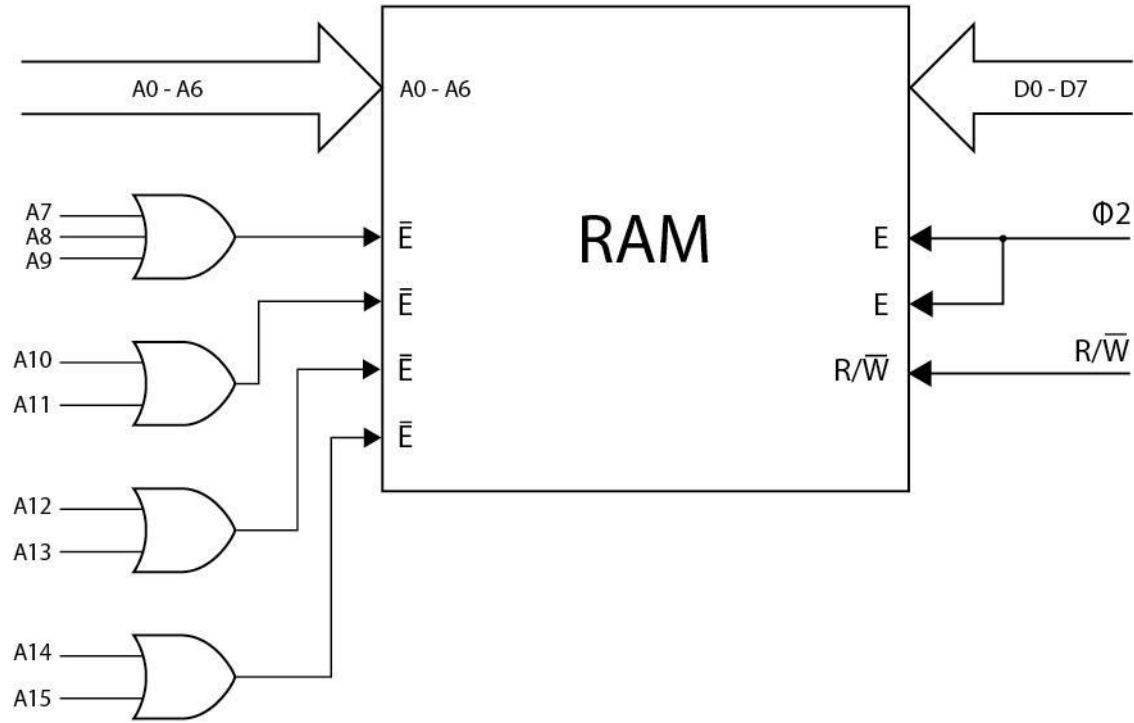
64 K I/O lokacija

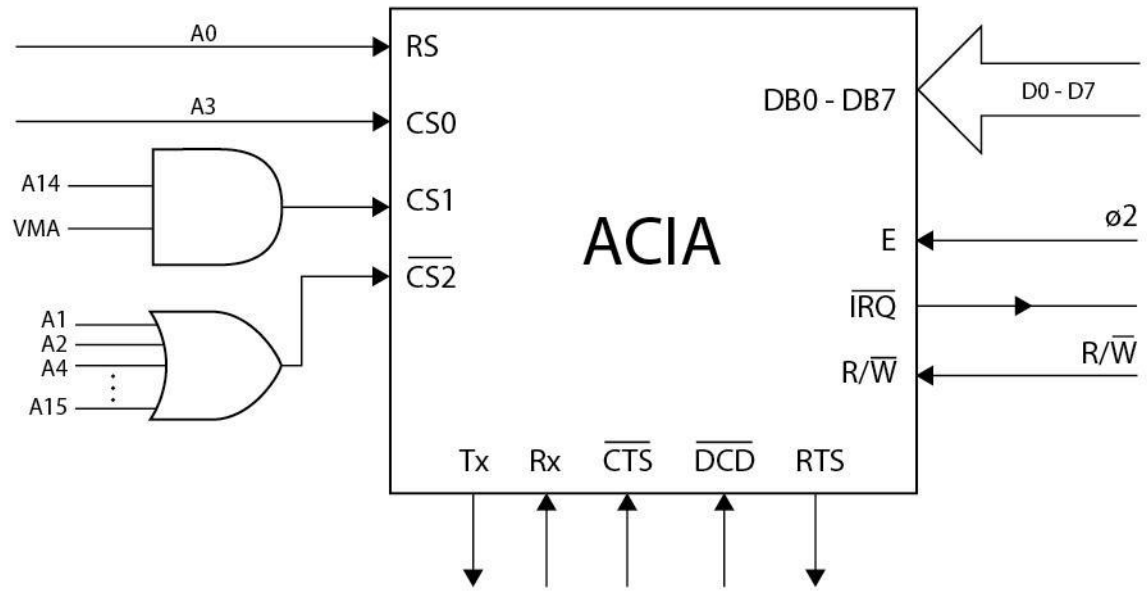
Pentium

A0 – A31

4G memorijskih lokacija

64 K I/O lokacija





Aritmetička (aritmetičko-logička) jedinica

- Sklopovi za obavljanje osnovnih aritmetičkih operacija
- Registri (spremnici) za privremeno pohranjivanje operanada (**operand** – podatak koji sudjeluje u aritmetičkoj ili logičkoj operaciji)

Binarni brojevni sustav izabran kao osnova za prikaz podataka
(i instrukcija)

Razlog: lakša tehnološka izvedba, veća ekonomičnost predstavljanja brojeva, “... računalo nije samo aritmetički stroj već po svojoj prirodi je i logički stroj. Logički sustavi su sustavi da-ne, istinito-lažno, 0-1.

Primjer 2.1.

Pokušajmo ocijeniti ekonomičnost brojevnog sustava koji će poslužiti kao podloga za izgradnju sklopova te naći optimalni brojevni sustav. Drugim riječima, zanima nas koju bazu brojevnog sustava trebamo izabrati da bi cijena sklopova za prikaz brojeva u zadanom opsegu od 0 do $N-1$ bila najniža.

Potpuno opravdano pretpostavljamo da će cijena sklopova biti proporcionalna broju potrebnih brojevnih mjesta i broju diskretnih stanja koje svaka znamenka na brojevnom mjestu može poprimiti:

$$c = k n B,$$

pri čemu je c cijena (npr. u \$), k je pretvorbena konstanta koja omogućuje da se dobije cijena u pretpostavljenim novčanim jedinicama, n je broj potrebnih brojevnih mjesta i B je baza brojevnog sustava, odnosno broj diskretnih stanja koje znamenka može poprimiti.

Pretpostavimo da želimo predočiti brojeve samo u opsegu od 0 do 999 u **dekadskom brojevnom sustavu**. Cijena sklopova iznosi:

$$c = k \cdot 3 \cdot 10 = 30k$$

Ako se pak odlučimo za **binarni brojevni sustav** ($B = 2$), tada cijena iznosi:

$$c = k \cdot 10 \cdot 2 = 20k$$

pri čemu 10 odgovara broju potrebnih brojevni mjesta za prikaz brojeva u opsegu 0 – 999, a 2 je broj diskretnih stanja. Na primjer, 999 (dekadno) predočeno je s deset binarnih znamenki: 1111100111. Vidimo da je binarni brojevni sustav ekonomičniji – zahtijeva nižu cijenu izvedbe sklopova. Koji je brojevni sustav optimalan?

Za ishodište će nam poslužiti izraz za cijenu

$$c = k \cdot n \cdot B \quad (*)$$

pri čemu za pozicijske brojevne sustave vrijedi da je:

$$N = B^n$$

Logaritmirajmo lijevu i desnu stranu izraza:

$$N = B^n / \log$$

dobivamo:

$$\log N = n \log B$$

$$n = \log N / \log B$$

Uvrstimo izraz u jednadžbu (*):

$$c = k (\log N / \log B)$$

Tražimo vrijednost za B za koju će funkcija c postići svoj minimum.

$$c = knB$$

$$N = B^n / \log$$

$$\log N = n \log B$$

$$n = \frac{\log N}{\log B}$$

$$c = k \log N \left(\frac{B}{\log B} \right)$$

$$\left(\frac{u}{v} \right)' = \frac{vu' - uv'}{v^2}$$

$$\frac{dc}{dB} = \frac{d}{dB} \left(k \log N \left(\frac{B}{\log B} \right) \right)$$

$$\frac{d}{dB} (\log B) = \frac{1}{B} \log e$$

$$\frac{dc}{dB} = \frac{\log B - B \frac{1}{B} \log e}{(\log B)^2}$$

Rezultat je pomalo čudan – baza optimalnog brojevnog sustava bi trebala biti $e = 2.71828...$ (baza prirodnog logaritma ln)!

Budući da B treba biti cijeli broj, trebamo izabrati između broja 2 i 3. Zbog lakše tehnološke izvedbe sklopova odlučujemo se za bazu **B = 2 i smatramo je optimalnom.**

Oduzimanje – pribrajanje dvojnog ili potpunog komplementa

Množenje i dijeljenje-pod programskim upravljanjem
ponavljanjem uzastopnih operacija zbrajanja, odnosno
oduzimanja i posmaka

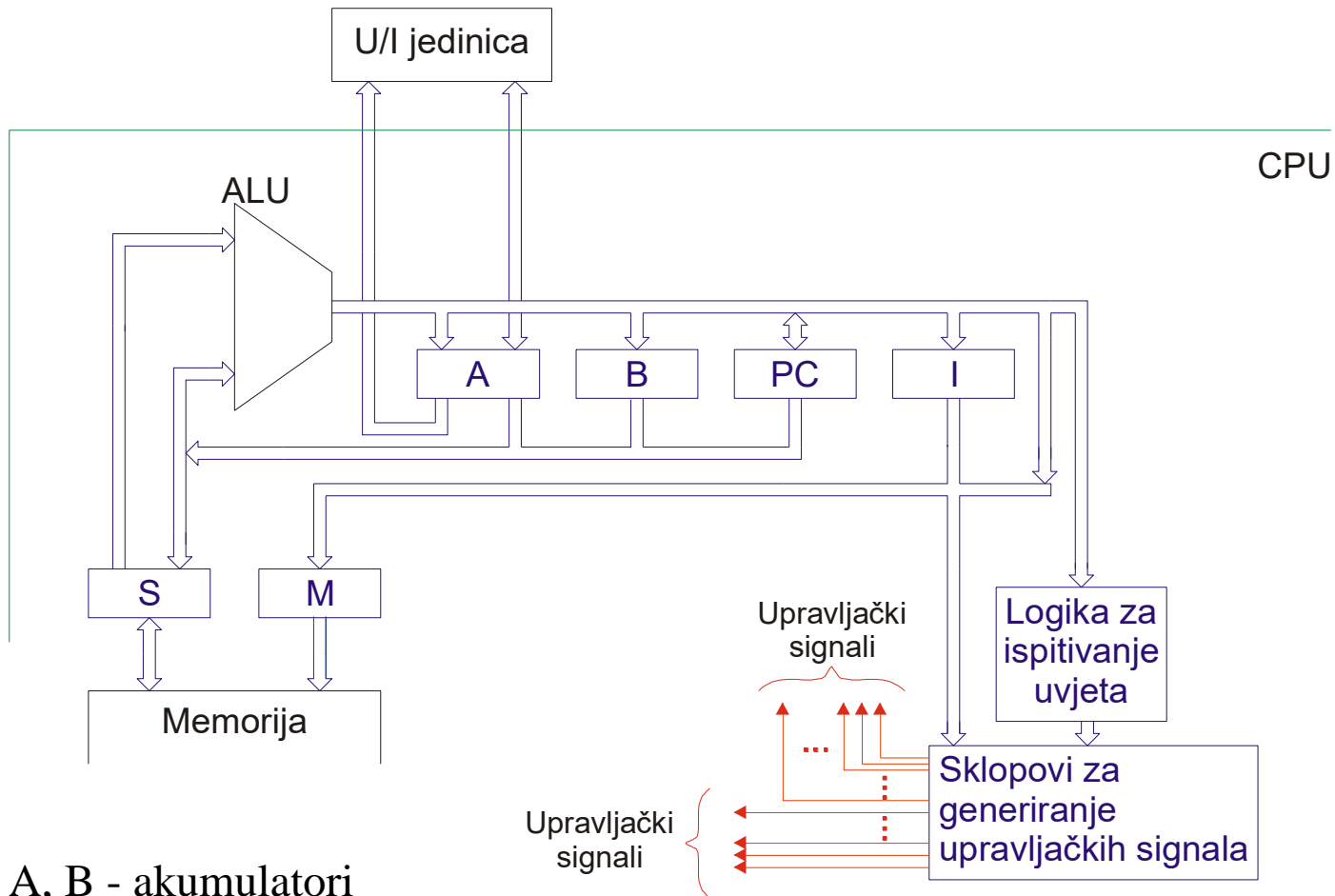
ALU (von Neumannovog računala) = zbrajalo i sklop za posmak

Operandi von Neumannovog računala **duljine 40 bita (!?)**

Zašto?

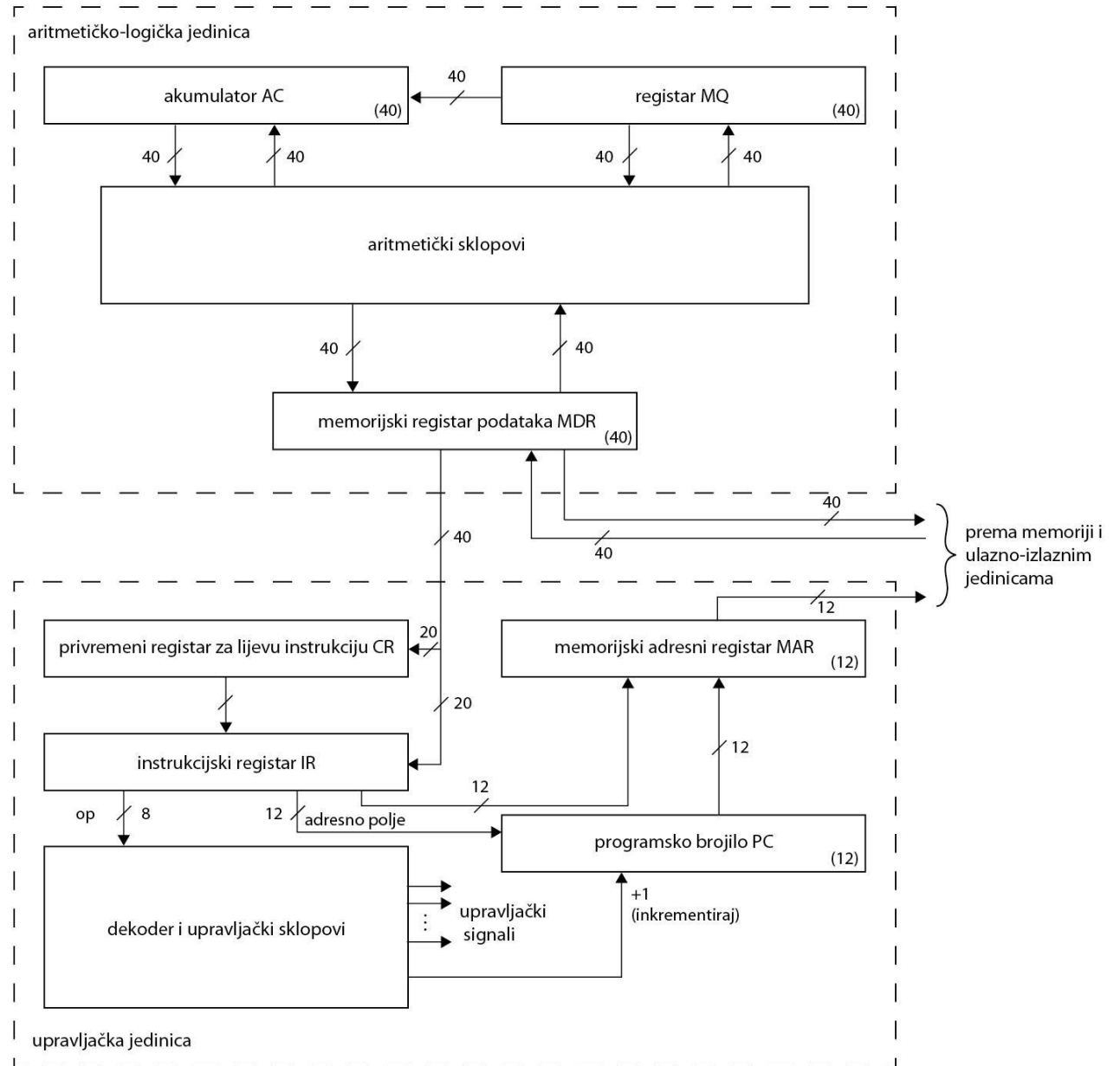
40 bita dopušta točnost računanja na dvanaest decimala:

$$2^{-40} = 0.9 * 10^{-12}$$



- A, B - akumulatori
- S - memorijski registar podataka
- M – memorijski adresni registar (MAR)
- PC – programsko brojilo
- I- instrukcijski registar

Organizacija CPU IAS računala



Upravljačka jedinica

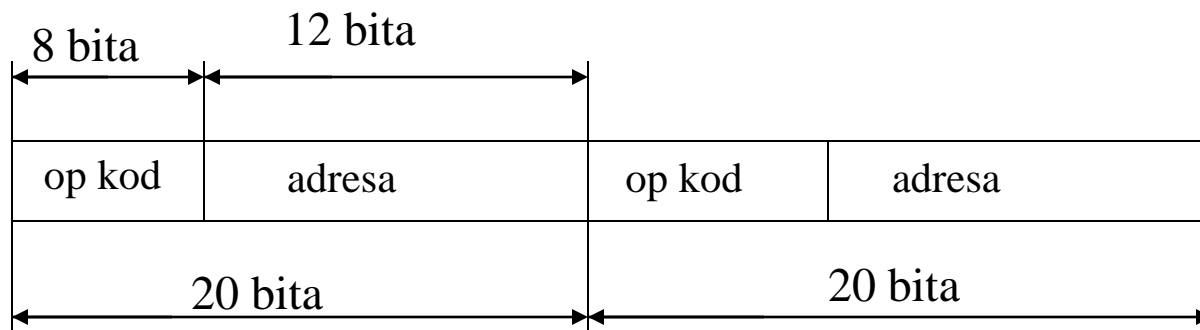
Generira sve upravljačke signale za vremensko vođenje i upravljanje ostalim funkcijskim jedinicama.

Svaki korak algoritma predstavljen je jednom (strojnom) instrukcijom ili slijedom (strojnih) instrukcija.

Strojne instrukcije određuju elementarne operacije koje sklopovlje procesora može izvesti

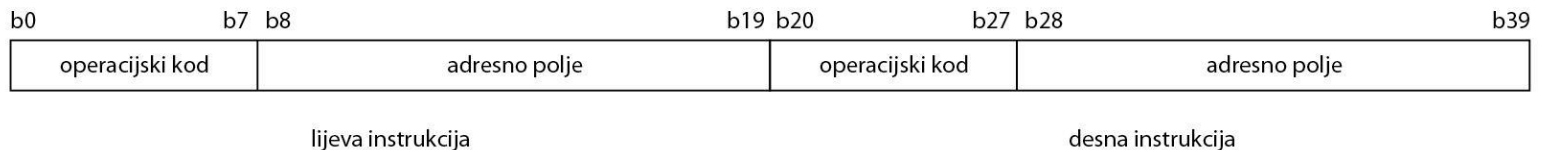
Duljina riječi 40 bita (podaci predočeni 40-bitnim kodom).
Strojne instrukcije duljine 20 bita.

Dvije instrukcije smještene u jednoj riječi u memoriji
(lijeva i desna instrukcija):



Lijeva instrukcija

Desna instrukcija



Von Neumanov procesor – akumulatorsko orijentiran procesor

Binarna operacija, npr. $C=A+B$ $C= f(A, B)$

U von Neumannovom procesoru – $A= f(A, M)$

A – akumulator, M – memorijska lokacija

Instrukcije von Neumannovog procesora su **jednoadresne**

Op kod – operacijski kod instrukcije – binarno kodirana instrukcija

Npr. : 11001100 – kod instrukcije add - zbroji

Adresa – binarno kodirana adresa operanda (operand se nalazi na memorijskoj lokaciji kojoj je **jednoznačno** pridružena adresa

Npr.: 1001 0011 0111

(12-bitna adresa: 937 /heksadekadno/)

12-bitno adresno polje instrukcije omogućava izravno adresiranje $2^{12} = 4096$ memorijskih lokacija.

Programsko brojilo PC (*Program Counter*)- registar koji sadrži adresu **sljedeće** instrukcije.

Programsko brojilo von Neumannovog računala bilo je duljine 13 bita – 12 bitova za adresiranje bilo koje memorijske lokacije + 1 bit za izbor lijeve ili desne instrukcije.

Instrukcijski registar I – registar koji sadrži instrukciju čije je izvođenje u tijeku.

PC je u von Neumanovom računalu bilo označeno s CC (*Control Counter*)

I je nosilo oznaku FR (*Functional Table Register*)

Skup strojnih instrukcija:

1. Aritmetičke i logičke instrukcije
2. Instrukcije za prijenos podataka
3. Instrukcije uvjetnog i bezuvjetnog grananja
4. Ulazno-izlazne instrukcije
5. Instrukcije s djelomičnom zamjenom

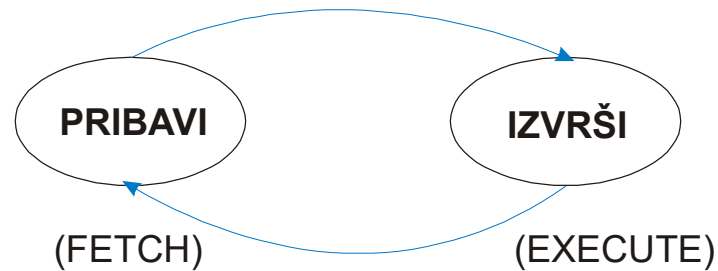
Von Neumanov procesor – akumulatorsko orijentiran procesor

Binarna operacija, npr. $C=A+B \rightarrow C= f(A, B)$

U von Neumannovom procesoru – $A= f(A, M)$

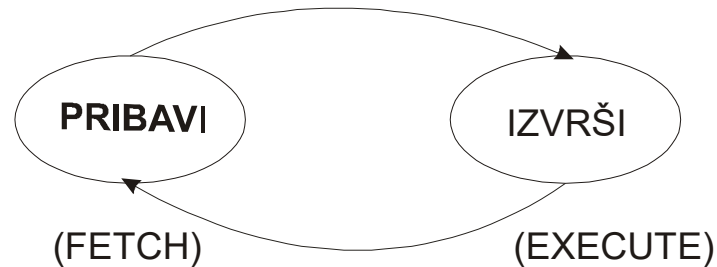
A – akumulator, M – memorijska lokacija

Računalo se tijekom izvođenja programa uvijek nalazi u jednoj od dvije moguće faze (ili stanja)



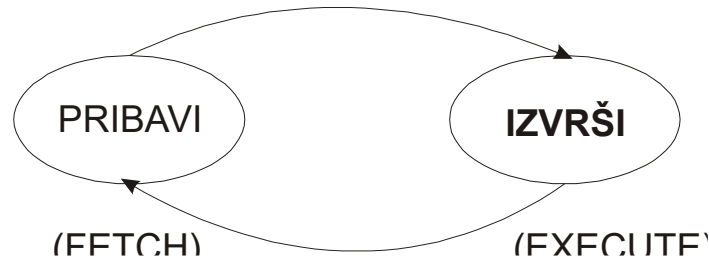
PRIBAVI – tijekom te faze upravljačka jedinica **dohvaća** (pribavlja) **instrukciju** iz memorije

IZVRŠI – tijekom te faze **izvršava** se instrukcija koja je bila dohvaćena u prethodnoj fazi PRIBAVI (podaci dohvaćeni iz memorije ili poslani memoriji tumače se kao **operandi**, odnosno **rezultati**)

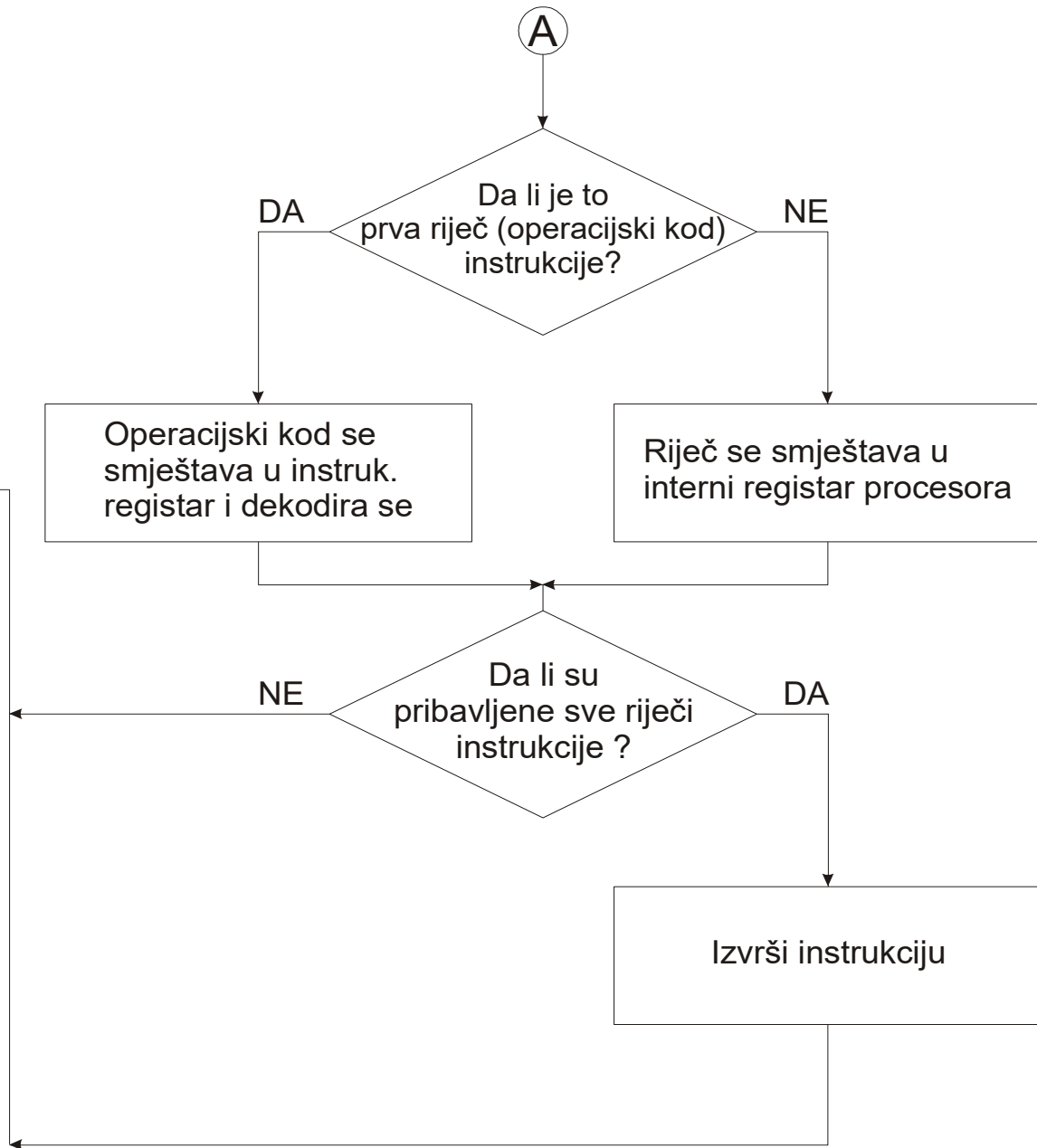
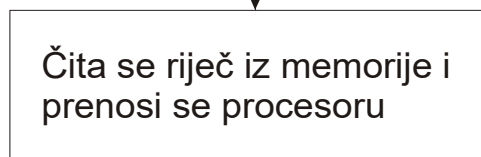
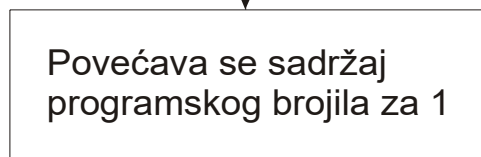
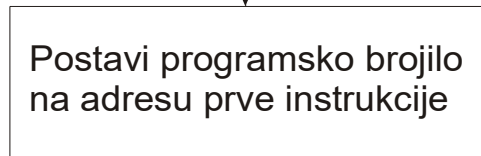


PRIBAVI:

1. korak $\text{MEM}(\text{PC}) \rightarrow \text{I}$
2. korak $\text{PC} + 1 \rightarrow \text{PC}$
3. korak Dekodiranje operacijskog koda instrukcije



- IZVRŠI:** 4. korak: (npr. pročitaj tj. dohvati operand iz memorije)
5. korak: (npr. izvedi aritmetičku operaciju nad jednim ili dvama operandima)
6. korak: ...
7. korak: ...
- -
 -



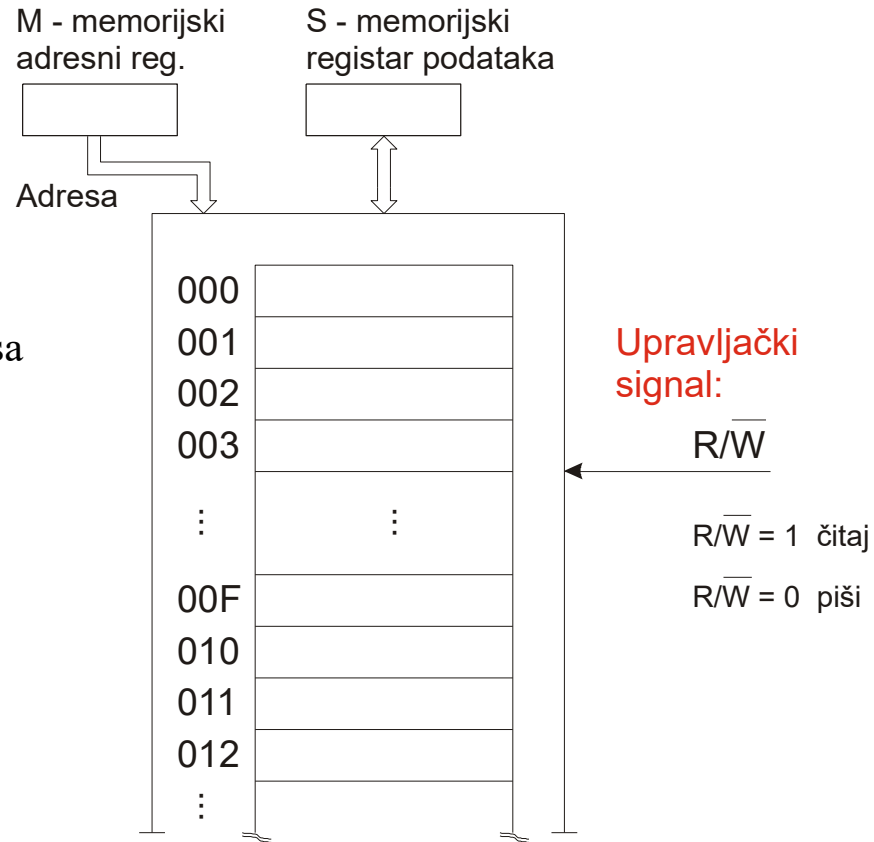
FAZA PRIBAVI

FAZA IZVRŠI

FAZA PRIBAVI

Memorija

Model memorije von Neumannovog računala



Svakoj memorijskoj lokaciji jednoznačno je pridružena adresa

Memorija nema procesnih sposobnosti !!!

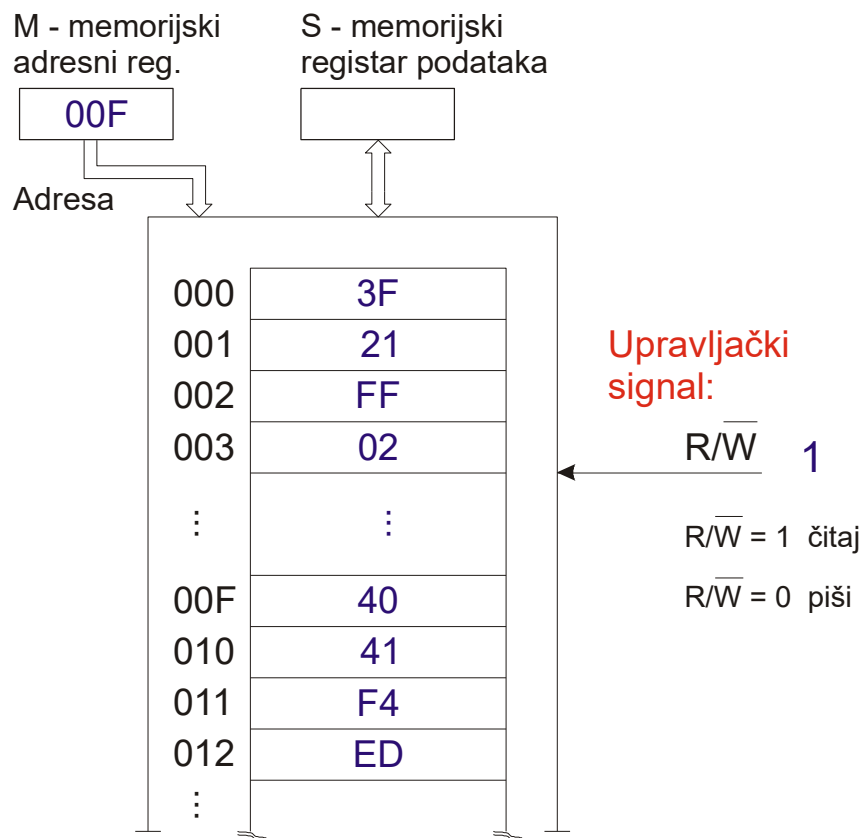
Memorijska jedinica – **prateći modul** (*Slave Module*)

Procesor – vodeći modul (*Master Module*)

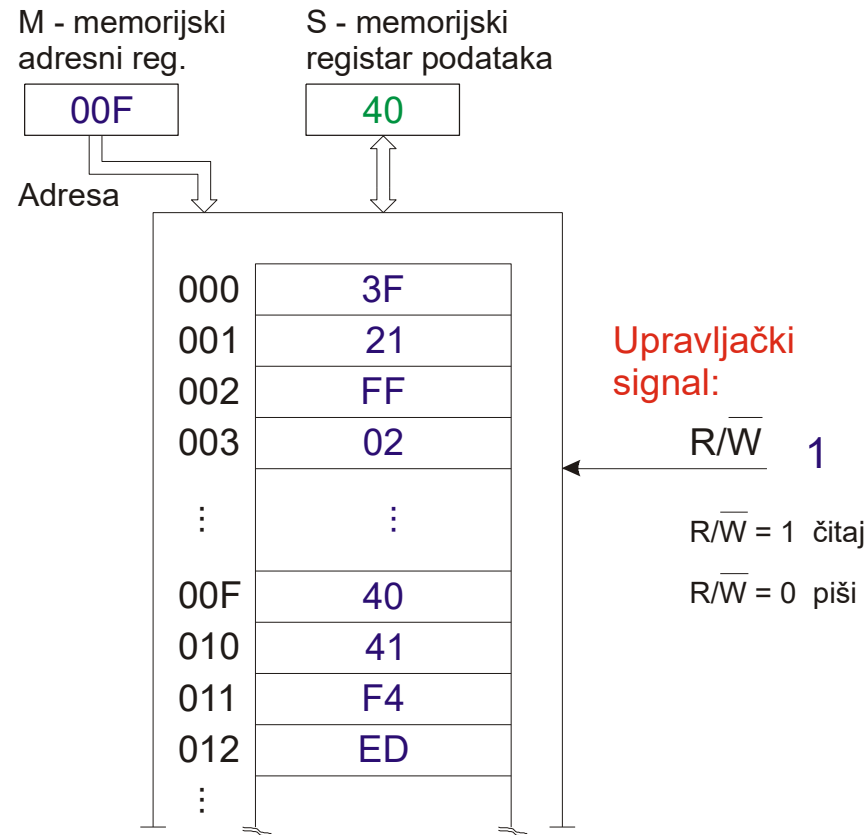
Operacija **Čitanja** ($R/\overline{W} = 1$)

Adresa \rightarrow M

$R/\overline{W} \rightarrow 1$



Stanje memorije nakon isteka vremena pristupa memoriji



Podatak s memorijske lokacije 00F je “preslikan” u memorijski registar podataka

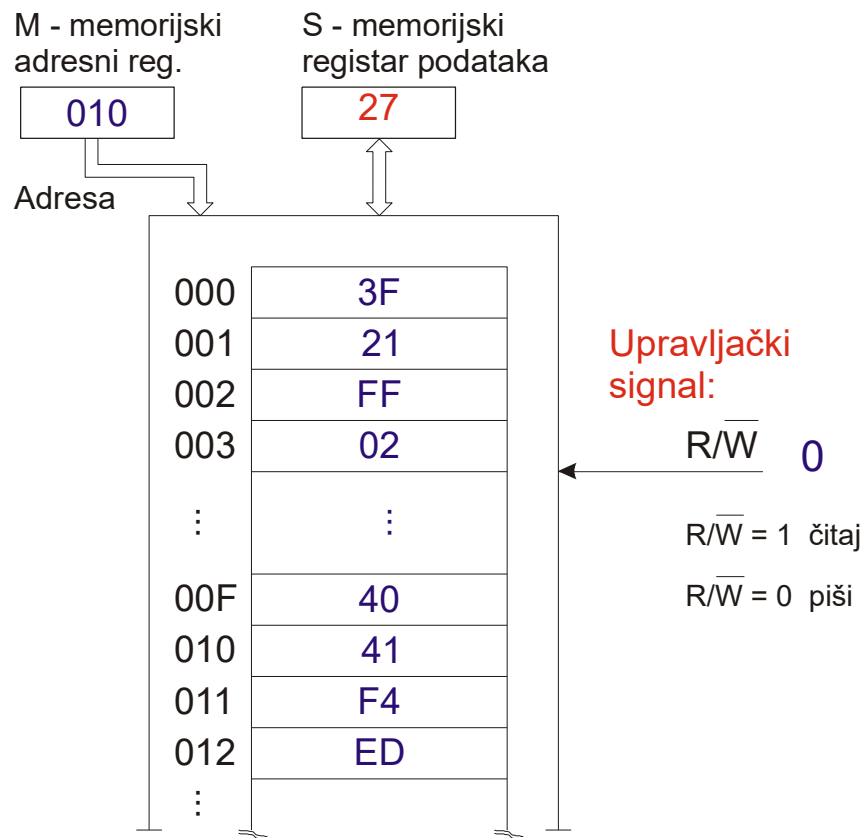
POZOR: Operacija čitanja je nedestruktivna operacija!

Operacija **Pisanja** ($R/\overline{W} = 0$)

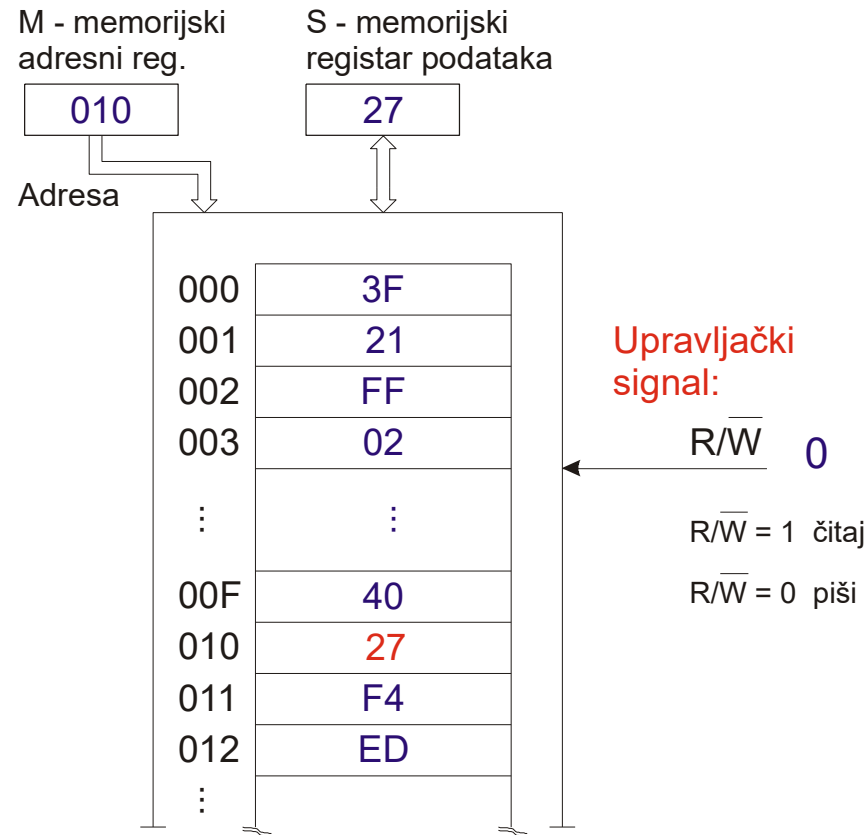
Adresa \rightarrow M

Podatak \rightarrow S

$R/\overline{W} \rightarrow 0$



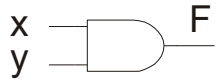
Stanje memorije nakon isteka vremena pristupa memoriji



Podatak iz registra S “preslikan” u memorijsku lokaciju koja ima adresu 010

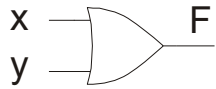
POZOR: Operacija pisanja je destruktivna operacija!

AND



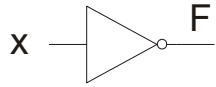
$$F = x \cdot y$$

OR



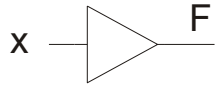
$$F = x + y$$

NOT



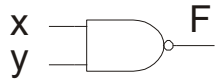
$$F = \overline{x}$$

Driver



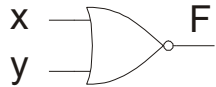
$$F = x$$

NAND



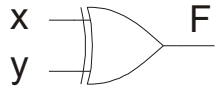
$$F = (x \cdot y)'$$

NOR



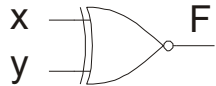
$$F = (x + y)'$$

XOR

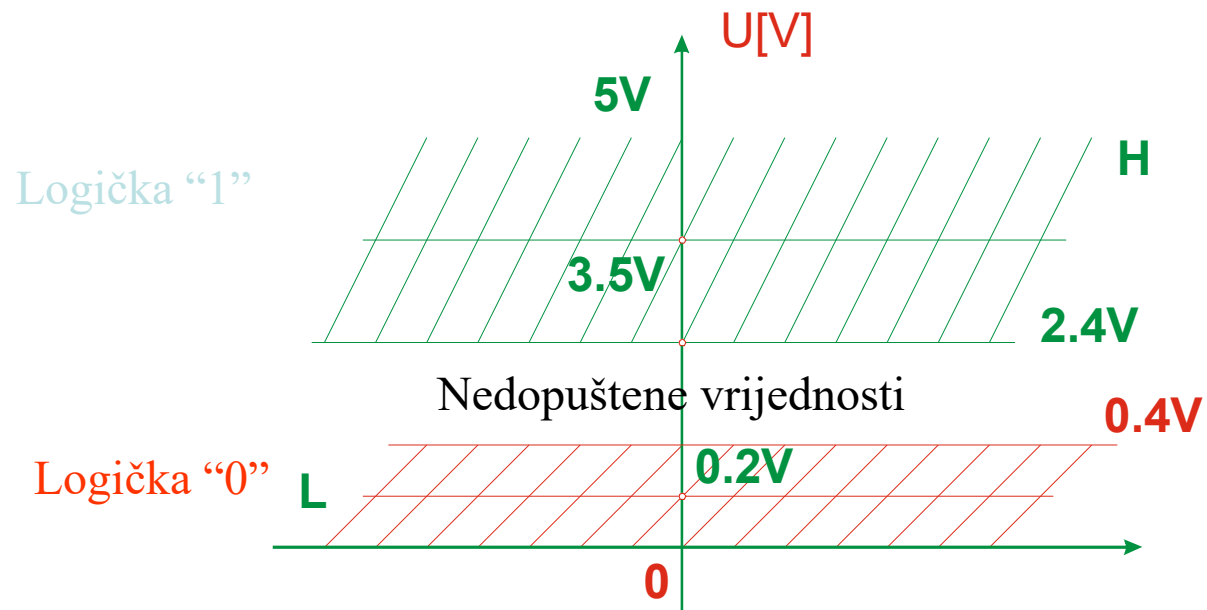


$$F = x \cdot y' + x' \cdot y$$

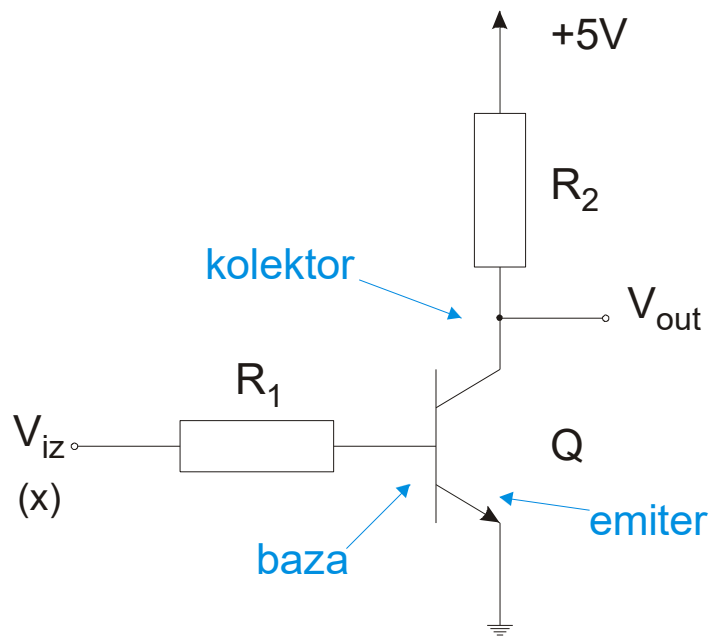
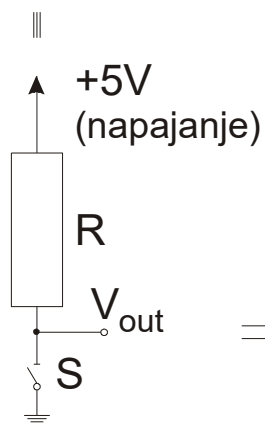
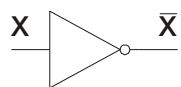
Exclusive
NOR



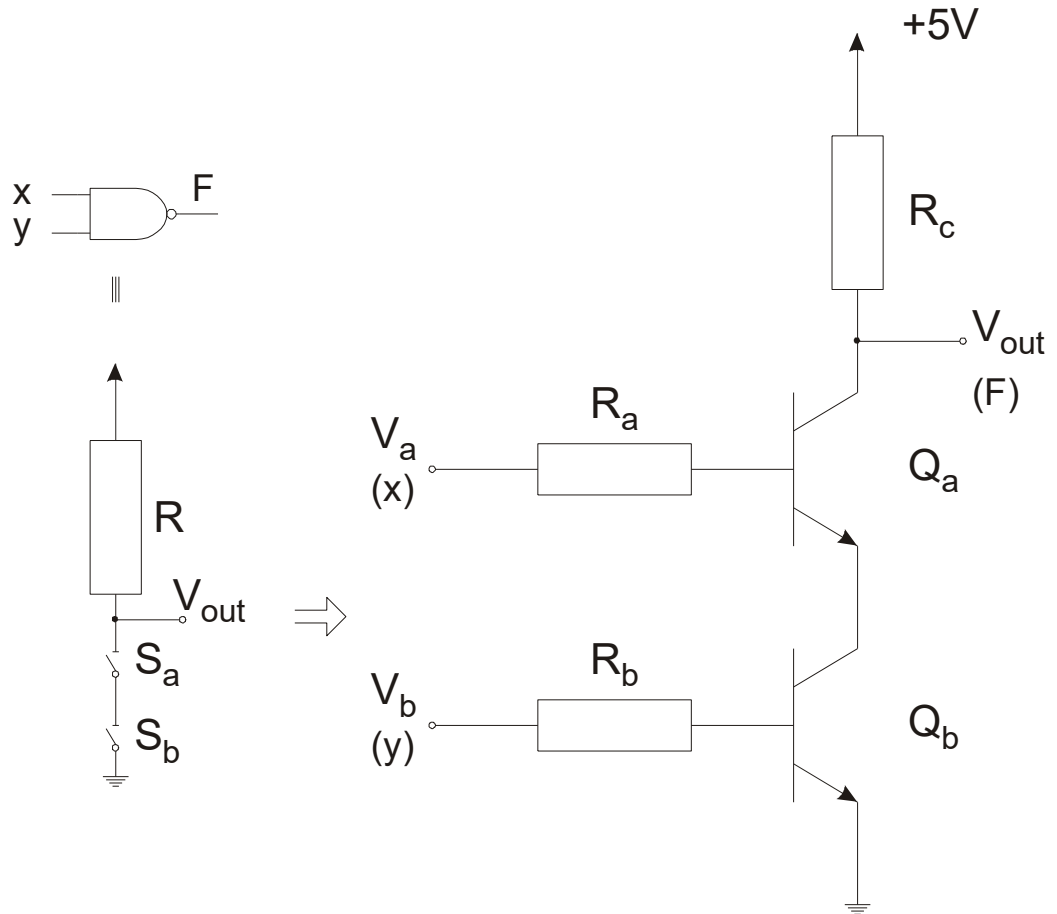
$$F = x \cdot y + x' \cdot y'$$

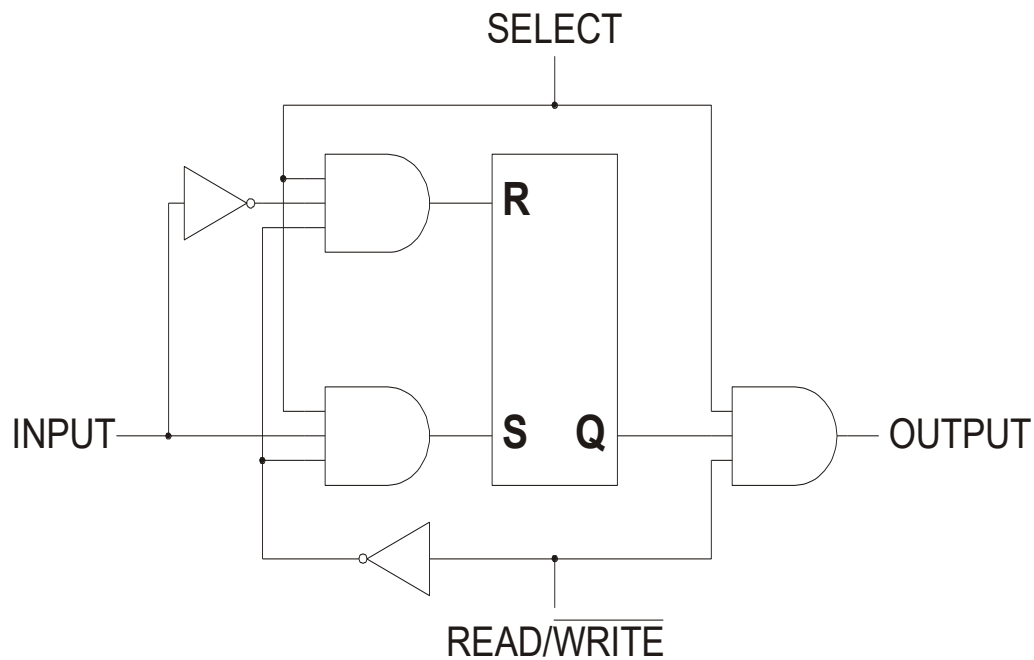


Invertor



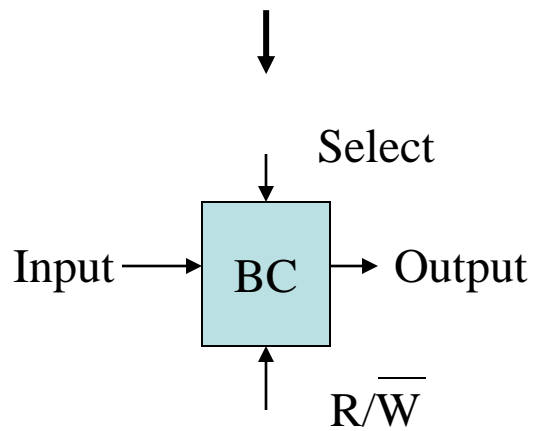
NAND



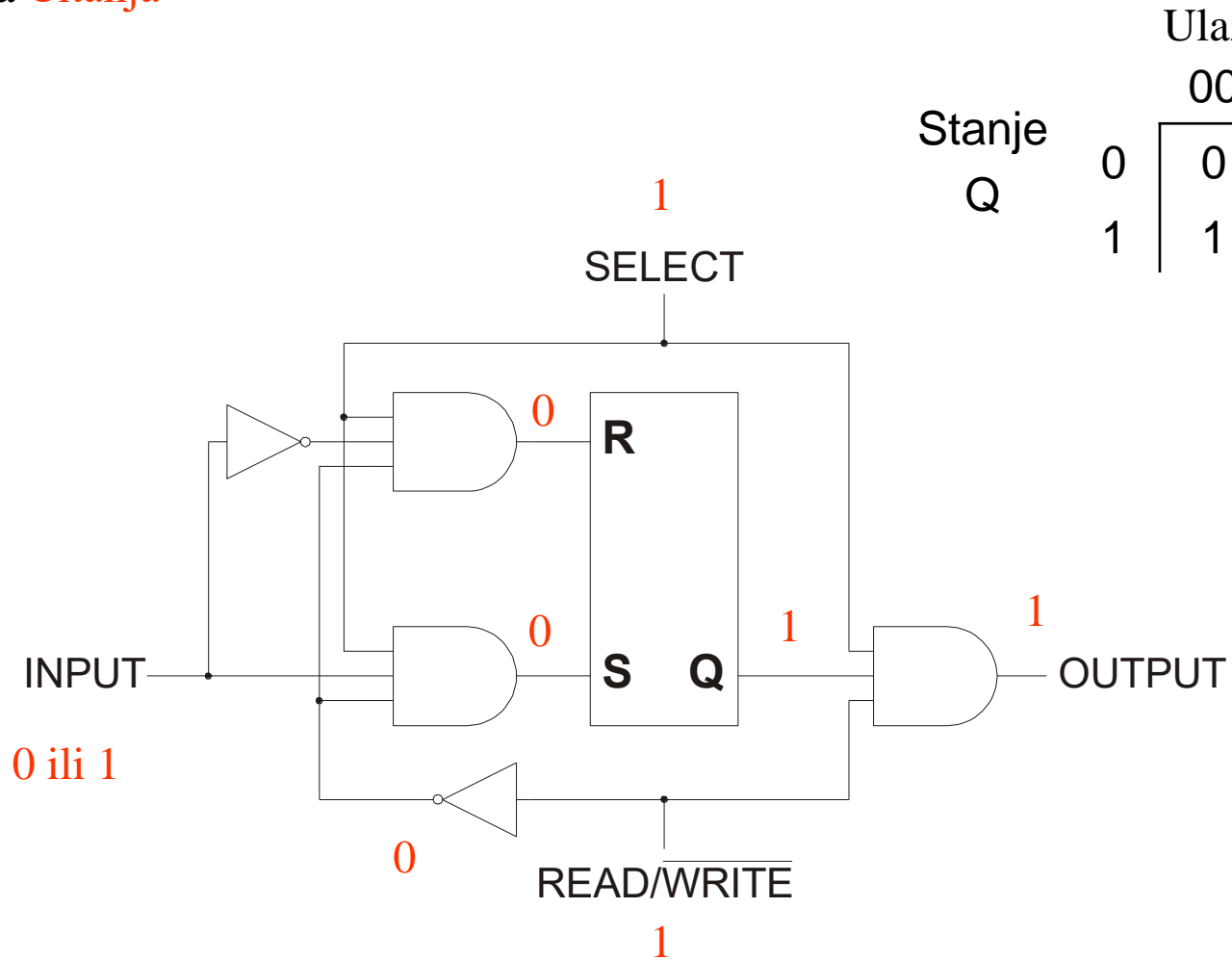


Ulaz SR

	00	01	10
Stanje Q	0	0	1
1	1	0	1

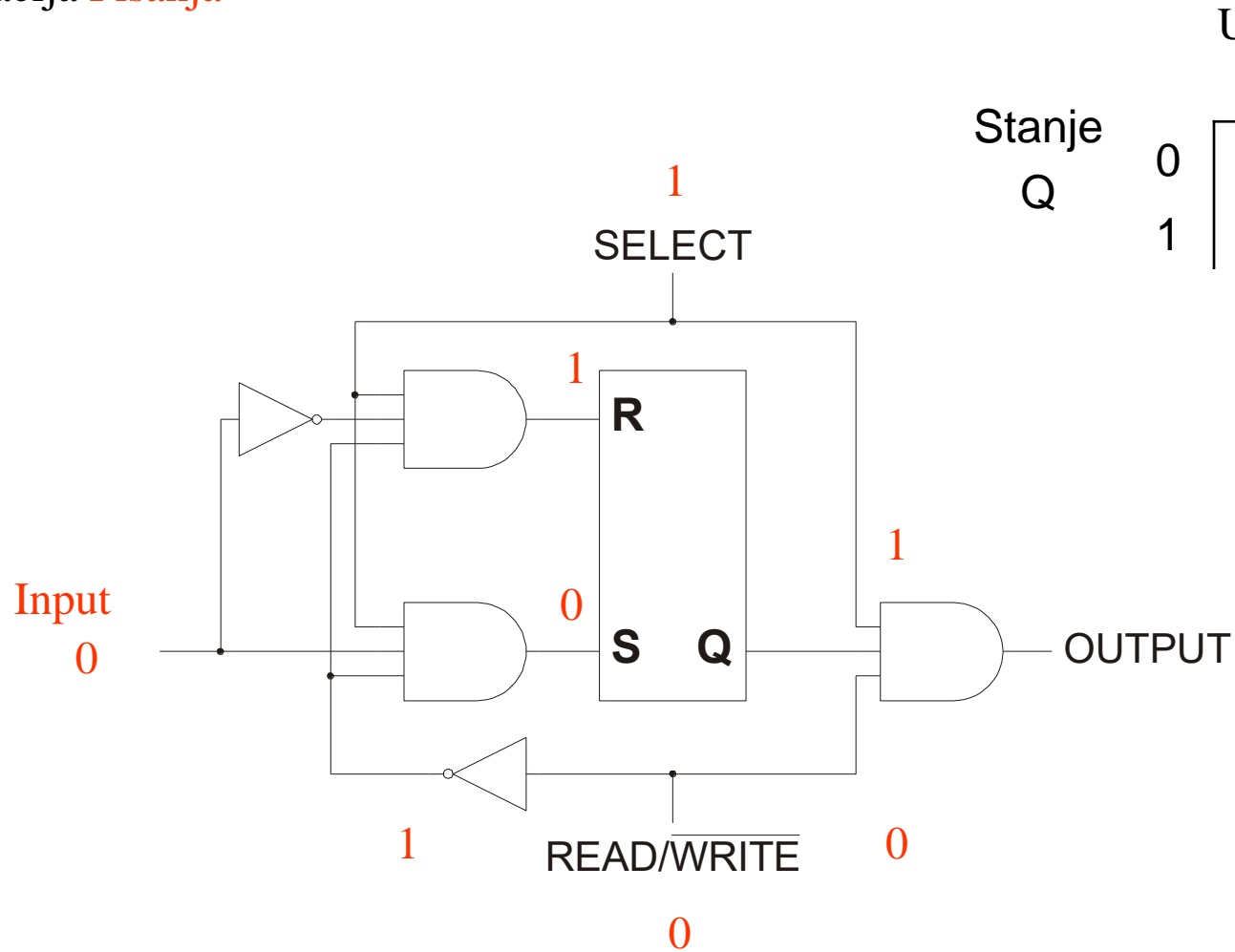


Operacija Čitanja

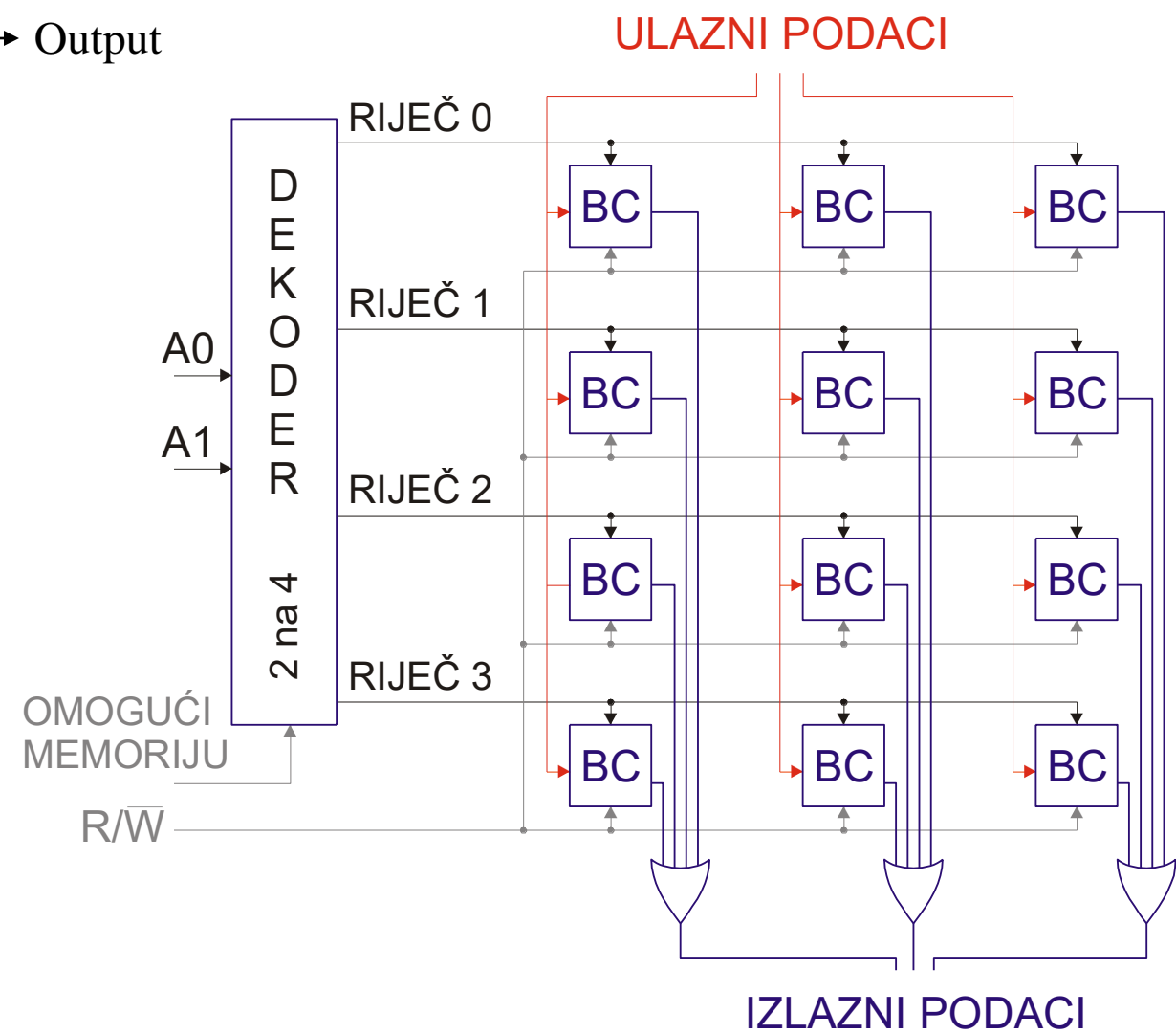
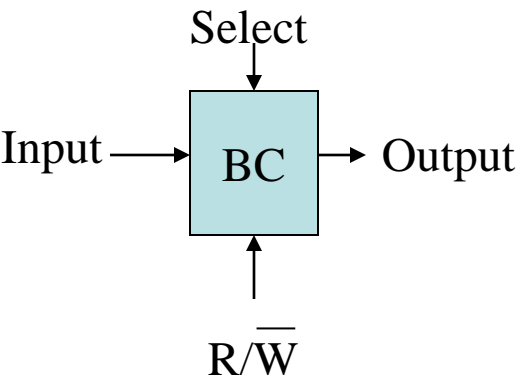


		Ulaz SR		
		00	01	10
Stanje Q	0	0	0	1
	1	1	0	1

Operacija **Pisanja**



		Ulaz SR		
		00	01	10
Stanje Q	0	0	0	1
	1	1	0	1



Memorija Von Neumannovog računala:

Radna (ili glavna, ili primarna) memorija:

4096 x 40 = 163.840 bistabila koji su se trebali realizirati elektronskim cijevima ili elektromehaničkim relejima!!! (1946. godina)

Rješenje: Katodna cijev za memoriranje *SELECTRON*
(Princeton Lab, tvrtka RCA)

Memorija: 40 Selectrona – svaki kapaciteta 4096 bita
vrijeme pristupa 50 mikrosekundi

logička “1” – svjetlo polje

logička “0” – tamno polje

Von Neumann, Burks i Goldstein razmatraju
hijerarhijsku organizaciju memorije:

1. razina: primarna, glavna ili radna memorija
2. razina: sekundarna memorija (svjetlosno osjetljiv film, magnetsko osjetljiva traka ili žica) izravno pod upravljanjem računala
3. razina: neaktivna memorija (*Dead Memory*) – nije integralni dio računala

Ulazno-izlazna jedinica

Grafička prikazna jedinica - cijev *Selectron*

logička “1” – svjetlo polje

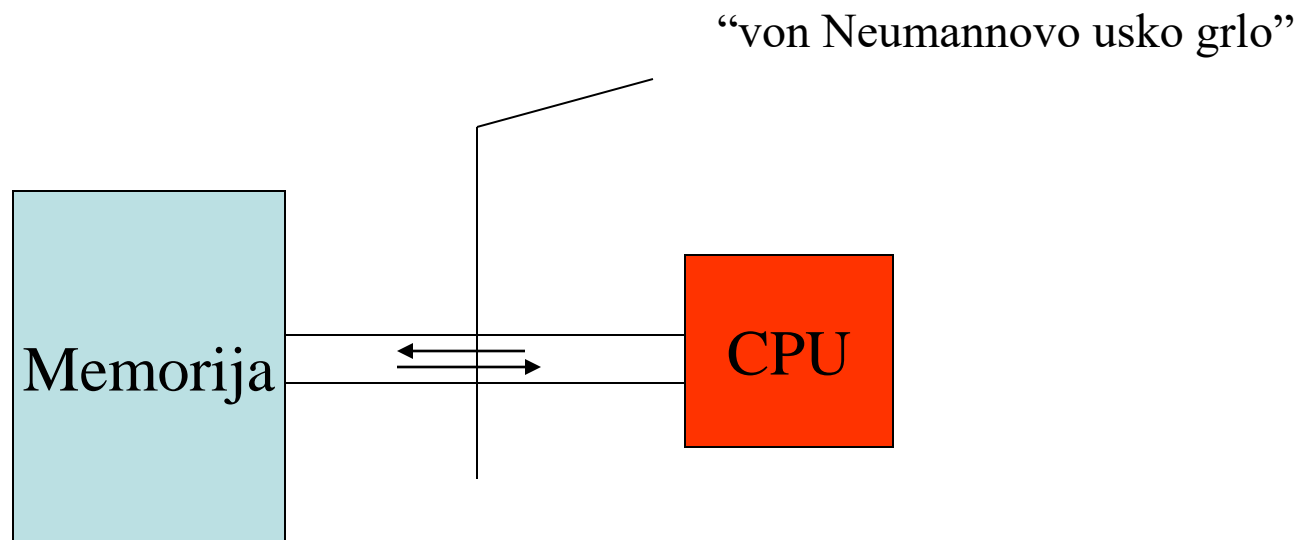
logička “0” – tamno polje

Poštanski teleprinter s pomoćnom žičanom memorijom **U/I**
jedinica

Razmatra se mogućnost simultanog rada U/I jedinice i CPU-a!

Zbog tehnoloških ograničenja računalo ostaje jednokorisničko računalo i akumulator (registar) A ima ulogu “odskočne daske” za svaki I/O podatak.

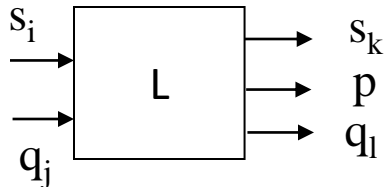
Zašto SISD kategorija arhitekture?



Turingov stroj

Algoritam obrade

- Određen izvedbom upravljačke jedinice



Memorijska jedinica

- Beskonačna vrpca



Von Neumannov model računala

Algoritam obrade

- Određen slijedom instrukcija u memoriji

Memorijska jedinica

- Konačna memorija

Adresa	Sadržaj
00001	08
00002	AB
00003	7C
00004	9A
00005	78
	⋮

Turingov stroj

Aritmetičko-logička jedinica

- Objedinjena u upravljačkoj napravi

Ulazno-izlazna jedinica

- Beskonačna vrpca

Von Neumannov model računala

Aritmetičko-logička jedinica

- Posebna jedinica ALU

Ulazno-izlazna jedinica

- Posebna jedinica

Oba su stroja “vremensko diskretni” strojevi – OBRADA SE ODVIJA U RITMU SIGNALA VREMENSKOG VOĐENJA (ODVIJA U TAKTOVIMA)!