

2. Von Neumannov model računala

2.1. Uvod

Jedan od najznačajnijih radova na području arhitekture računala:

- W. Burks, H. H. Goldstein, J. Neumann, “*Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument*”, 1946. godina
A.H. Taub (ed.), “Collected Works of John von Neumann”,
Vol. 5, The Macmillan Company, New York, 1963.,pp. 34-79.
(Report to U.S. Army Ordinance Department, 1946.)

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 slijeda 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 slijedom izvođenja operacija –
upravljačka jedinica

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

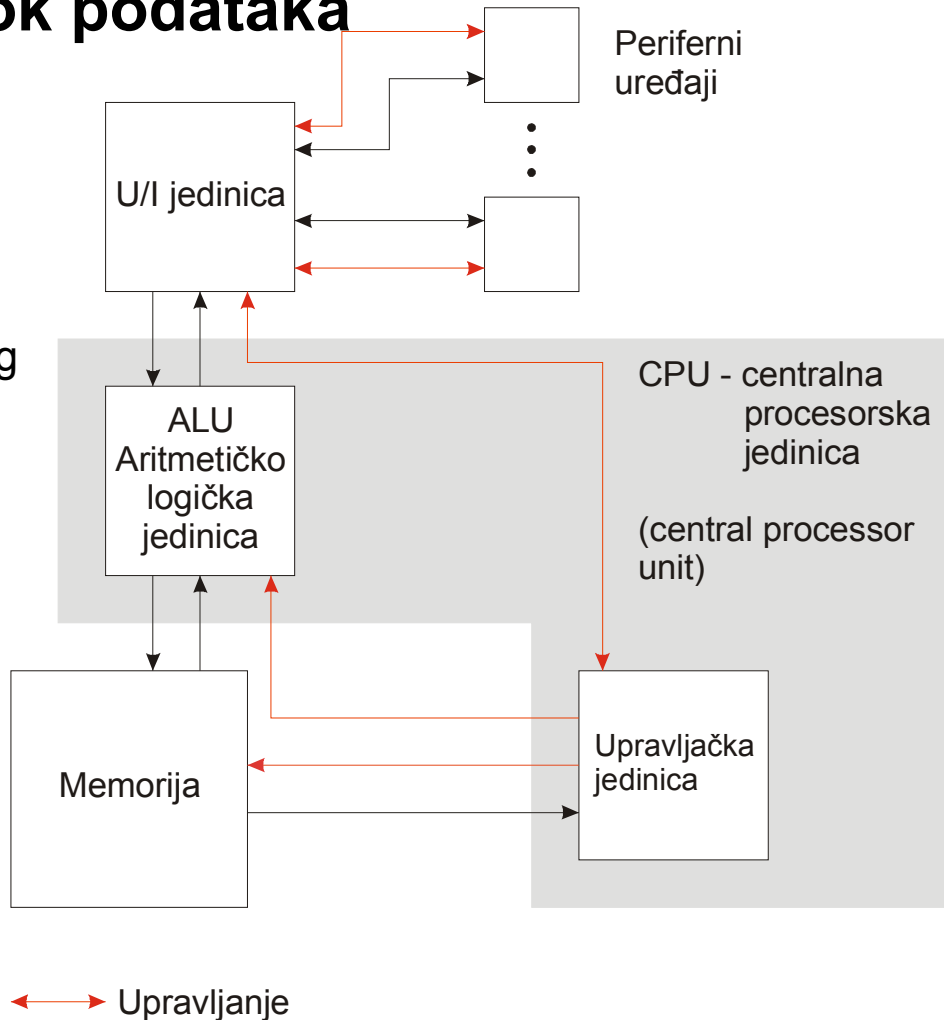
Pet funkcijskih jedinica koje čine računalo:

- 3. Aritmetička jedinica**
- 4. Upravljačka jedinica**
- 5. Memorija**
- 4. Ulazna jedinica**
- 5. Izlazna jedinica**

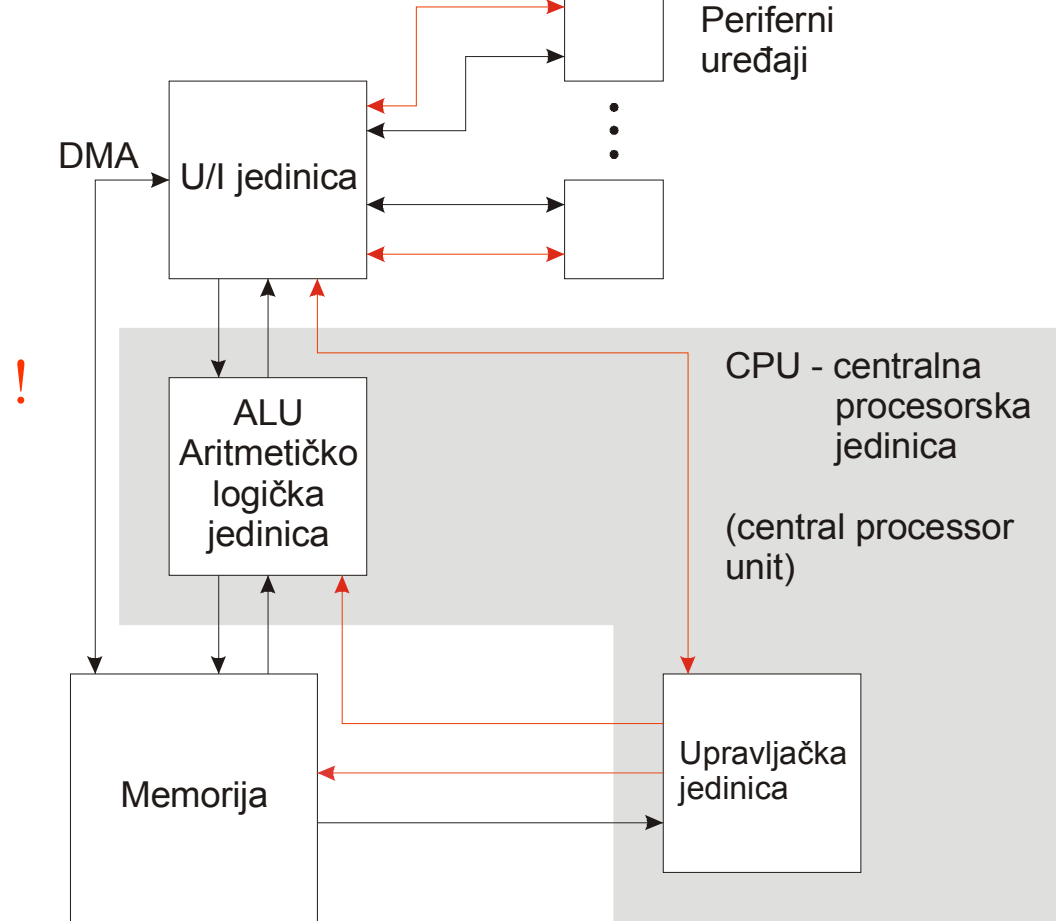
2.2. Upravljački tok i tok podataka

Analizirati smjerove toka podataka
i upravljačkog toka;

Objasniti “dvosmjernost” upravljačkog
toka;



Von Neumann ne
predviđa DMA



↔ Upravljanje

↔ Tok podataka

DMA - Direct Memory Access

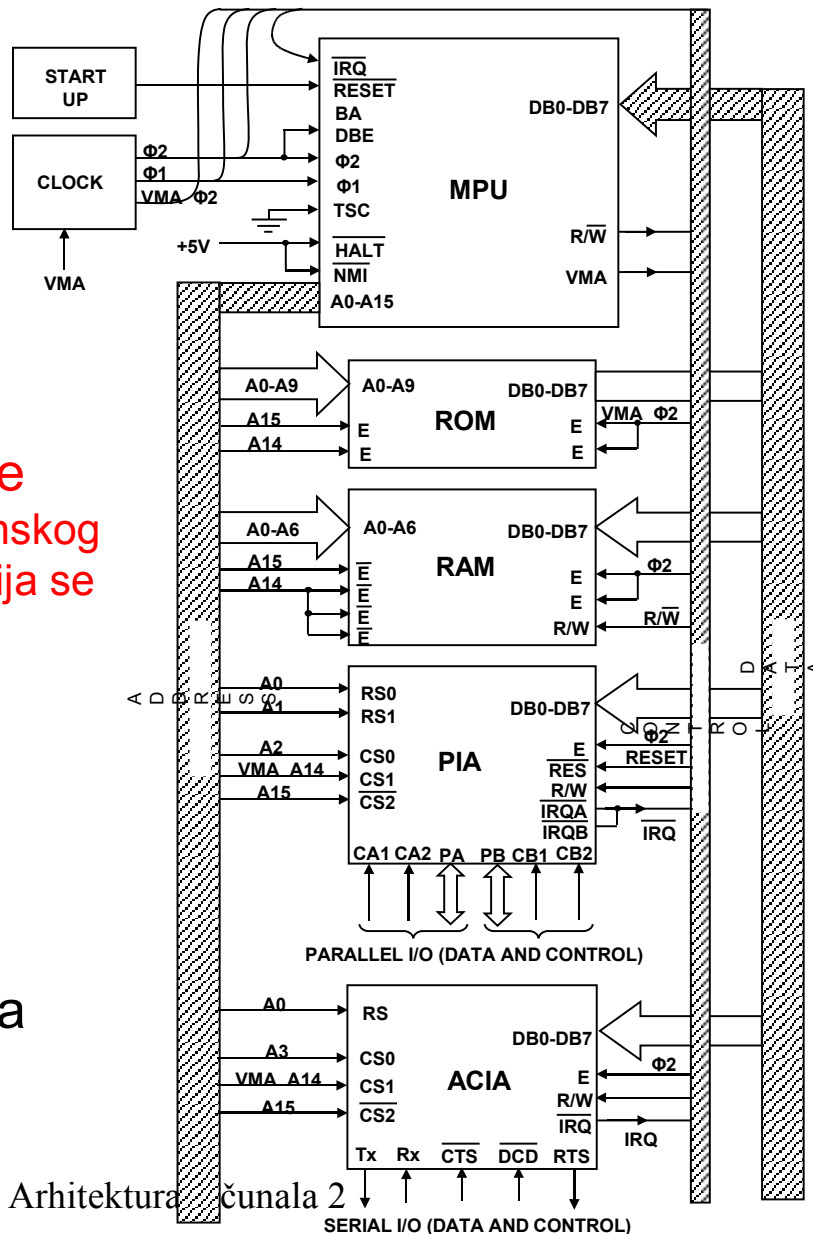
Mikroračunarski sustav na bazi mikroprocesora MC6800

Identificirati funkcijske jedinice
(obratiti pozornost na signale vremenskog
vođenja $\phi 1$ i $\phi 2$ – rad procesora odvija se
u taktovima)

Analizirati ostvarivanje veza
među funkcijskim jedinicama

- sabirnica podataka
- upravljačka sabirnica
- adresna sabirnica

Načelo jednoznačnosti adresa
(adresni prostor)



- Ilustrirati načelo jednoznačnosti adresa određivanjem dijela adresnog prostora kojeg zauzima RAM, ROM
- Odrediti adrese koje su namijenjene PIA međusklopu
- Objasniti razliku između potpunog i nepotpunog adresnog (de)kodiranja
- Izbor referentne točke u računalnom sustavu - procesor

Zadaci:

1. Statički RAM kapaciteta 4K x 8 bita i sljedećim važnijim priključcima A0-A11, D0-D7, CS0, CS1, CS2, CS3, R/W priključite tako da se javlja na početnoj adresi A000. Odrediti adresni prostor koji zauzima sklop. Nacrtati shemu priključenja s izvedbom adresnog dekodera (koristiti logičke sklopove I, NE i/ili ILI). Pretpostaviti da je adresna sabirnica širine A0-A15, a sabirnice podataka D0-D7.

2. Programirajući U/I (ulazno-izlazni) međusklop ima četiri naslovljiva registra (R0-R3). Uz pretpostavku da ima sljedeće važnije priključke RS 0, RS 1, E, E, D0-D7, R/W i ϕ , nacrtajte shemu priključenja na 16-bitnu adresnu sabirnicu te 8-bitnu sabirnicu podataka tako da se međusklop javlja na početnoj adresi 8008.

3. Riješiti 1. zadatak uporabom komparatora umjesto logičkih sklopova I, NE i/ili ILI.

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
- Intel-HP IA-64
(Itanium) A0 – A63 (2^{64} bajtova)
(memorijsko i izdvojeno I/O
preslikavanje)

2.3. 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);

Stroj je bio namijenjen i za rješavanje parcijalnih diferencijalnih jednažbi

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.**”

“Važan dio stroja nije aritmetičke već logičke naravi”
(J. Neumann)

- Odnos između **aritmetičkih operacija i logičkih operacija**

Aritmetičko-logička jedinica von Neumannovog računala –
sklopovi za operaciju zbrajanja (zbrajalo) i sklop za posmak

Oduzimanje?

Množenje?

Dijeljenje?

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

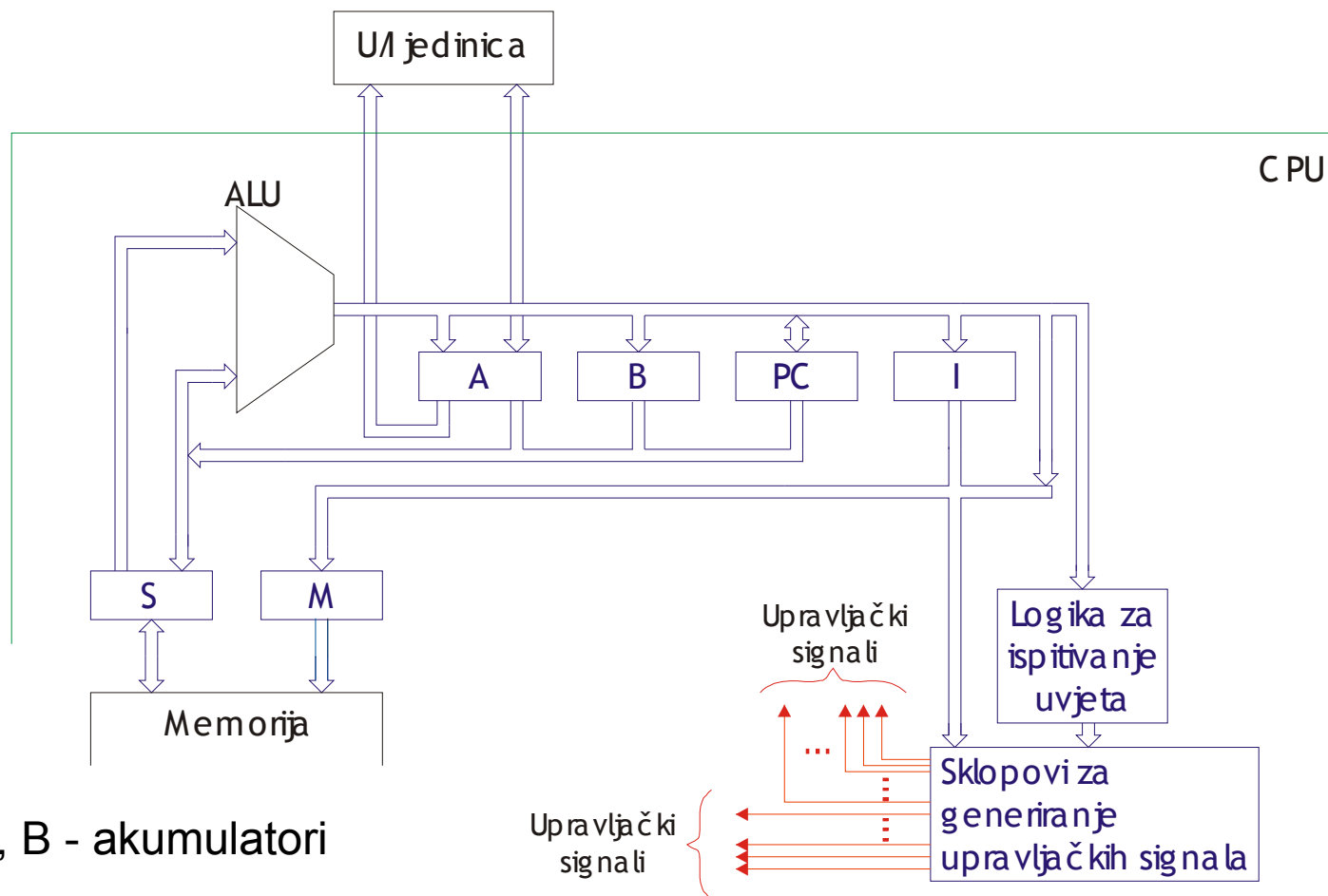
Operandi von Neumannovog računala **duljine 40 bita (!?)**

Zašto?

40 bita dopušta točnost računanja na dvanaest decimala:

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

A. W. Burks, H. H. Goldstein, J. Neumann razmatraju i aritmetiku brojeva s pomičnim zarezom ali zbog složenosti potrebnog sklopovlja odustaju od te mogućnosti.



A, B - akumulatori

S - memorijski registar podataka

M – memorijski adresni registar (MAR)

PC – programsko brojilo (izvorno CC – Control Counter)

I - instrukcijski registar (izvorno FR – Function Table Register)

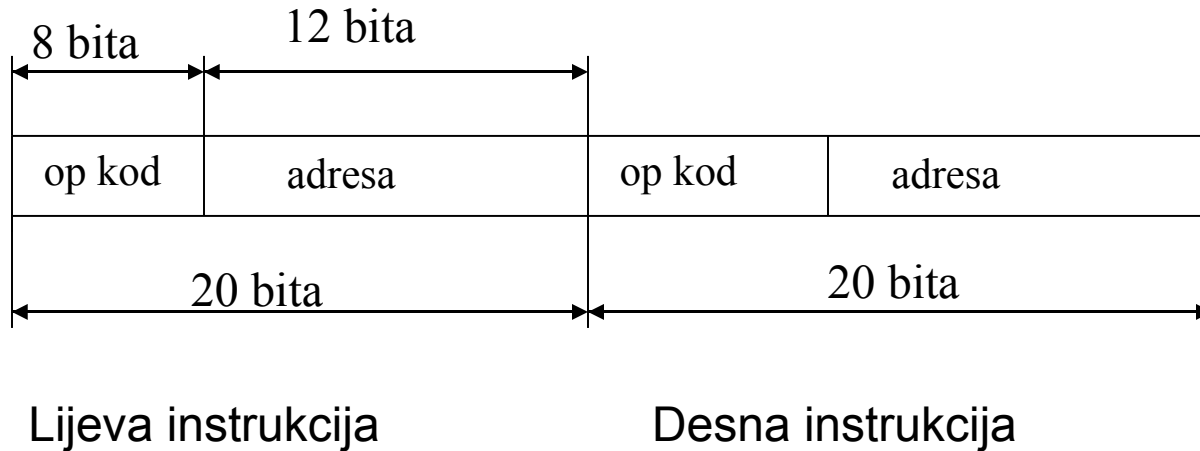
2.4. Upravljačka jedinica

- 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 predloženi 40-bitnim kodom).

Strojne instrukcije duljine 20 bita.

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



Zašto?

Von Neumanov procesor – akumulatorsko orijentiran procesor

Binarna operacija, npr. $C=A+B$ $C= f(A, B)$ u načelu zahtijeva 3 spremnika – 2 kao izvorišta operanada i 1 kao ponor (odredište rezultata)

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

Nužnost: Instrukcije za premještanje podataka – inicijalan podatak u A je “izgubljen” nakon operacije

Instrukcije von Neumannovog procesora su **jednoadresne**.

operacijski kod	adresa memorijske lokacije
-----------------	----------------------------

(RISC procesori – troadresne instrukcije (logičke i aritmetičke))

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.

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 (op kod) čije je izvođenje u tijeku.

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

I je nosio oznaku FR (*Function Table Register*)

Skup strojnih instrukcija:

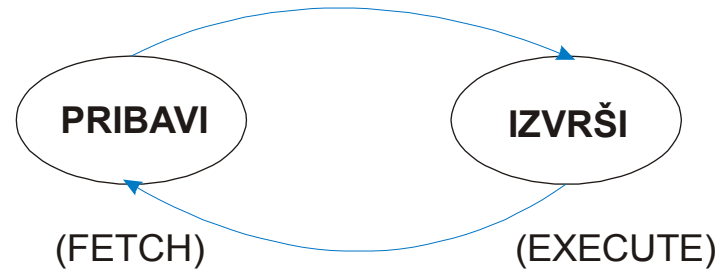
- Aritmetičke i logičke instrukcije
- Instrukcije za prijenos podataka
- Instrukcije uvjetnog i bezuvjetnog grananja
- Ulazno-izlazne instrukcije
- Instrukcije s djelomičnom zamjenom
(objasniti zašto su instrukcije s djelomičnom zamjenom napuštene)

Von Neumanov procesor – akumulatorsko orijentiran procesor
(objasniti odnos akumulatorsko i registarsko orijentiranih procesora)

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

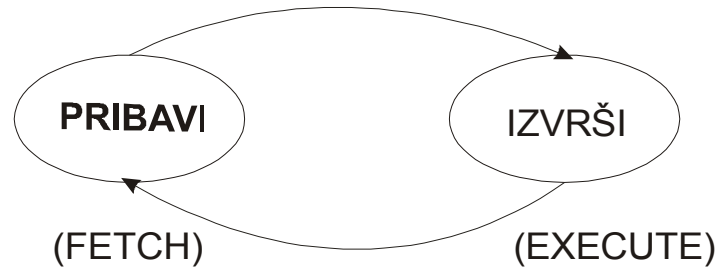
U von Neumannovom procesoru – $A = f(A, M)$
 A – akumulator, M – memorijska lokacija

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



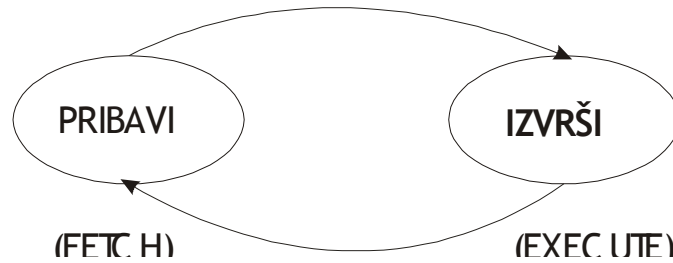
PRIBAVI – tijekom te faze upravljačka jedinica **dohvaća** (pribavlja) **instrukciju** iz memorije

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: ...
- -
 -

Objasniti kako se razlikuju instrukcije od podatka!

(Instrukcije i podaci su pohranjeni u istoj memoriji i u binarnom kodu).

START

Postavi programsko brojilo
na adresu prve instrukcije

Sadržaj programskog brojala
se prenosi glavnoj memoriji

Povećava se sadržaj
programskog brojala za 1

Čita se riječ iz memorije i
prenosi se procesoru

A

DA

Da li je to
prva riječ (operacijski kod)
instrukcije?

NE

Operacijski kod se
smještava u instruk.
registar i dekodira se

Riječ se smještava u
interni registar procesora

NE

Da li su
pribavljene sve riječi
instrukcije ?

DA

Izvrši instrukciju

FAZA PRIBAVI

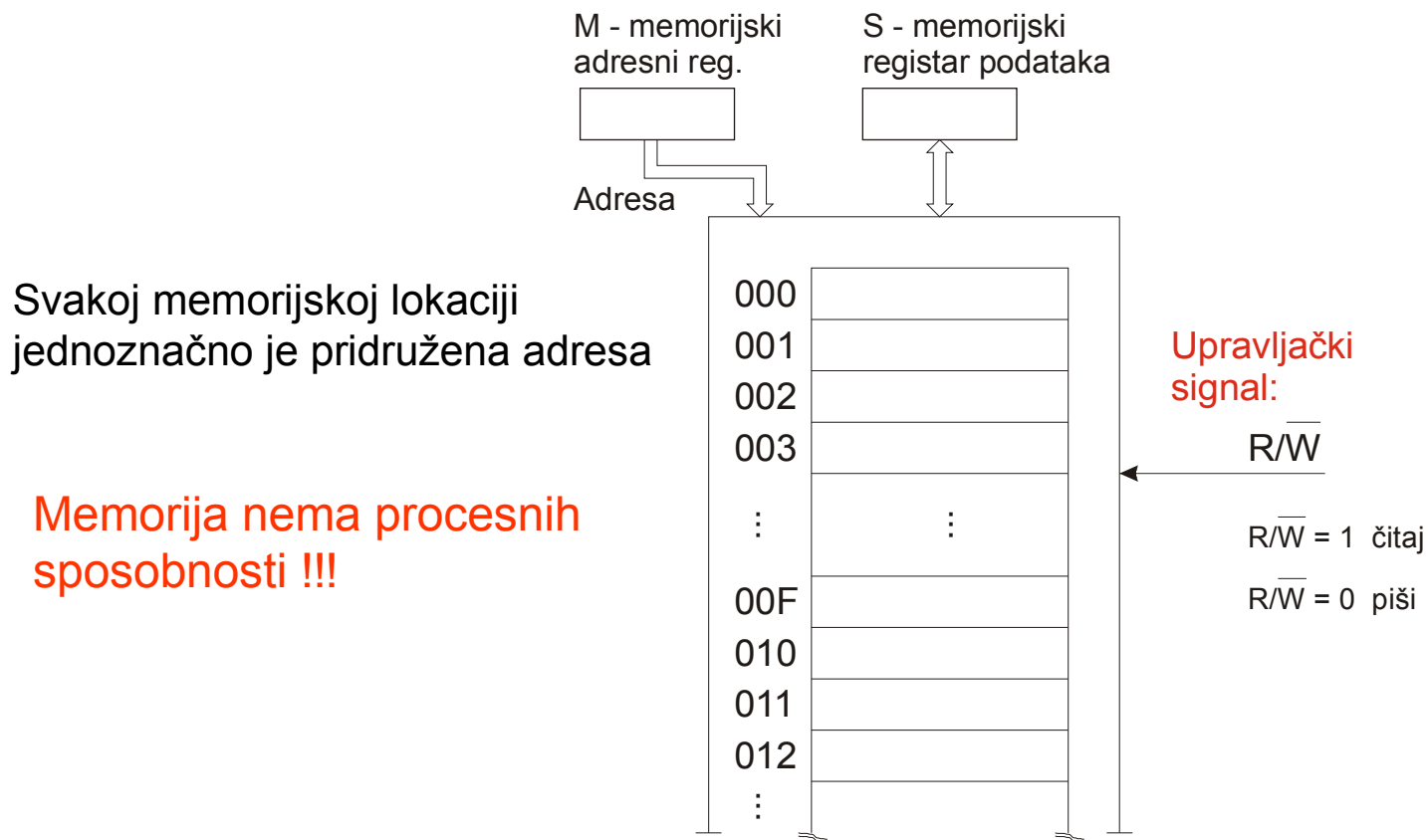
FAZA IZVRŠI

2.5. Memorija

“Jasno je da je veličina memorije kritična komponenta u oblikovanju računala opće namjene... Rješavanje parcijalnih diferencijalnih jednažbi postavlja prilično velike zahtjeve u pogledu kapaciteta memorije...”

J. Neumann

Model memorije von Neumannovog računala



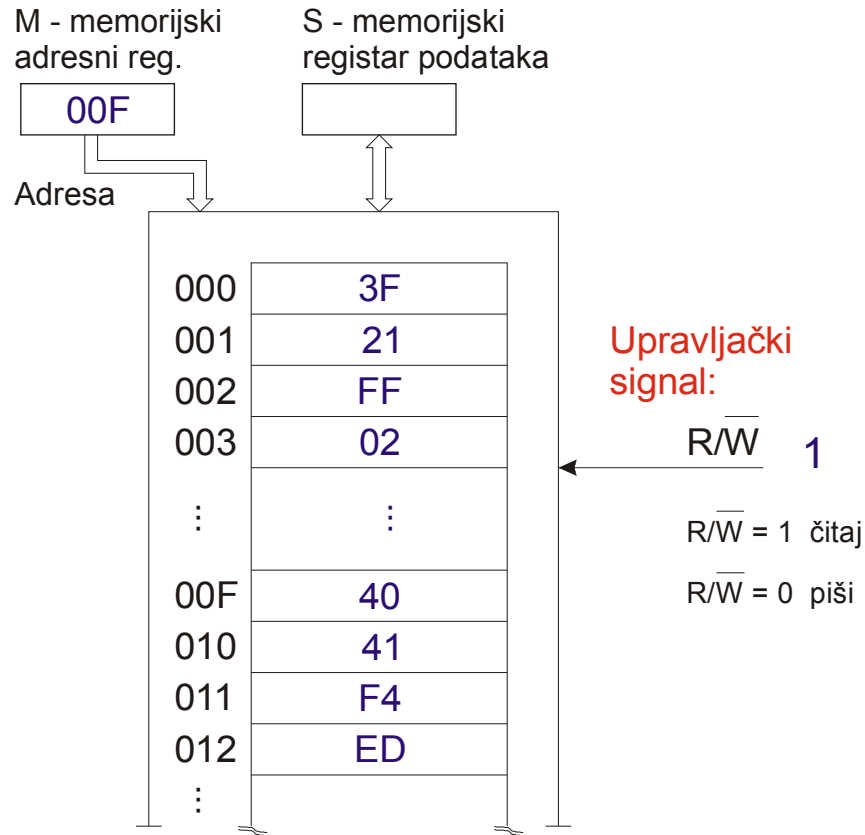
Memorijska jedinica – **prateći modul** (*Slave Module*)

Procesor – **vodeći modul** (*Master Module*)

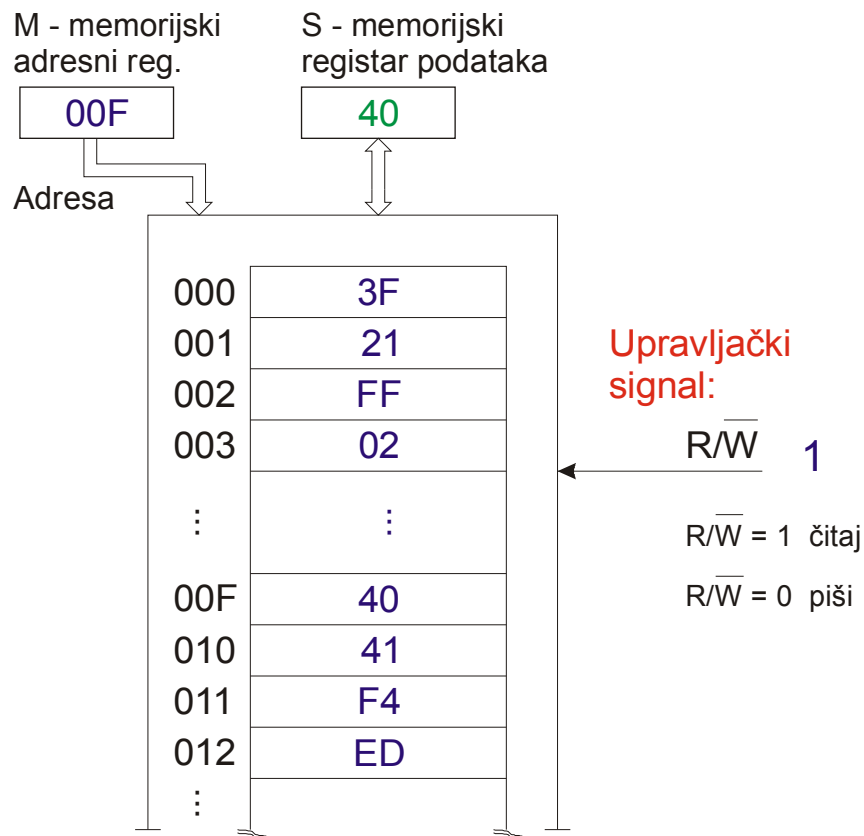
Operacija **Čitanja** ($R/\overline{W} = 1$)

Adresa \rightarrow M

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



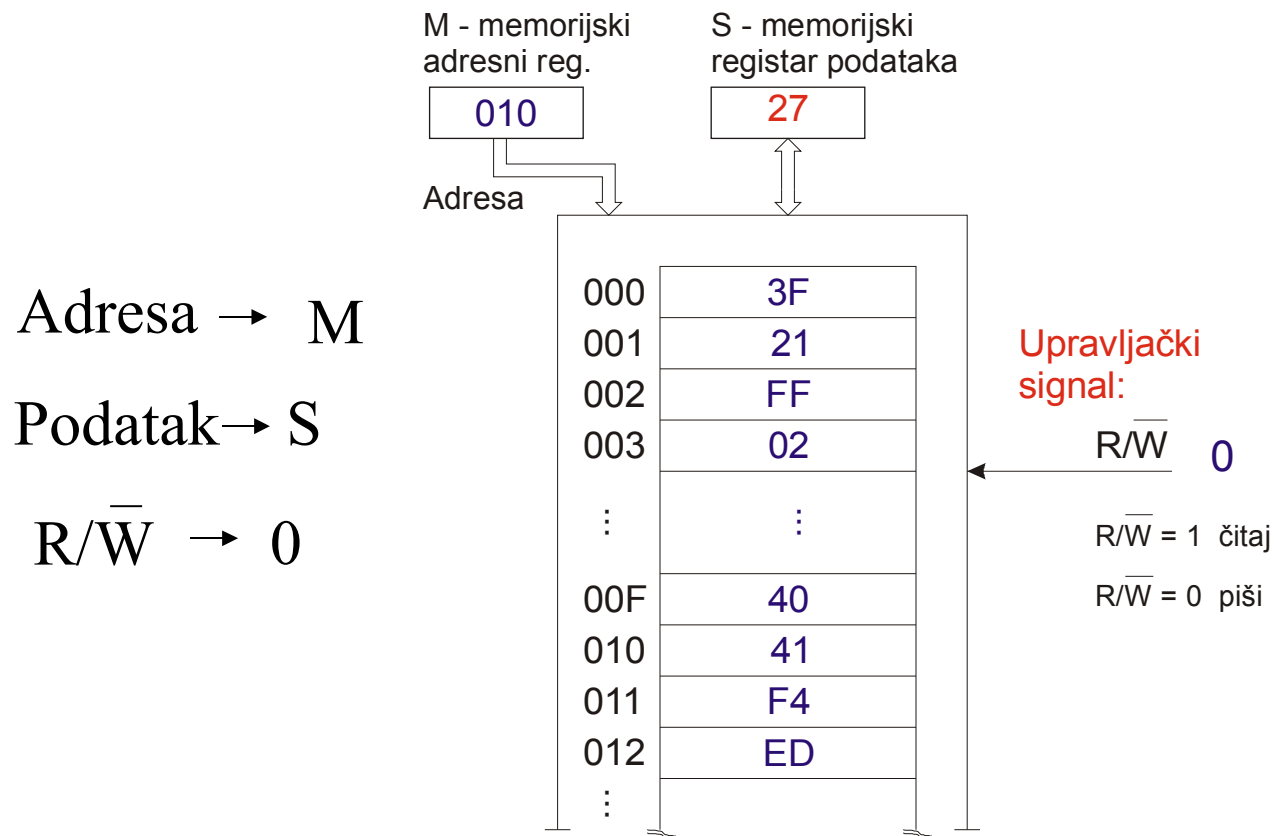
Stanje memorije nakon isteka vremena pristupa memoriji



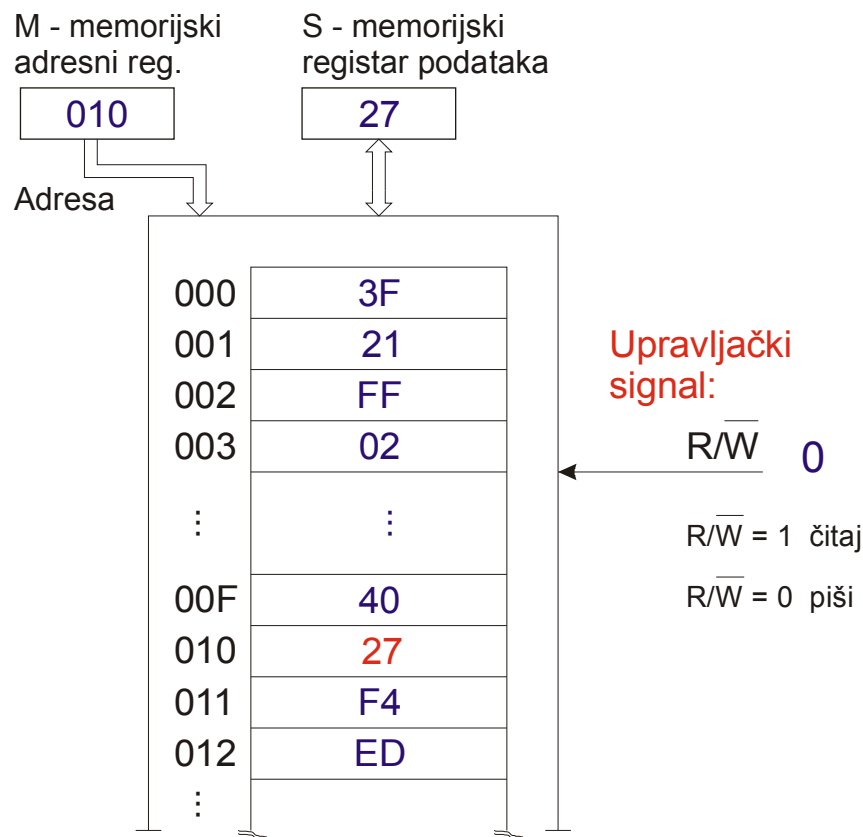
Podatak s memorijske lokacije 00F je “preslikan” u memorijski registar podataka

POZOR: Operacija čitanja je nedestruktivna operacija!

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



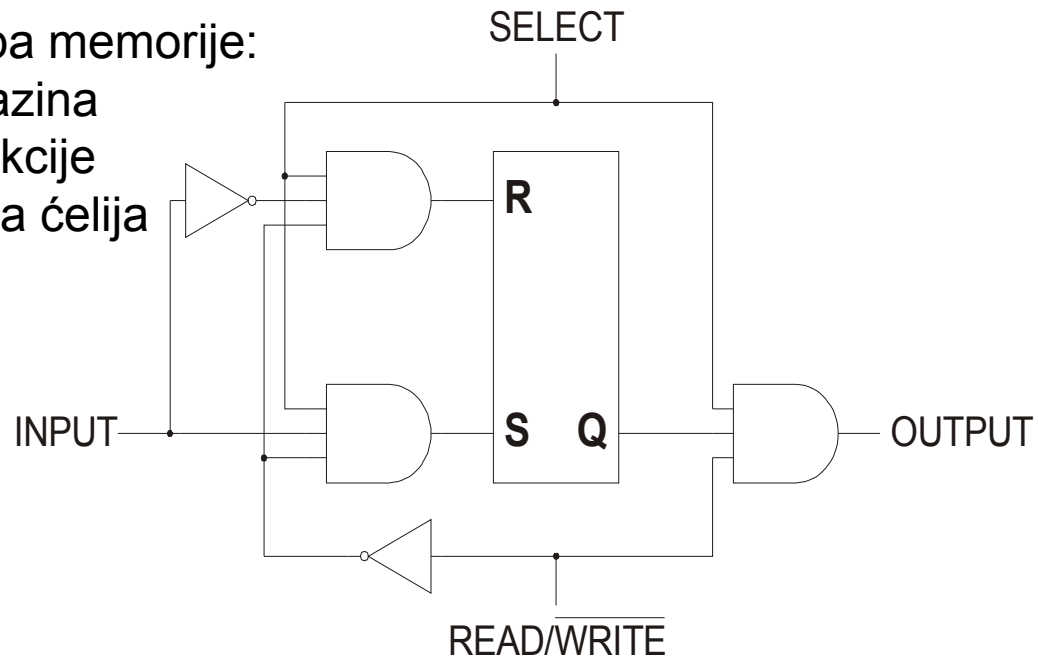
Stanje memorije nakon isteka vremena pristupa memoriji



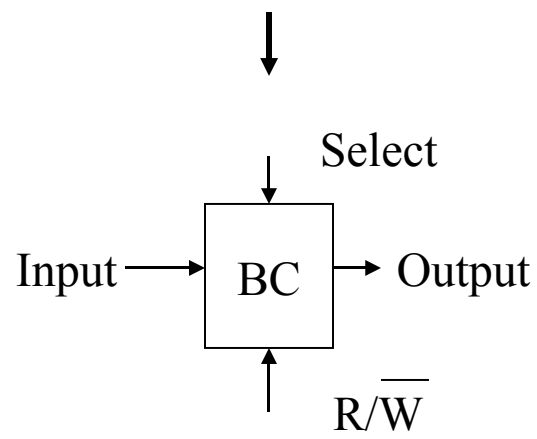
Podatak iz registra S je “preslikan” u memorijsku lokaciju koja ima adresu 010

POZOR: Operacija pisanja je destruktivna operacija!

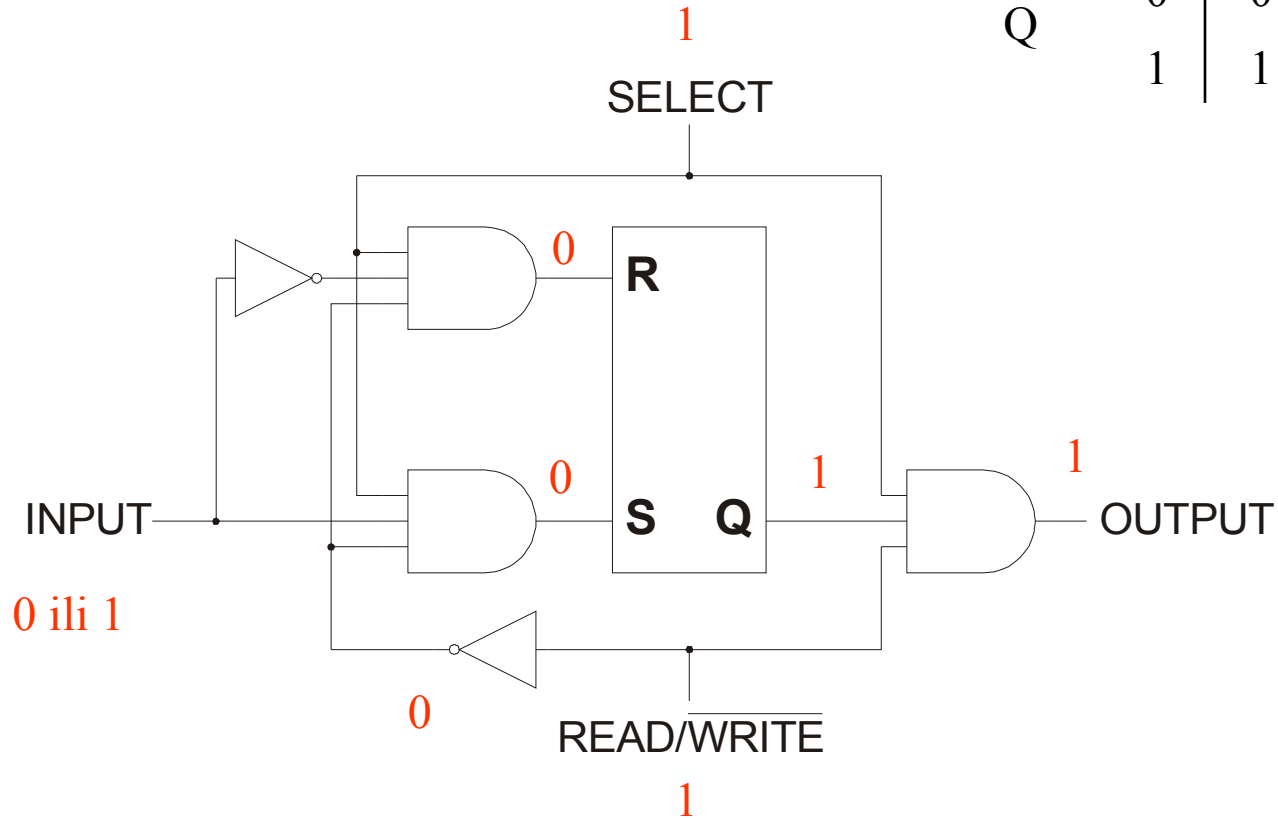
Izvedba memorije:
 niža razina
 apstrakcije
 binarna ćelija
 BC



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

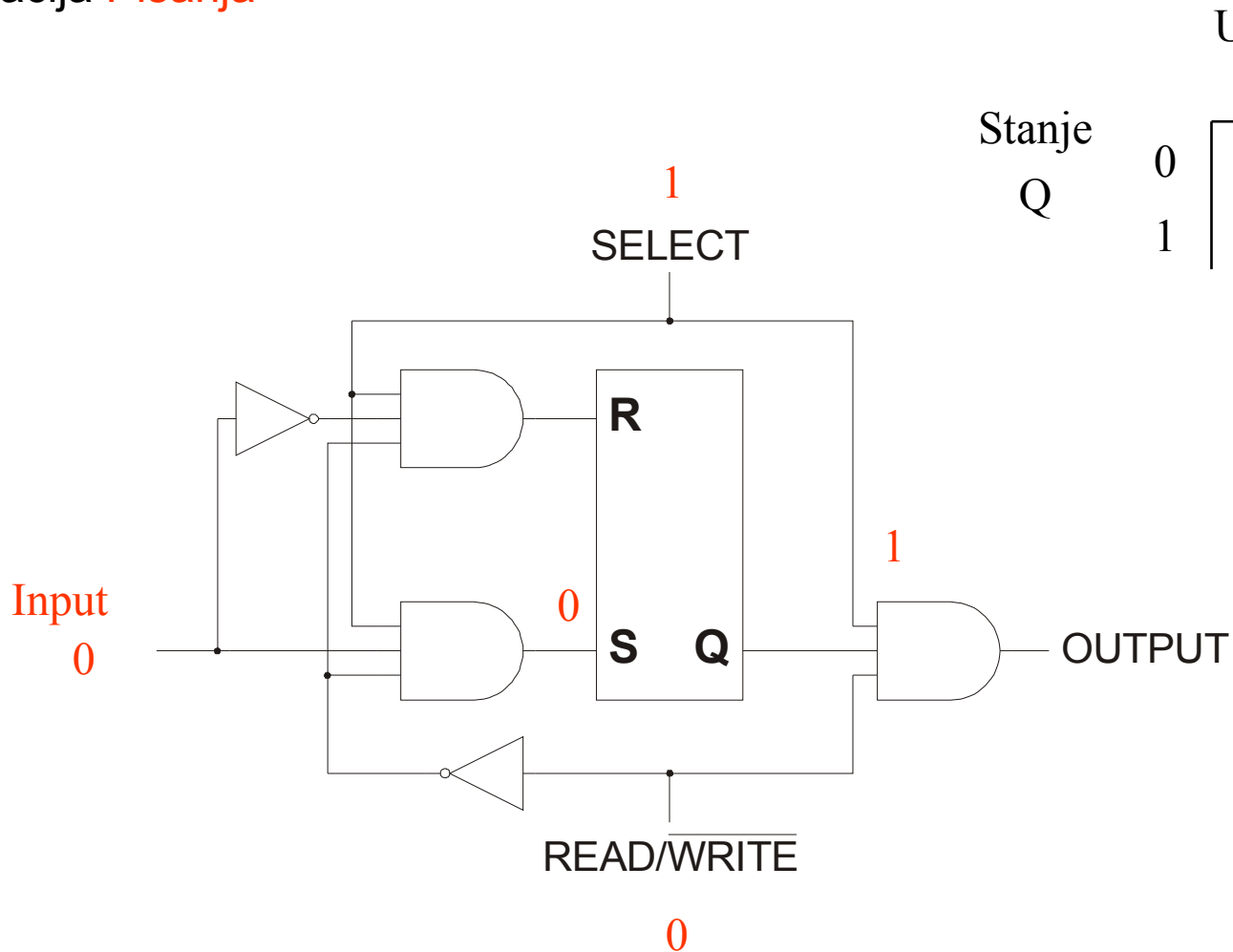


Operacija Čitanja



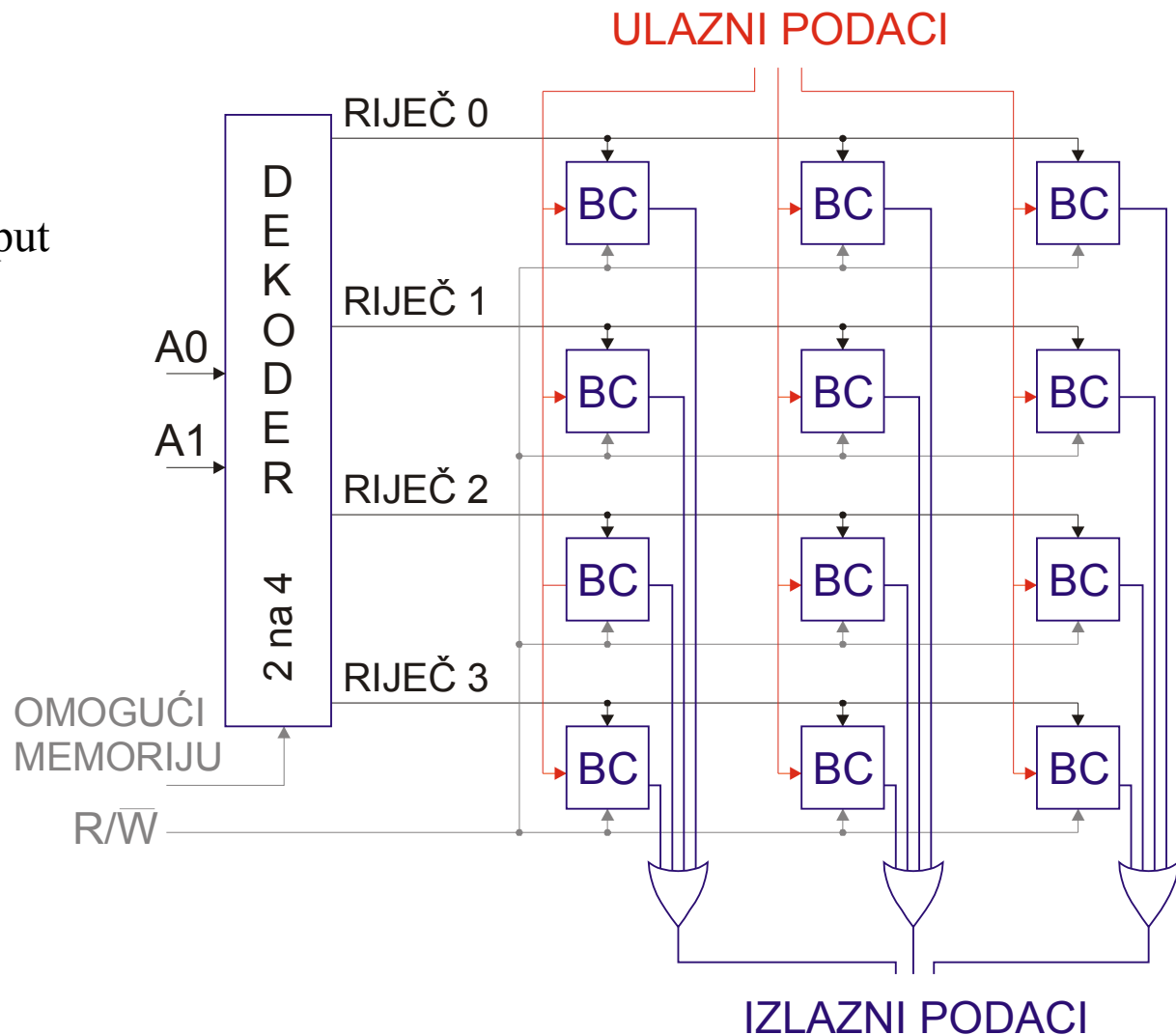
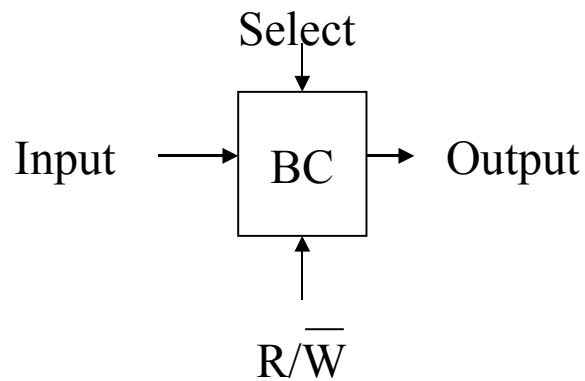
(Ilustrirati “nedestruktivnost operacije čitanja”)

Operacija Pisanja



(Ilustrirati “destruktivnost” operacije pisanja)

Izvedba memorije 4 x 3 bita



Zadatak:

4. Nacrtajte izvedbu memorije 16 x 4 bita uporabom BC ćelija i priključite tako oblikovan modul na 16-bitnu adresnu sabirnicu tako da je početna adresa memorije 8000.

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:

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

2.6. Ulazno-izlazna jedinica

Grafička prikazna jedinica - cijev *Selectron* (tvrtka RCA)

logička “1” – svjetlo polje

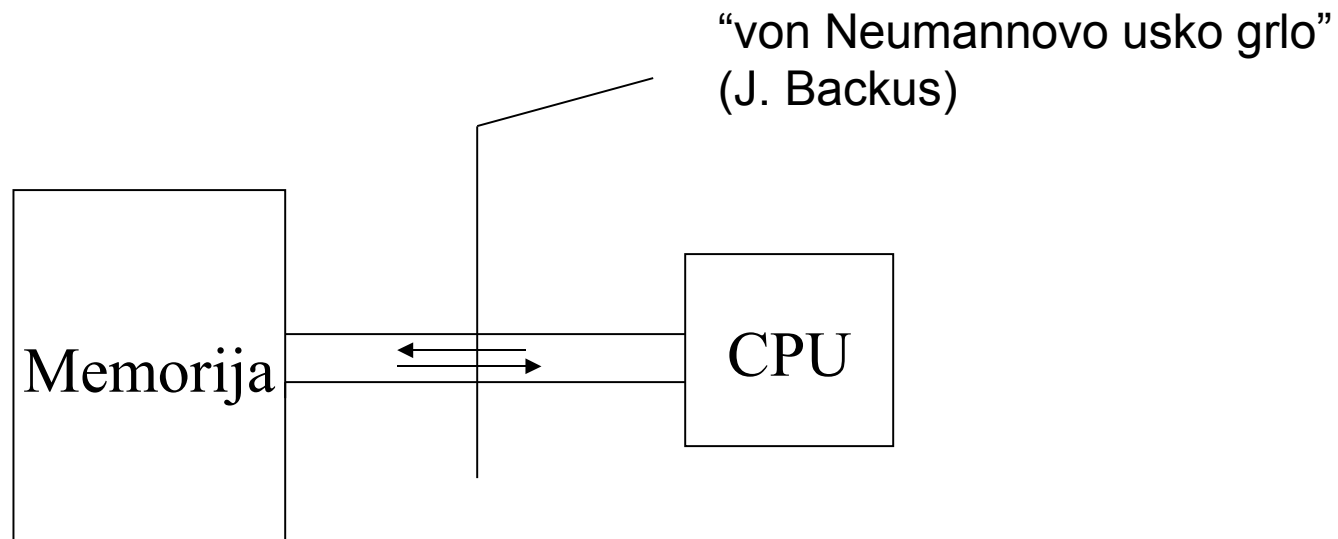
logička “0” – tamno polje

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 je von Neumannovo računalo SISD kategorije arhitekture? (SISD – Single Instruction Stream Single Data Stream)



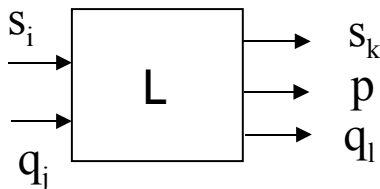
Opaska: J. Backus –"otac" FORTRANA

2.7. Usporedba TS-a i von Neumannovog modela računala

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)!

Zadatak:

5. Pročitati poglavlje “Tip arhitekture SISD – Von Neumannovo računalo” u knjizi S. Ribarić, Arhitektura računala, Školska knjiga, Zagreb, 2004. (stranice 28 – 47).