



8. Programirljivi moduli (1)



Sadržaj predavanja

- **koncept programirljivih modula**
- permanentna memorija
- programirljivo logičko polje
- poluprogramirljivo logičko polje
- složeni programirljivi moduli
- programirljivo polje logičkih blokova



Koncept programirljivih modula

- *programirljivi* moduli
 - ~ "programirljive naprave", PLD
(engl. Programmable Logic Devices):
 - ostvarivanje složenije funkcije koja *nije* unaprijed određena
~ moduli opće namjene
 - mogućnost *naknadnog* "programiranja"
~ konfiguriranje sklopa u smislu određivanja
"izvana opazivog ponašanja":
 - u posebnim uređajima
 - unutar uređaja u kojem se modul koristi



Koncept programirljivih modula

- struktura složenija (puno "logike"), ali *nije* fiksirana:
 - logički sklopovi ("vrata", engl. gates)
ili skupovi logičkih sklopova (~ "logički blokovi")
 - tvornički izvedeni kontakti ili *programirljive sklopke*:
 - različita povezivanja logičkih sklopova
 - konfiguriranje skupova logičkih sklopova
unutar modula
 - osnovna struktura
~ dvodimenzijско polje dekodek-koder:
permanenta memorija



Koncept programirljivih modula

- podjela programirljivih modula:
 - jednostavni PLD (engl. Simple PLD, SPLD):
 - programirljivo logičko polje, PLA
 - poluprogramirljivo logičko polje, PAL
 - složeni PLD (engl. Complex PLD, CPLD)
~ *više programirljivo povezanih* SPLD u modulu
 - programirljiva polja logičkih blokova
(engl. Field Programmable Gate Arrays, FPGA)
~ *veliki broj* programirljivo povezanih
programirljivih logičkih blokova



Sadržaj predavanja

- koncept programirljivih modula
- **permanentna memorija**
 - **funkcionalnost i struktura**
 - **tehnologija izvedbe**
 - **ostvarivanje Booleovih funkcija**
 - **karakteristične primjene**
- programirljivo logičko polje
- poluprogramirljivo logičko polje
- složeni programirljivi moduli
- programirljivo polje logičkih blokova



Permanentna memorija

- funkcijski pogled
 - ~ sklop s *permanentno* upisanim sadržajem: *memorija*
 - jedan upis (obično pri proizvodnji), ostalo čitanje
 - ~ ispisna memorija:
"samo-se-čita", ROM (engl. Read Only Memory)
 - može i više upisa, ali *zanemarivo malo* u odnosu na broj čitanja
- izvedba
 - ~ *kombinacijski* sklop
 - podatak upisan nekom vrstom "ožičenja"
 - mogućnost "programiranja"

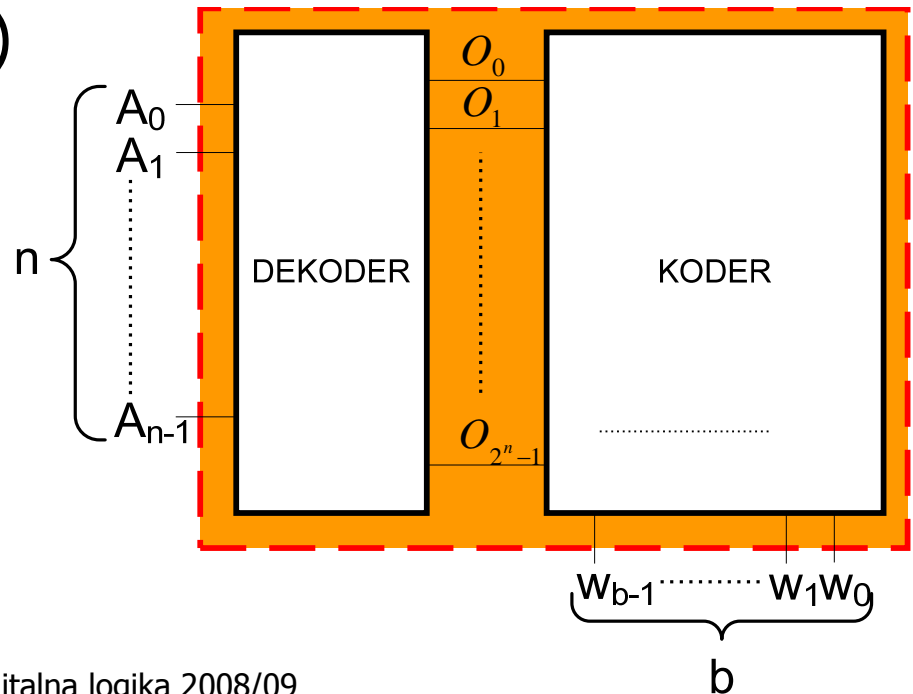


Permanentna memorija

- karakteristična struktura
~ *dva* polja:
 - ulazno ili *dekodersko* polje:
 - generiranje potrebnog broja internih adresnih linija
 - potpuno adresiranje: "1-od- 2^n "
 - dekodeer
~ I sklopovi na izlazima \rightarrow *I polje*
 - izlazno ili *kodersko* polje:
 - generiranje bitova adresirane "riječi"
~ aktiviranje željenih izlaza:
"kodiranje" pojedinih simbola
 - koder
~ ILI sklopovi na izlazima \rightarrow *ILI polje*
(izlaz = podatak1 ILI podatak2 ILI ...)

Permanentna memorija

- karakteristična struktura:
 - dva polja
 - broj "memorijskih riječi" = 2^n
 - broj bitova/riječ = b
 - kapacitet: $W = 2^n \times b$
- programiranje (*kodera!*)
 - ~ upis uzorka 1 i 0
 - \forall memorijsku riječ



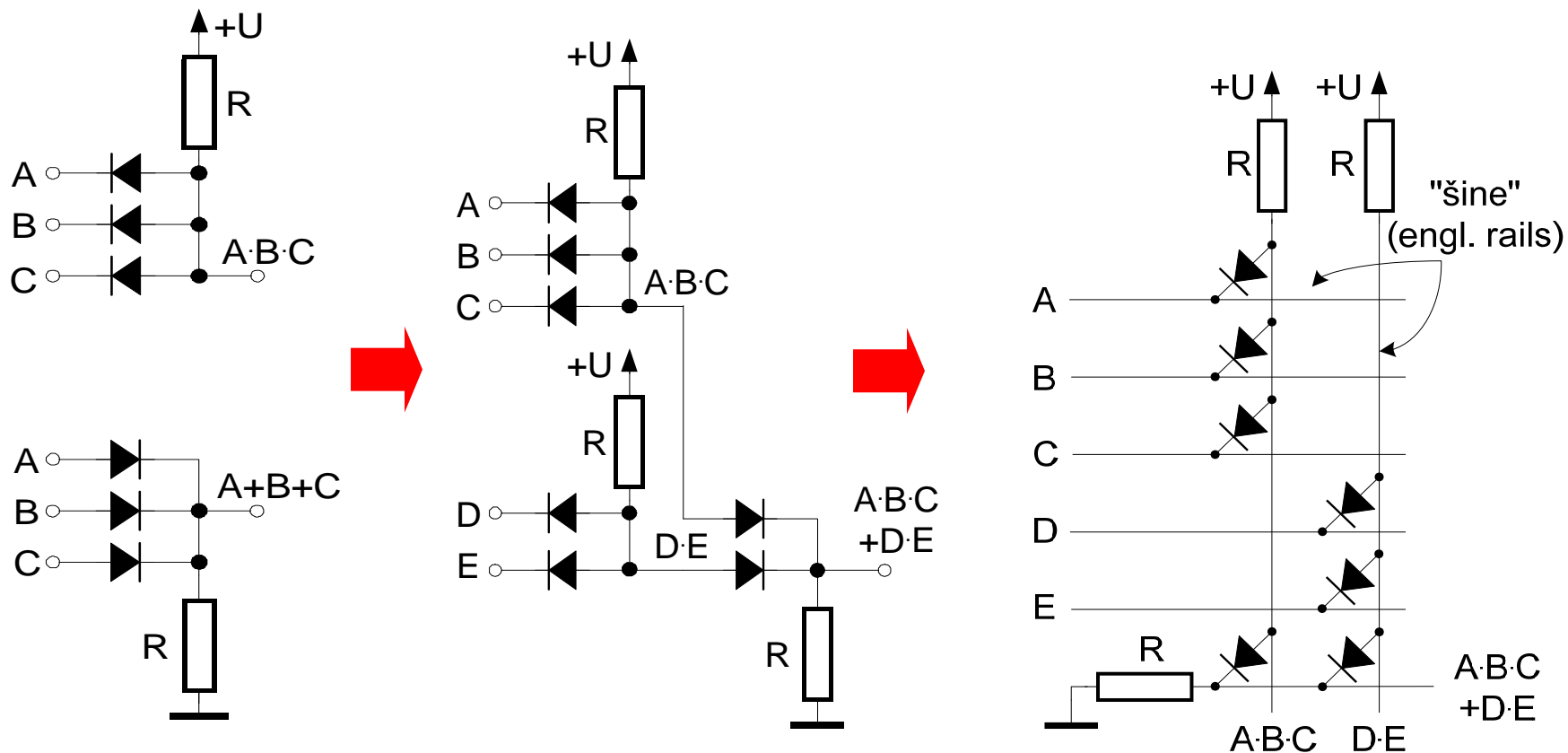


Permanentna memorija

- karakteristična struktura s *dva* polja
~ izvorno *diodna matrica*
 - osnovni logički sklopovi ostvareni *diodnim mrežama*
 - struktura tipa funkcije drugog reda (suma minterma)
~ oblik ILI-I
 - električka funkcija dioda
~ onemogućiti *povratno* djelovanje
s drugih "šina" (engl. rails)
 - suvremene strukture
~ *poopćenja* diodne matrice

Permanentna memorija

- izvedba diodne matrice iz diodnih sklopova I i ILI





Permanentna memorija

Zadatak: temeljeći sa na izvedbi permanentne memorije diodnom mrežom nacrtati:

- sklop 1-bitnog potpunog zbrajala
- sklop 1-bitnog potpunog odbijala
- sklop 1-bitnog potpunog zbrajala/odbijala
(uputa: predvidjeti upravljačku varijablu K za odabir zbrajanja ($K = 0$), odnosno oduzimanja ($K = 1$))
- na raspolaganju su varijable i komplementi

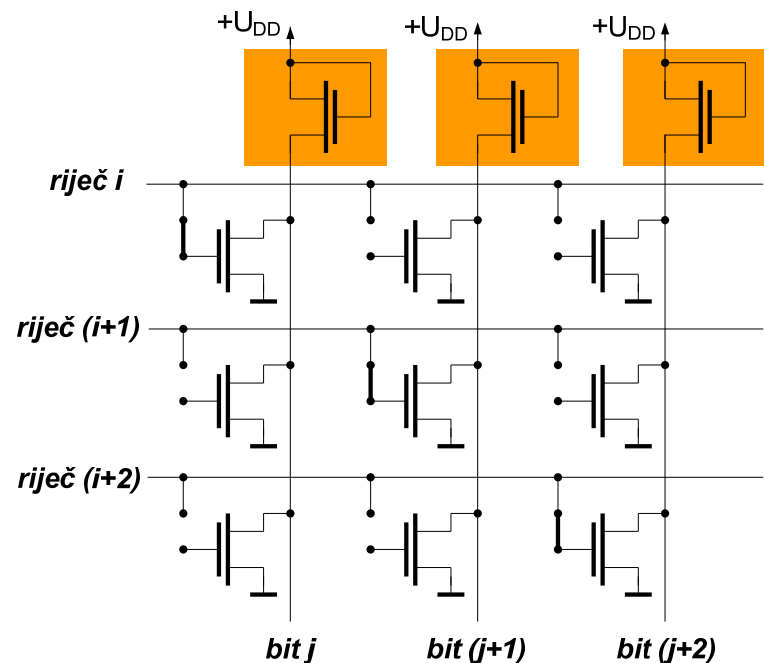


Permanentna memorija

- izvedbe ~ tehnologija:
 - bez mogućnosti programiranja, ROM
 - s mogućnošću jednokratnog programiranja, PROM (engl. Programmable ROM)
 - s mogućnošću *višekratnog* programiranja i brisanja UV svjetlom, EPROM (engl. Erasable PROM)
~ kućište sa staklenim prozorčićem
 - s mogućnošću višekratnog programiranja i brisanja *električkim* putem, EAROM (engl. Electrically Alterable ROM), EEPROM (engl. Electrically EPROM)

Permanentna memorija

- "klasična" permanentna memorija, ROM:
 - uobičajena tehnologija
~ MOSFET
 - programiranje u proizvodnji:
~ zadnja se maska
izrađuje po narudžbi
i sadrži potrebne veze
 - $t_a \sim 100 \text{ ns}$

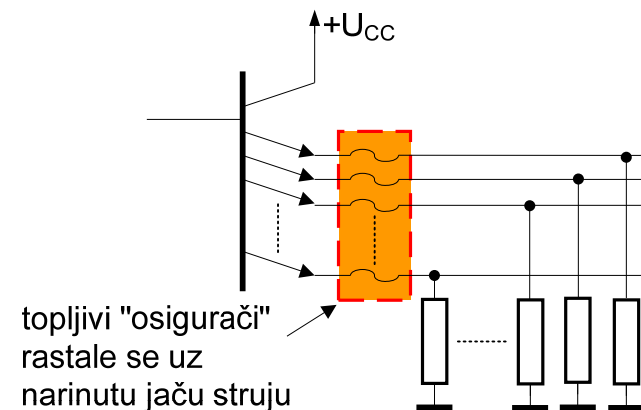


Zadatak: temeljeći sa na izvedbi permanentne memorije MOSFET tranzistorima nacrtati:

- sklop 1-bitnog potpunog zbrajala
- sklop 1-bitnog potpunog oduzimala
- sklop 1-bitnog potpunog zbrajala/oduzimala
(uputa: predvidjeti upravljačku varijablu K za odabir zbrajanja ($K = 0$), odnosno oduzimanja ($K = 1$))

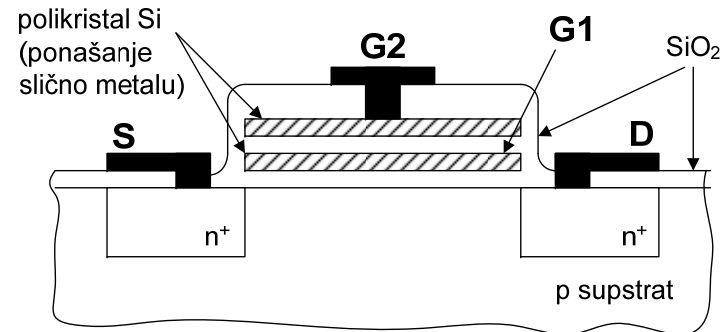
Permanentna memorija

- s mogućnošću *jednokratnog* programiranja, PROM:
 - bipolarna tehnologija, tipično TTL
~ višeemitterski tranzistor
 - za male serije
~ programiranje "na licu mjesta" (engl. in-the-field)
 - programiranje
~ jačom strujom ($U_B \gg$)
 - $t_a \sim 30 \div 50$ ns



Permanentna memorija

- s mogućnošću *višekratnog* programiranja i brisanja *UV svjetlom*, EPROM:
 - tehnologija MOSFET
 - ~ posebna izvedba NMOS tranzistora "s lebdećom elektrodom", FAMOS (engl. Floating-gate Avalanche Injection MOS)
 - programiranje
 - ~ $U_{G2D} \sim 25 \text{ V}$
prodor elektrona u G_1 *lavinskim probojem*
 - $t_a \sim 200 \text{ ns}$

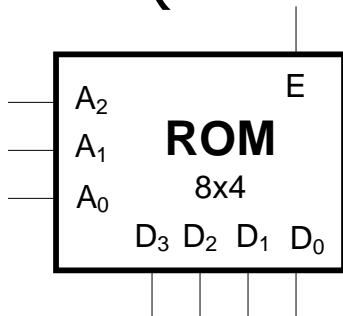


Permanentna memorija

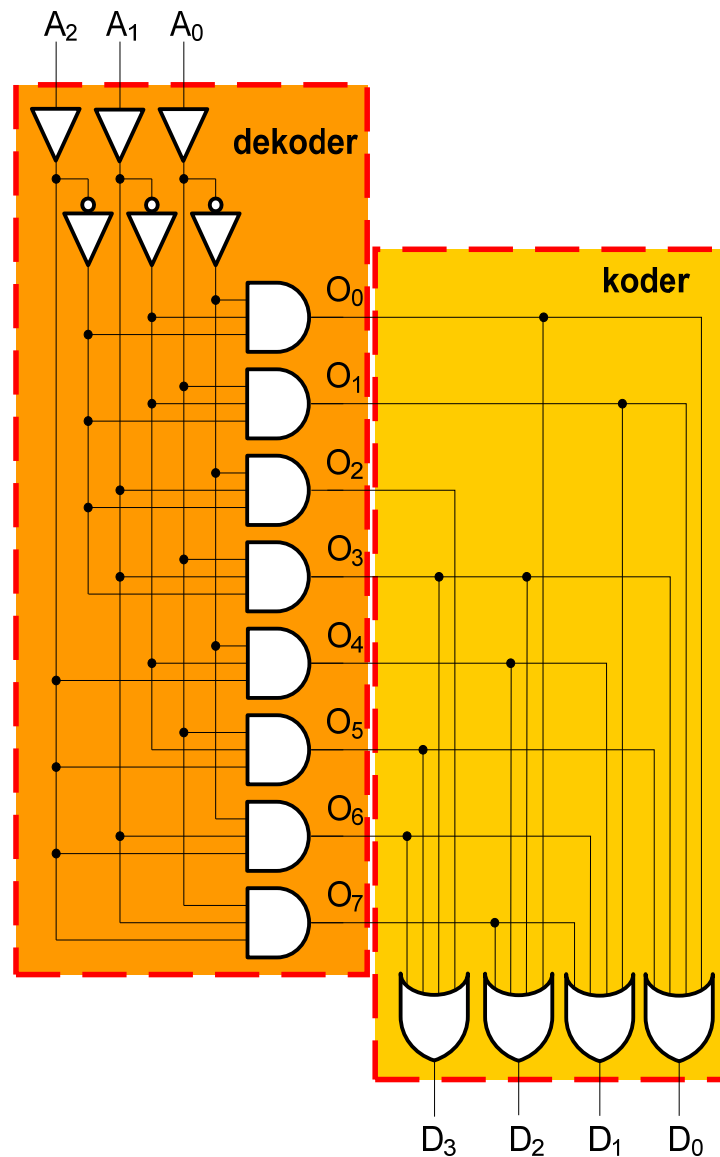
- s mogućnošću *višekratnog* programiranja i brisanja *električkim putem*, EAROM, EEPROM:
 - izbjeći probleme EPROM
 - ~ dugo brisanje cijelog sadržaja u posebnom uređaju
 - smanjen razmak G_1 i D
 - ~ upisivanje i brisanje podatka *tuneliranjem*
(upis: $U_{G2D} \sim 10 \text{ V}$, brisanje: $U_{G2D} \sim -10 \text{ V}$)
 - $t_a \sim 250 \text{ ns}$

Permanentna memorija

Primjer: ROM s 8 4-bitnih riječi
(ROM 8x4)

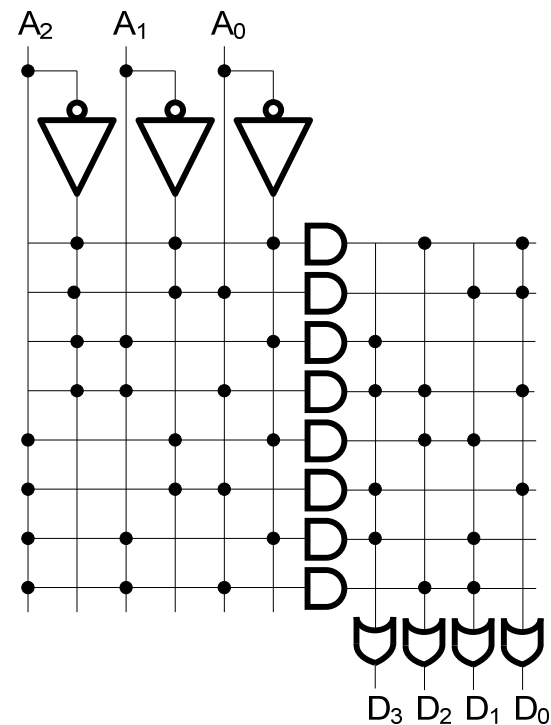
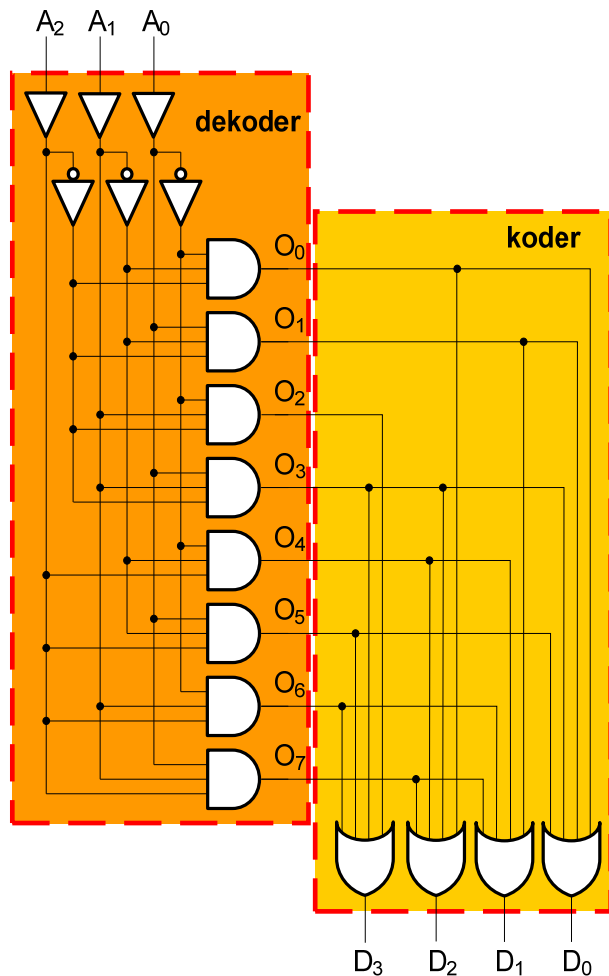


riječ	A ₂	A ₁	A ₀	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
0	0	0	0	0	1	0	1
1	0	0	1	0	0	1	1
2	0	1	0	1	0	0	0
3	0	1	1	1	1	0	1
4	1	0	0	0	1	1	0
5	1	0	1	1	0	0	1
6	1	1	0	1	0	1	0
7	1	1	1	0	1	1	0



Permanentna memorija

- polje = matrica
~ *matrični prikaz*





Permanentna memorija

- primjena ROM:
 - pohranjivanje značajnih podataka važnih za rad cjelokupnog digitalnog sustava (npr. računalno)
 - pohranjivanje sustavskih programa
 - upravljačka memorija kod *mikroprogramiranja*
~ posebna izvedba upravljačke jedinice procesora
 - pretvorba koda
~ naročito generatori znakova za rasterske prikaze (zasloni, matrični pisači)
 - aritmetički sklopovi:
~ izvedbe tablica posebnih funkcija (npr. trigonometrijske)
- *problem*
~ ROM je *sporiji*, jer ima više razina logike



Permanentna memorija

Zadatak: permanentnom memorijom ostvariti slijedeće pretvornike koda:

- BCD u 2421
- BCD u 7-segmentni
- koji su parametri (broj riječi x broj bitova/riječ) potrebnih permanentnih memorija?



Permanentna memorija

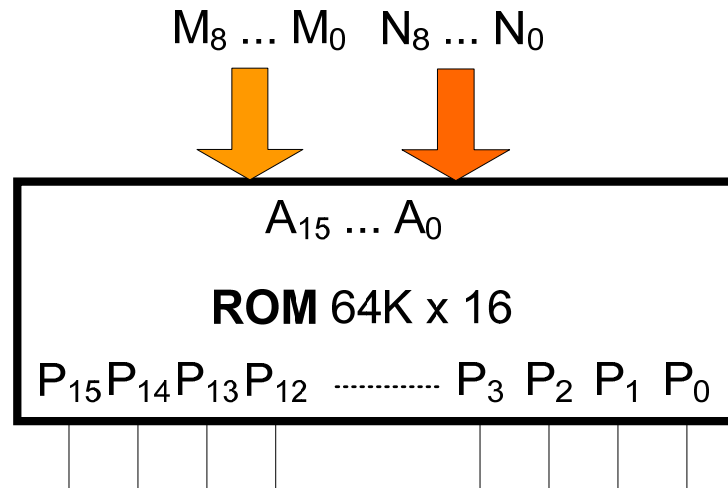
Primjer: sklop za množenje 8-bitnih brojeva

- tablica množenja ugrađena u ROM
~ *pregledna tablica* (engl. Look-Up Table, LUT)
- efikasnija izvedba:
 - *kombinacija* izvjesnog broja ROMova značajno manjeg kapaciteta (parcijalni produkti) i zbrajala
 - veća kašnjenja!

Permanentna memorija

- množenje 8-bitnih brojeva
~ potreban kapacitet *prevelik*:

$$C = (8 + 8) \cdot 2^{8+8} = 2^4 \cdot 2^{16} = 2^{20} = 1Mbit$$



Permanentna memorija

- "rastavljanje" multiplikanda i multiplikatora:

$$M = (m_7m_6m_5m_4) \cdot 2^4 + (m_3m_2m_1m_0) = m \cdot 2^4 + \Delta m$$

$$N = (n_7n_6n_5n_4) \cdot 2^4 + (n_3n_2n_1n_0) = n \cdot 2^4 + \Delta n$$

$$P = M \cdot N$$

$$= (m \cdot 2^4 + \Delta m) \cdot (n \cdot 2^4 + \Delta n) =$$

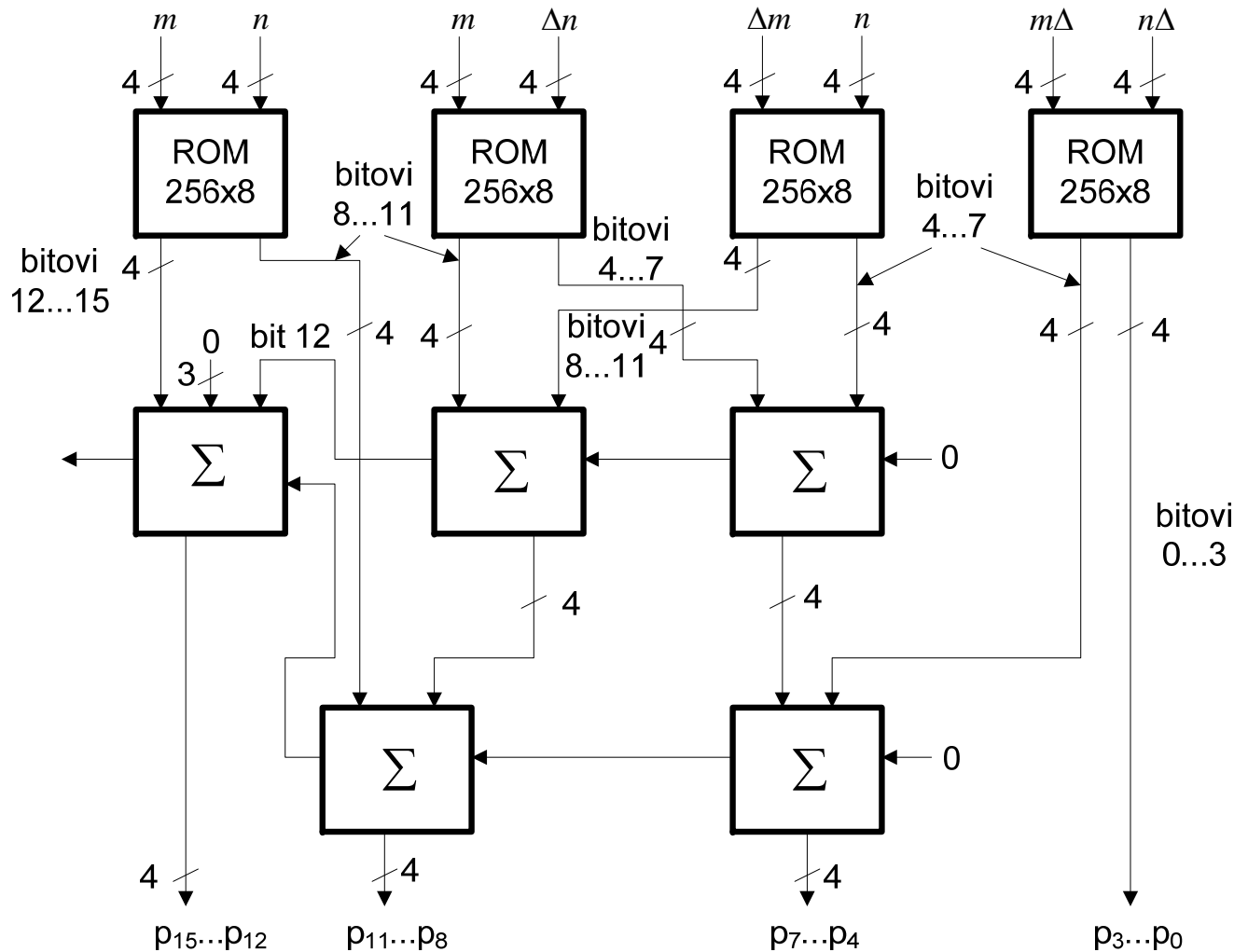
$$= (m \cdot n) \cdot 2^8 + (\Delta m \cdot n + m \cdot \Delta n) \cdot 2^4 + \Delta m \cdot \Delta n$$

- dovoljan puno manji kapacitet:

$$C' = (4 + 4) \cdot 2^{4+4} = 2Kbit; C_{ukupni} = 4 \cdot C' = 8Kbit$$

Permanentna memorija

- sklop zasnovan na kompoziciji manjih ROMova:

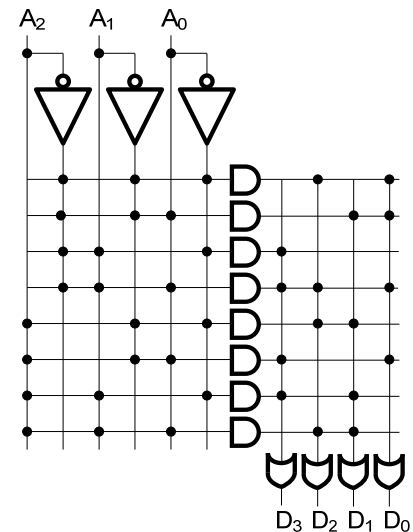


Permanentna memorija

- interpretacija podataka "pohranjenih" u ROM:
logičke funkcije (više njih!)

- svaki izlaz
~ jedna logička funkcija
- sve funkcije
~ višezlazna funkcija
- ROM
~ generator funkcija

$$f_i(A_2, A_1, A_0) = D_i \quad 0 \leq i \leq 3$$



$$f_0 = \sum m(0,1,3,5)$$

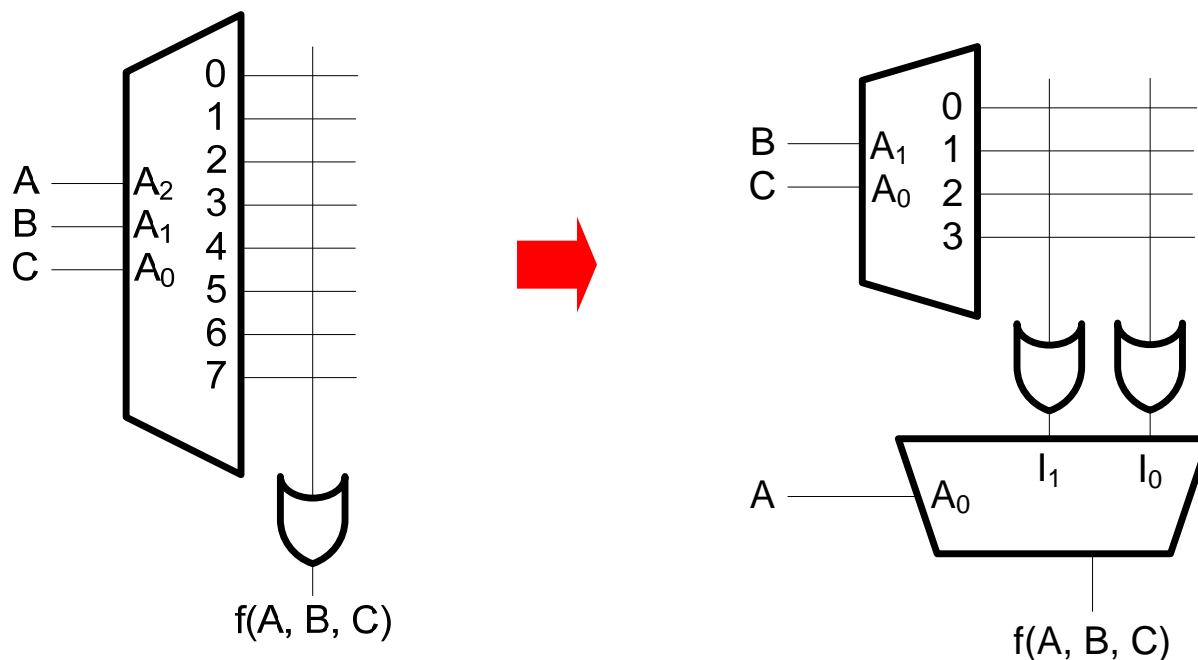
$$f_1 = \sum m(1,4,6,7)$$

$$f_2 = \sum m(0,3,4,7)$$

$$f_3 = \sum m(2,3,5,6)$$

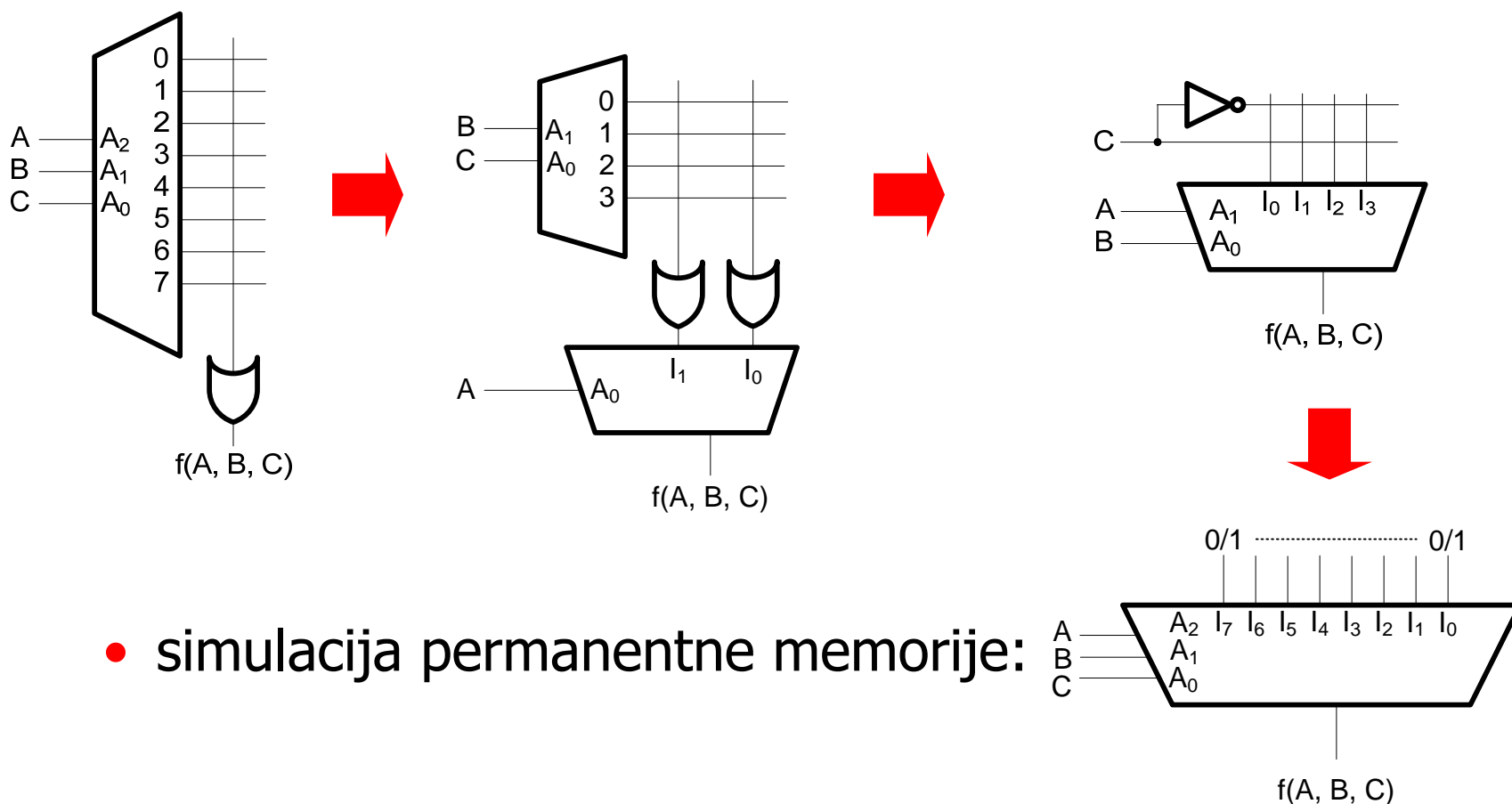
Permanentna memorija

- zapažanje
~ sklopovski povoljnije koristiti
raspodijeljeni dekodler (engl. split decoder)



Permanentna memorija

- razvoj ostvarivanja funkcija
raspodijeljenim dekodiranjem ROMa
~ ostvarivanje funkcija multipleksorom!



- simulacija permanentne memorije:

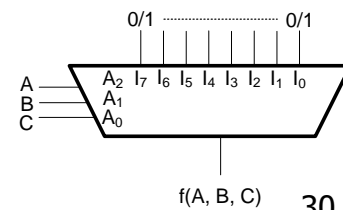
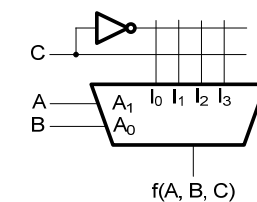
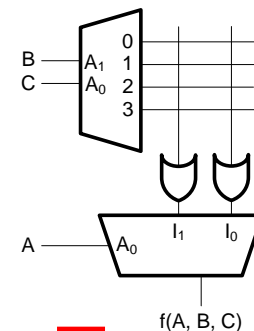
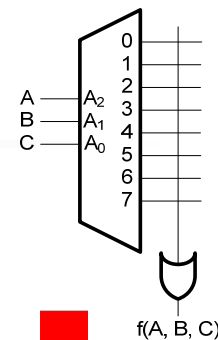
Permanentna memorija

- ostvarivanja funkcija ROMom i multipleksorom
~ *Shannonova ekspanzija*:

$$f(A, B, C) = f(0, B, C) \cdot \bar{A} + f(1, B, C) \cdot A$$

$$f(A, B, C) = f(0,0,C) \cdot \bar{A} \cdot \bar{B} + f(0,1,C) \cdot \bar{A} \cdot B \\ + f(1,0,C) \cdot A \cdot \bar{B} + f(1,1,C) \cdot A \cdot B$$

$$f(A, B, C) = f(0,0,0) \cdot \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + f(0,0,1) \cdot \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C \\ + f(0,1,0) \cdot \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} + f(0,1,1) \cdot \bar{A} \cdot B \cdot C \\ + f(1,0,0) \cdot A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + f(1,0,1) \cdot A \cdot \bar{B} \cdot C \\ + f(1,1,0) \cdot A \cdot B \cdot \bar{C} + f(1,1,1) \cdot A \cdot B \cdot C$$



Permanentna memorija

- parcijalne funkcije kod Shannonova ekspanzije u kojima je neki od literala fiksiran (0 ili 1)
~ kofaktori, rezidui (ostaci), rezidualne funkcije
npr. $\varphi_3(C), \varphi_2(C), \varphi_1(C), \varphi_0(C)$

$$\begin{aligned} f(A, B, C) = & f(0,0,C) \cdot \bar{A} \cdot \bar{B} + f(0,1,C) \cdot \bar{A} \cdot B \\ & + f(1,0,C) \cdot A \cdot \bar{B} + f(1,1,C) \cdot A \cdot B \end{aligned}$$

$$\varphi_0(C) = f(0,0,C)$$

$$\varphi_1(C) = f(0,1,C)$$

$$\varphi_2(C) = f(1,0,C)$$

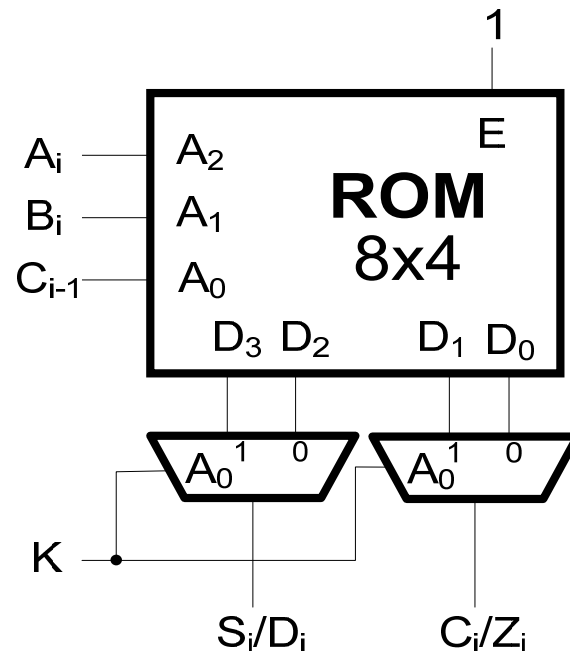
$$\varphi_3(C) = f(1,1,C)$$

Permanentna memorija

Primjer : potpuno zbrajalo/odbijalo

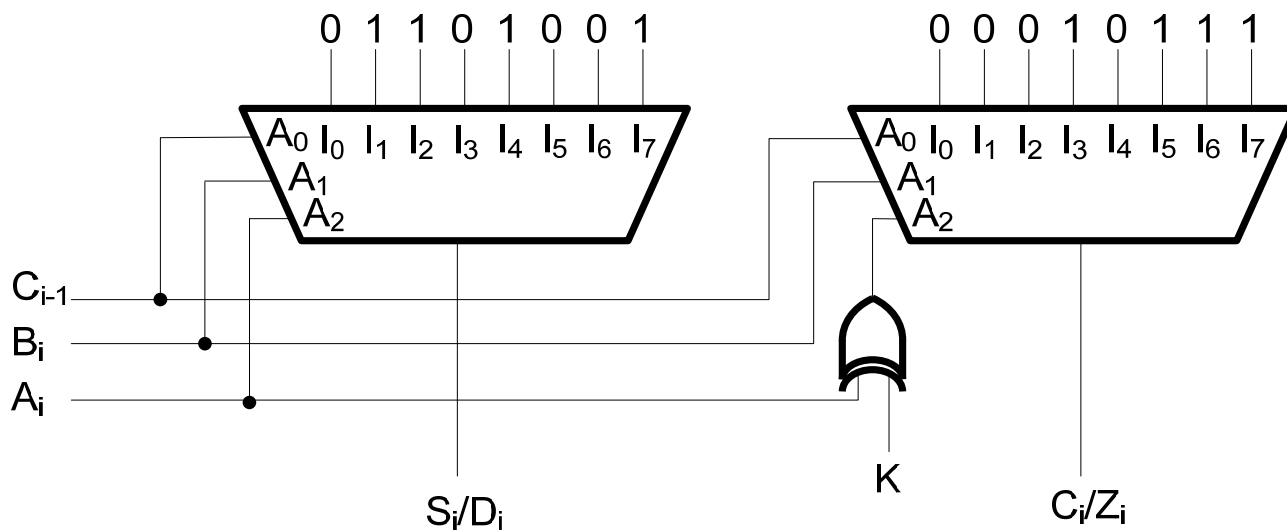
- izvedba s ROMom 8x4 i 2 MUXa 2/1
 - $K=0$: zbrajalo, $K=1$: odbijalo
 - uočiti: $S_i = D_i$, simetrija C_i i Z_i

A_2	A_1	A_0	D_2	D_0	D_3	D_1
A_i	B_i	C_{i-1}	S_i	C_i	D_i	Z_i
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1



Permanentna memorija

- izvedba s 2 MUXa 8/1 u funkciji ROMova
 - K=0: zbrajalo, K=1: odbijalo



U. Peruško, V. Glavinić: *Digitalni sustavi*, Poglavlje 7:
Standardni kombinacijski moduli.

- koncept programirljivih modula: str. 276
- permanentna memorija: str. 267-275



Zadaci za vježbu (1)

U. Peruško, V. Glavinić: *Digitalni sustavi*, Poglavlje 7:
Standardni kombinacijski moduli.

- permanentna memorija: 7.27-7.29



Zadaci za vježbu (2)

- M. Čupić: *Digitalna elektronika i digitalna logika. Zbirka riješenih zadataka*, Cjelina 5: Standardni kombinacijski moduli.
- permanentna memorija:
 - riješeni zadaci: 5.12b-5.15