



OSNOVE DIGITALNE ELEKTRONIKE

Kombinacijski sklopovi

Zdravko Kunić
zdravko.kunic@racunarstvo.hr



Kombinacijski sklopovi

Ishod
učenja 5

Realizirati jednostavni kombinacijski digitalni sklop.
Realizirati složeni kombinacijski digitalni sklop.

Sadržaj predavanja

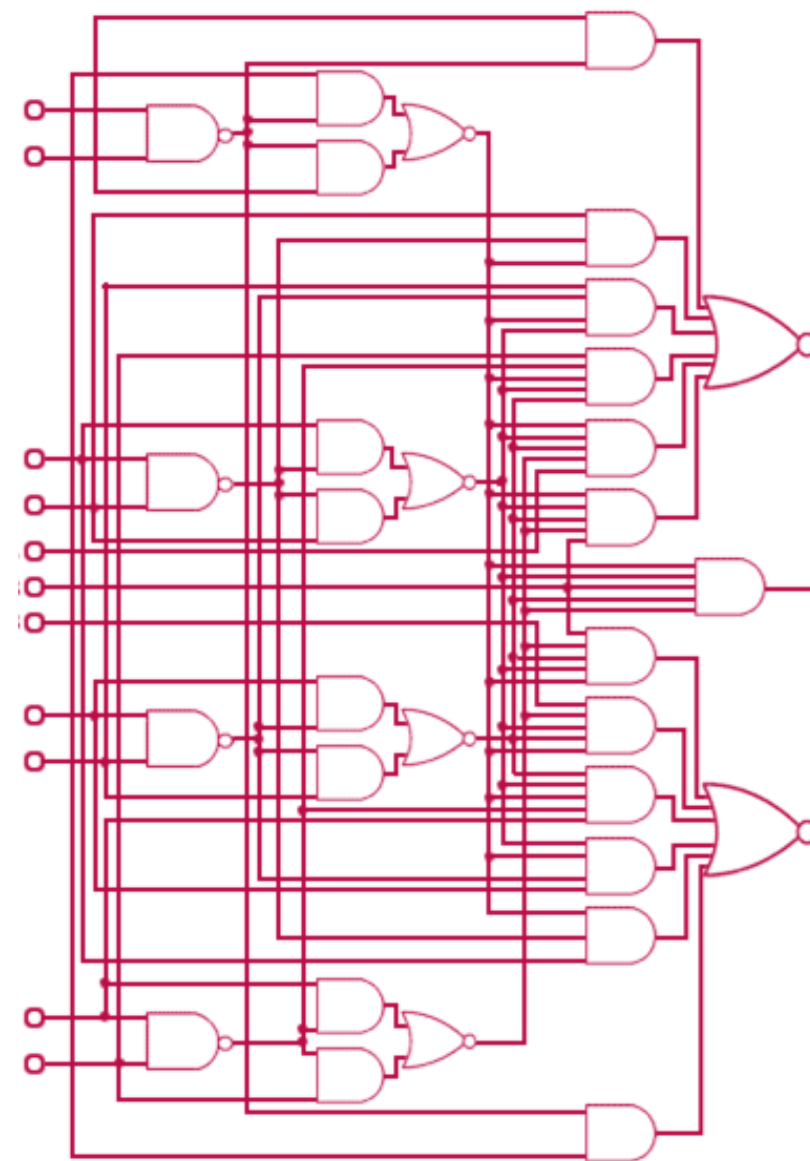
Kombinacijski moduli:

- Dekoder
- Multipleksor/demultipleksor
- Koder

Ostvarivanje logičkih funkcija kombinacijskim modulima

Kombinacijski moduli

- Složene sustave je teško analizirati i sintetizirati kao cjeline
 - uobičajeno ih se dekomponira u manje funkcijske cjeline
 - složenije funkcije ostvaruju se pomoću osnovnih funkcija (I, ILI, NE)
- Češće korištene podsustave/sklopove nazivamo modulima
- Izlaz kombinacijskog modula je funkcija ulaza: $izlaz = f(ulaz)$



Složene kombinacijske funkcije

- kodiranje/dekodiranje
- pretvaranje/konverzija između kôdova
- odabir podataka
- serijsko-paralelna i paralelno-serijska pretvorba
- ispitivanje pariteta
- usporedba/komparacija ulaznih binarnih riječi
- računanje - aritmetičke operacije
- spremanje i dohvaćanje podataka...

Općenita podjela kombinacijskih modula

- **Specijalni**

- ciljano projektirani za zadani sustav
- optimalna izvedba

- **Standardni**

- "opće namjene" (engl. *general purpose*)
- proizvodnja u velikim serijama (niska cijena)
- široko korištene funkcije

- **Univerzalni**

- ostvarivanje proizvoljne Booleove funkcije

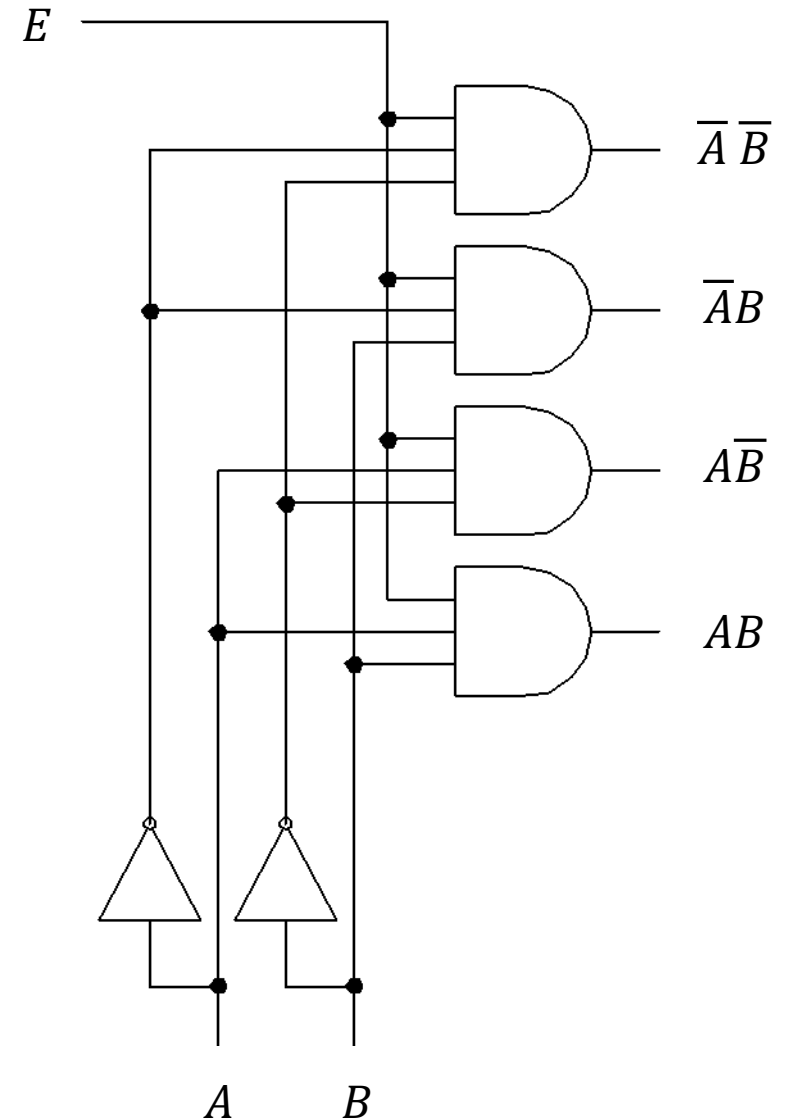
Kombinacijski moduli

- **Neprogramirljivi:**
 - Dekoder
 - Multipleksor
- **Programirljivi:**
 - Permanentna memorija (ROM)
 - Programirljivi kombinacijski moduli (PLD)

Dekoder

Višeizlazni kombinacijski logički sklop kojem je aktivan **samo jedan** izlaz, onaj koji "odgovara" ulaznoj kodnoj riječi

- Sastoji se od **I-sklopova**
 - Za svaku ulaznu n -bitnu riječ (minterm) aktivan je **samo jedan** izlaz
- **Potpuni** dekodeer ima 2^n izlaza
- **Nepotpuni** dekodeer ima $< 2^n$ izlaza

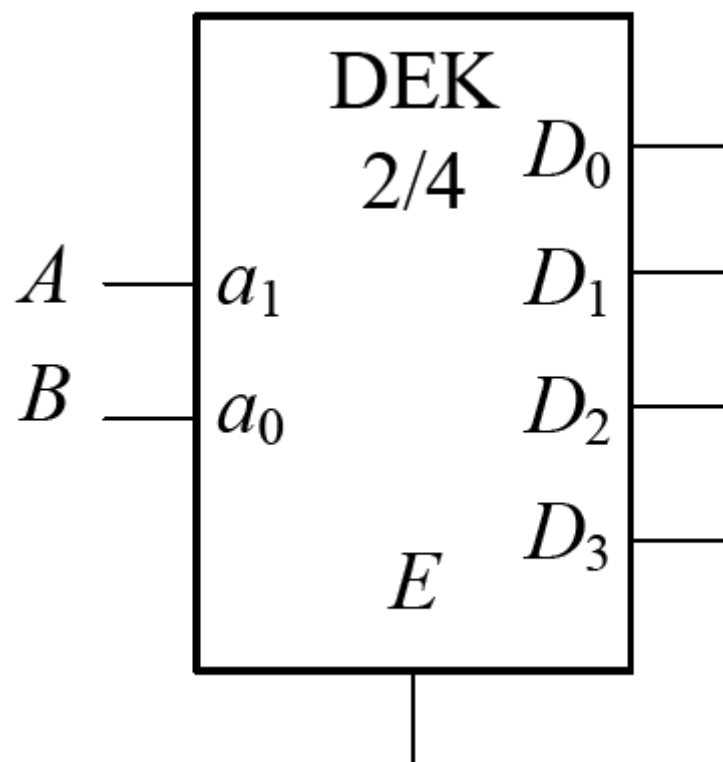


Klasifikacija dekodera

- **Binarni dekoderi:**
 - $n = 2, 3, 4, \dots$ ulaza \rightarrow 1-od- 2^n izlaza
- **Dekadski dekoderi:**
 - $n = 4$ ulaza \rightarrow 1-od-10 izlaza
 - posebna funkcija: dekodiranje različitih binarnih kodova za prikaz dekadskih znamenki
npr. BCD, Aiken, XS-3...

Binarni dekoder

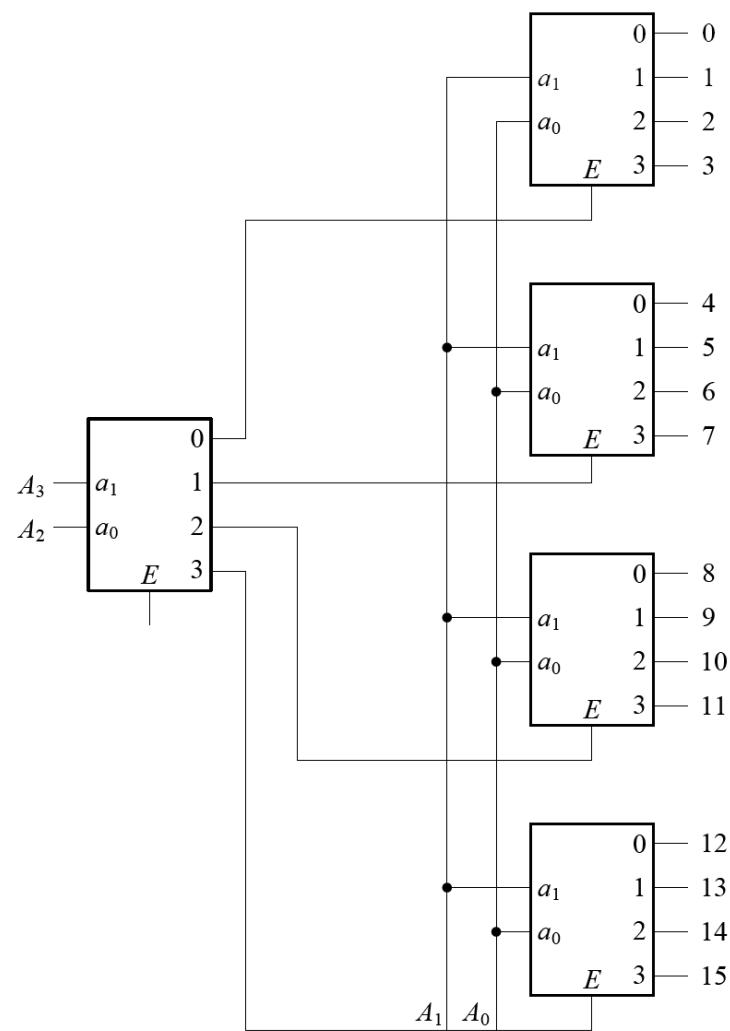
- Primjer: DEK 2/4 - dekoder s 2 ulaza i 4 izlaza



E	A	B	D_0	D_1	D_2	D_3
0	X	X	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1

Dekoderi s većim brojem izlaza

- Izvedba s jednim modulom nije praktična
 - Velik broj izlaza može rezultirati vrlo kompleksnim modulom
- Rješenje: **kaskadiranje**
 - dekodersko stablo (engl. *decoder tree*):

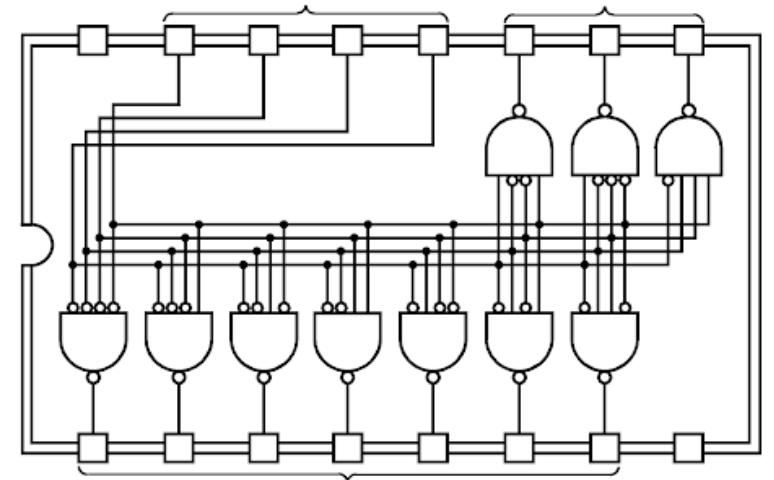
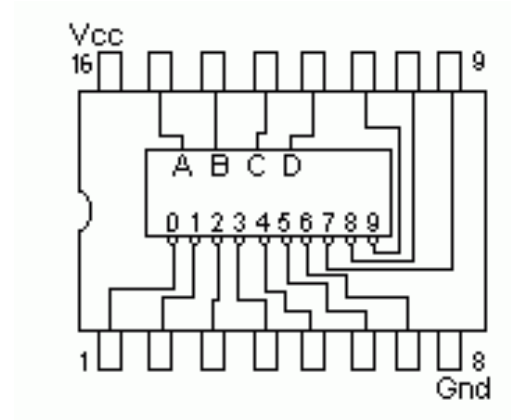
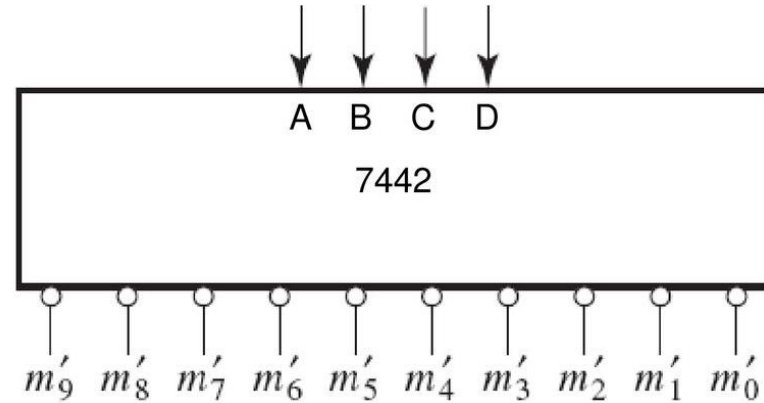


A_3	A_2	A_1	A_0	
0	0	0	0	D_0^1
		0	1	
		1	0	
		1	1	
0	1	0	0	D_1^1
		0	1	
		1	0	
		1	1	
1	0	0	0	D_2^1
		0	1	
		1	0	
		1	1	
1	1	0	0	D_3^1
		0	1	
		1	0	
		1	1	

BCD/dekadski dekoder

- Dekoder za BCD-kôd (oznaka 4/10)
- **Nepotpuno dekodiranje** (4 bita)
 - broj izlaza (10) je manji od maksimalno mogućeg ($2^4=16$)
 - ne dekodiraju se svi ulazni binarni vektori
- Svaki I-sklop predstavlja odgovarajući ulazni **minterm**
 - od m_0 do m_9
 - preostalih 6 minterma su neispravne kodne riječi

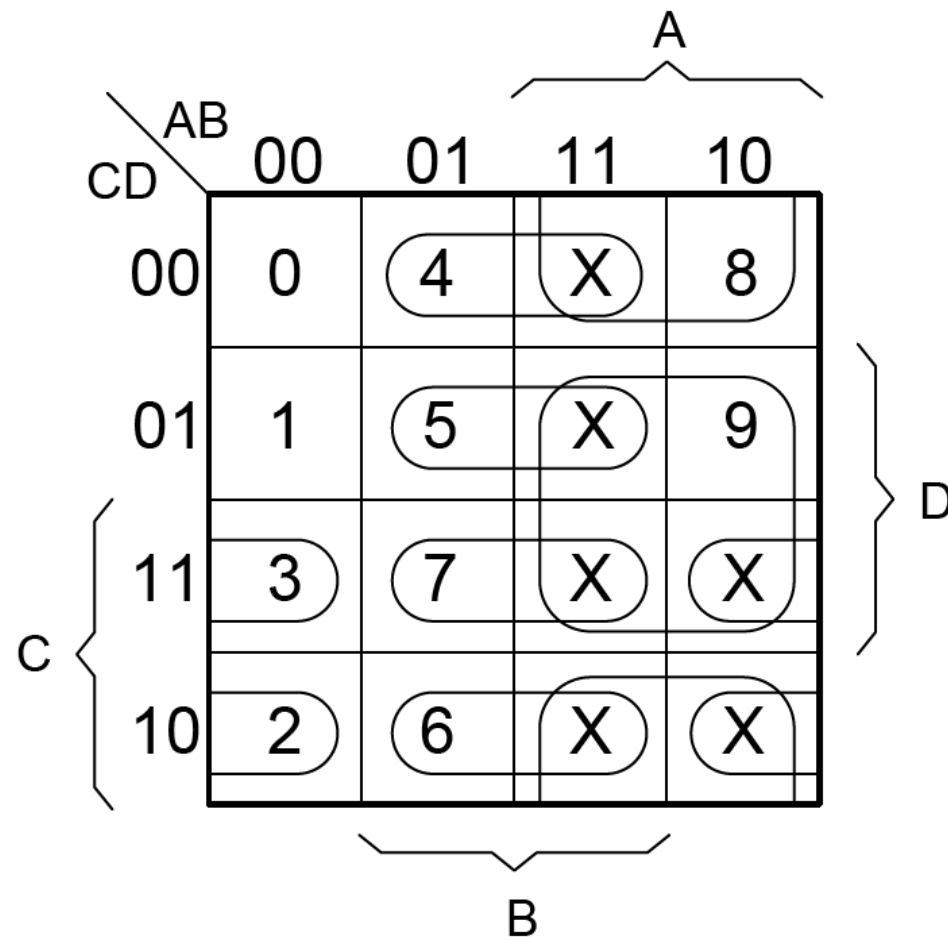
Primjer: BCD/dekadski dekoder 7442



https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_7400-series_integrated_circuits

BCD/dekadski dekoder

- Zahvaljujući nevažnim kombinacijama, sklop se može minimizirati
- Minimizirani BCD/dekadski dekoder ima:
 - dva I-sklopa s 4 ulaza
 - šest I-sklopova s 3 ulaza
 - dva I-sklopa s 2 ulaza



Ostvarivanje logičkih funkcija dekodrom

Dekoder je univerzalni kombinacijski modul

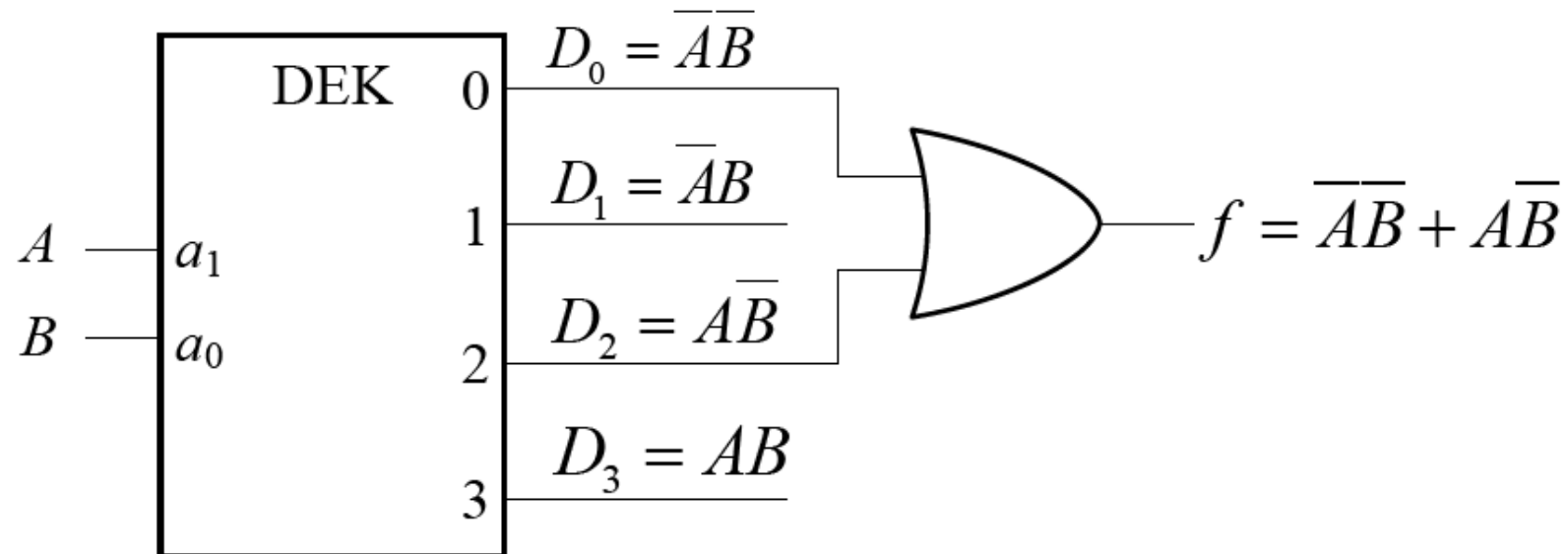
- njime se mogu ostvariti sve logičke funkcije

Postupak ostvarivanja funkcije:

- I-sklopovima realizirati minterme zastupljene u definiciji funkcije
- ILI-sklopom zbrojiti izlaze I-sklopova (zbroj produkata)

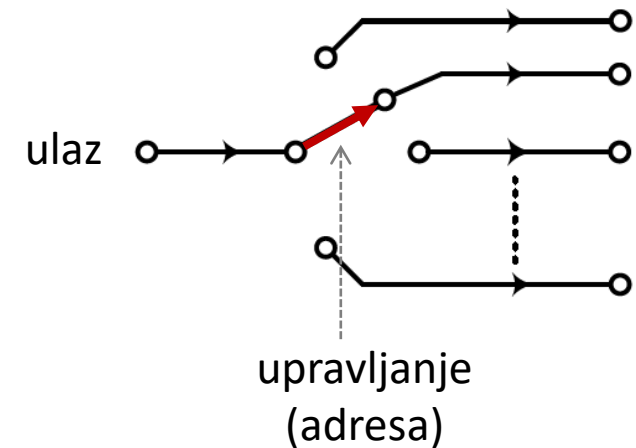
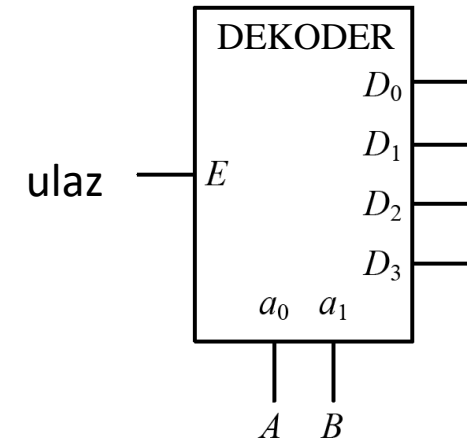
Primjer implementacije logičkih funkcija dekomerom

- Ostvarivanje funkcije $f = \overline{A} \overline{B} + A \overline{B}$



Demultipleksor

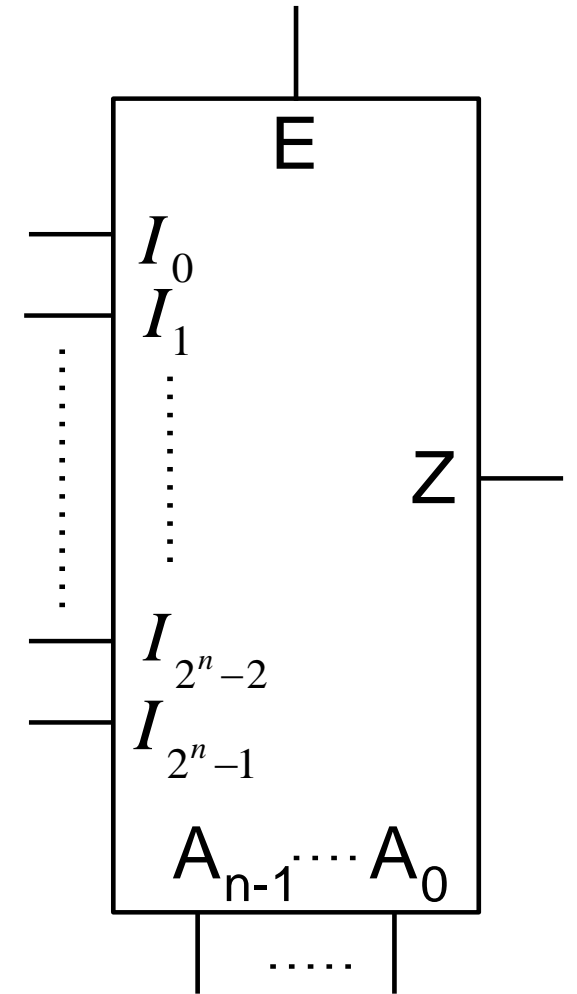
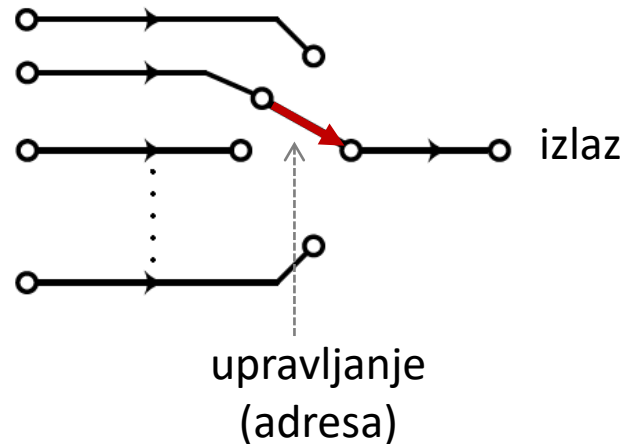
- Logički sklop koji prima podatak na jednom ulazu i raspodjeljuje ga na jedan od $\leq 2^n$ mogućih izlaza
- n je broj bitova na upravljačkome (selektirajućem, adresnom) ulazu dekodera
- **Dekoder s ulazom E** može obavljati funkciju demultipleksora



Multiplexsor

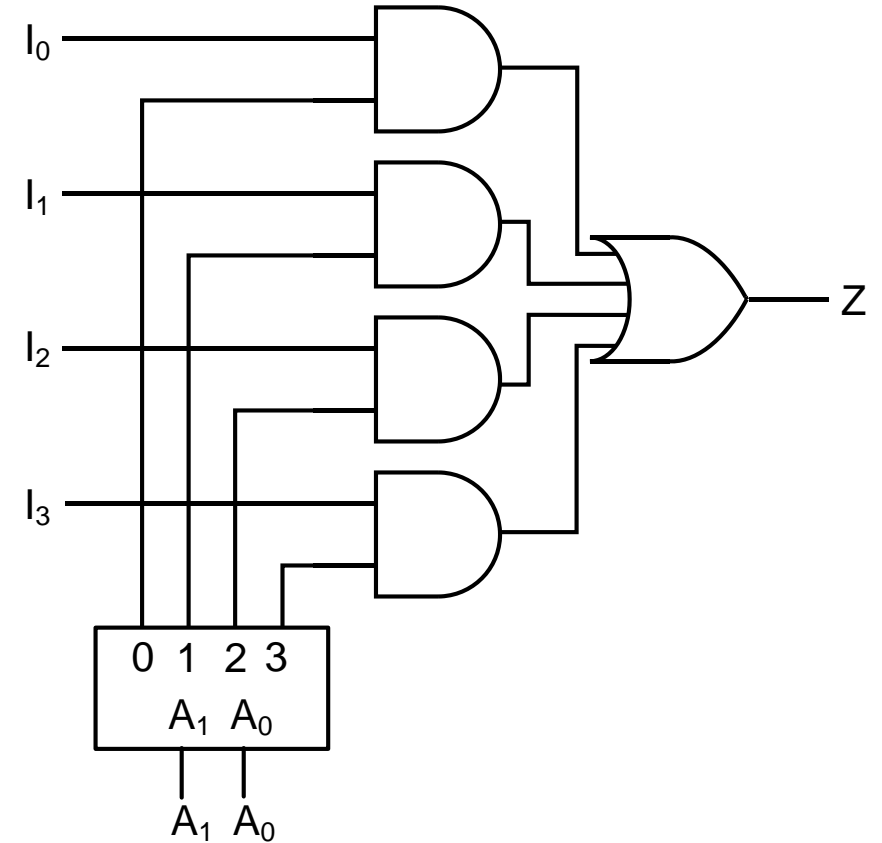
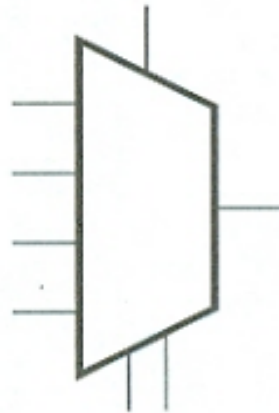
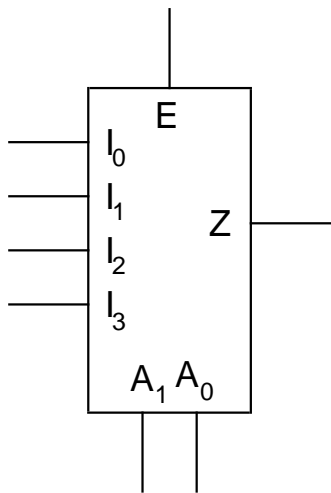
- selektor podataka
- povezuje jedan od 2^n ulaza s **jednim** izlazom
- obavlja funkciju upravljane višepoložajne sklopke

$$Z = \begin{cases} I_i & \text{za } i = a \\ 0 & \text{za } E = 0 \end{cases}$$



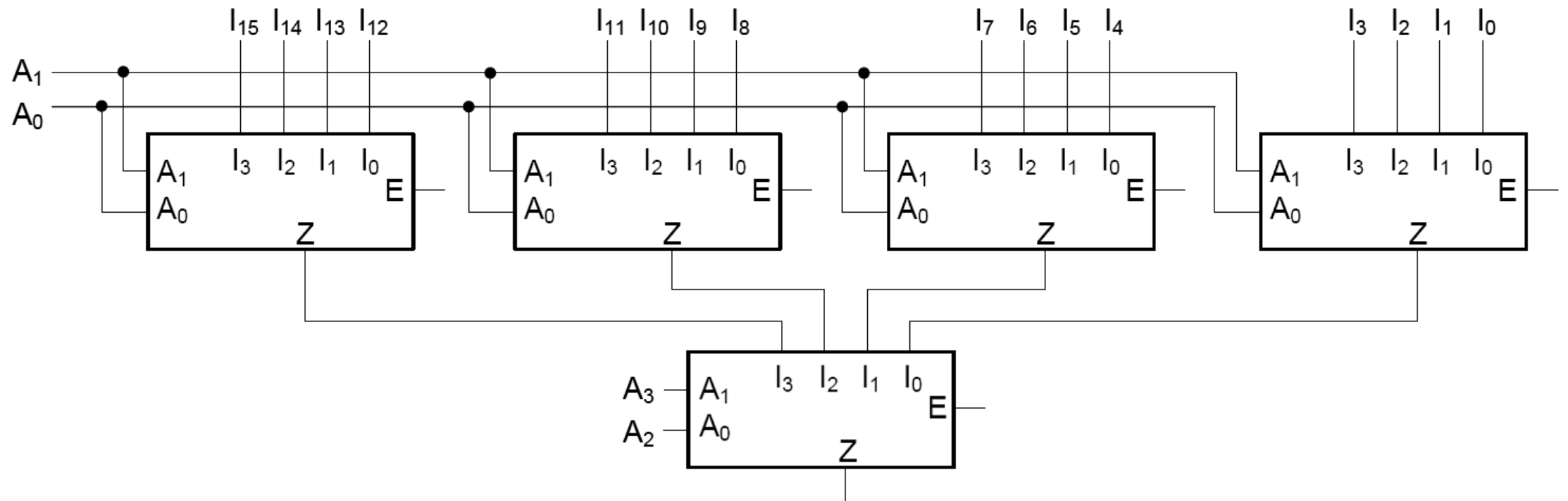
Primjer: 4-ulazni multipleksor izveden s izdvojenim dekoderom

- na izlaz iz dekodera (ILI sklop) se propušta samo jedan od ulaza određen dekodiranom ulaznom adresom (A_1A_0)



Multiplesori s većim brojem ulaza

- Izvedba s jednim modulom nije praktična (presloženi modul)
- Rješenje: multiplesorsko stablo (engl. *multiplexer tree*):



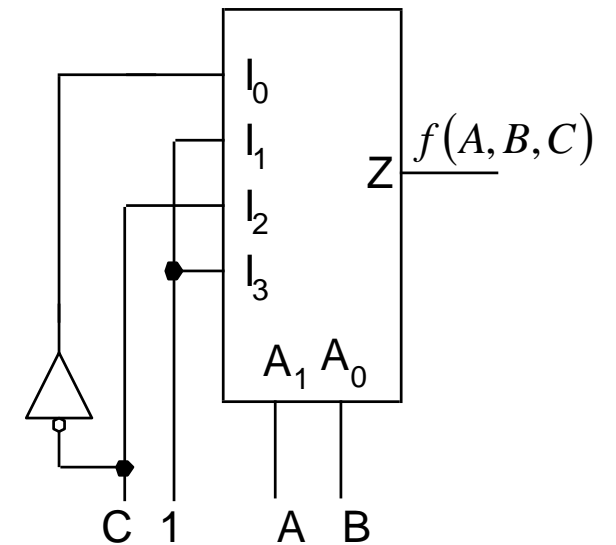
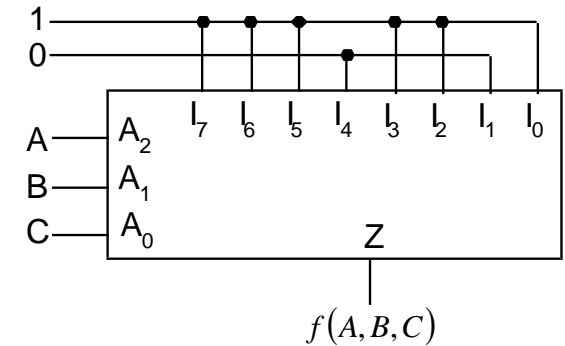
Ostvarivanje logičkih funkcija multipleksorom

- **Direktna metoda**

- Za ostvarivanje logičke funkcije kao sume minterma treba odgovarajuće ulaze (minterme funkcije) postaviti u stanje 1

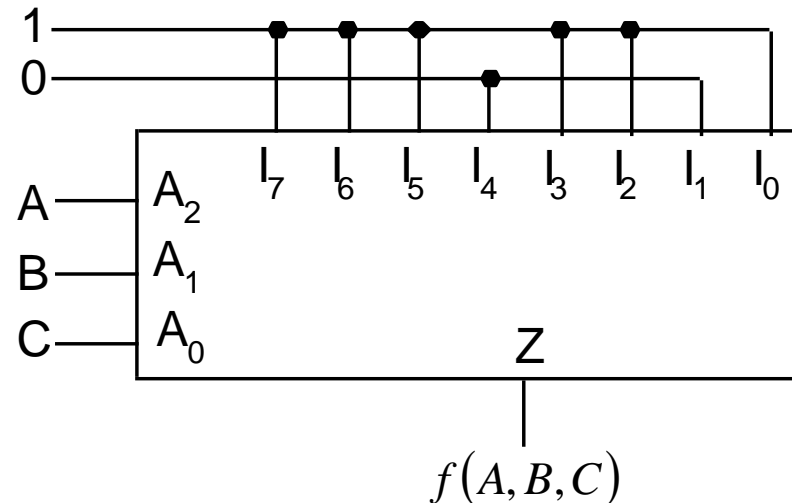
- **Metoda odvajanja jedne ulazne varijable**

- Dovođenje dodatne ulazne varijable na informacijske ulaze (umjesto na adresne ulaze)



Ostvarivanje logičkih funkcija multipleksorom (direktna metoda)

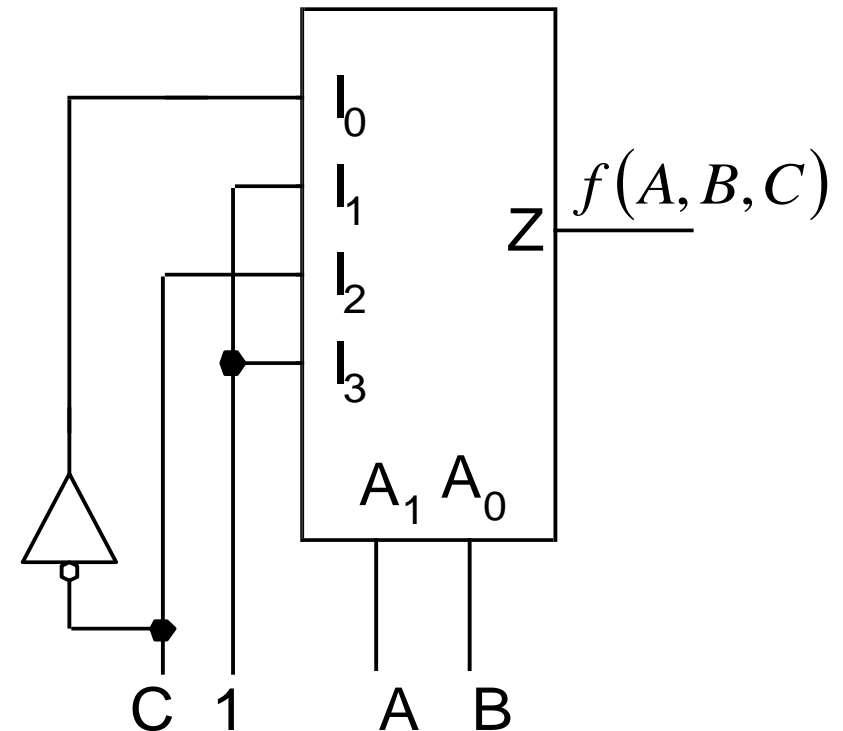
Primjer: funkcija 3 varijable: $f(A, B, C) = \sum(0,2,3,5,6,7)$



Ostvarivanje logičkih funkcija multipleksorom (odvajanje jedne ulazne varijable)

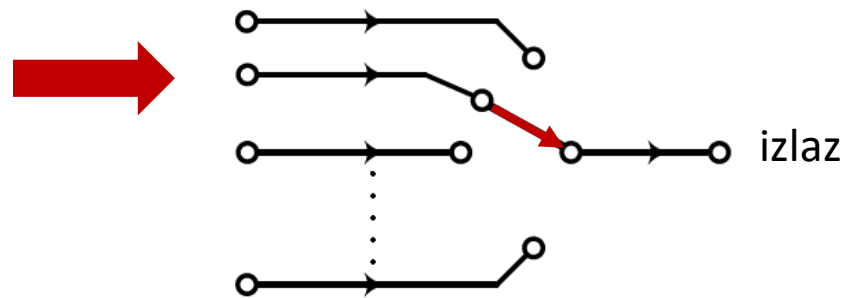
Primjer: $f(A, B, C) = \sum(0,2,3,5,6,7)$

A_1	A_0	C	Adresirani ulaz	f	Rezidualna funkcija $f_r(C)$
A	B	C			
0	0	0		1	
0	0	1	I_0	0	$f_{0(C)} = \bar{C}$
0	1	0		1	
0	1	1	I_1	1	$f_{1(C)} = 1$
1	0	0		0	
1	0	1	I_2	1	$f_{2(C)} = C$
1	1	0		1	
1	1	1	I_3	1	$f_{3(C)} = 1$

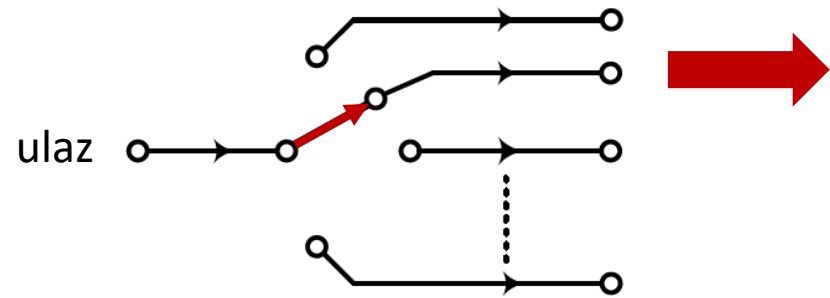


Primjena multipleksora

- Povezivanje većeg broja funkcijskih blokova na jednu sabirnicu digitalnog sustava
- Prijenos različitih podataka istim spojnim putem
 - više logičkih kanala na istoj fizičkoj liniji
 - vremenska podjela (vremenski multipleks)
- Paralelno-serijska (multipleksor) i serijsko-paralelna (demultipleksor) pretvorba



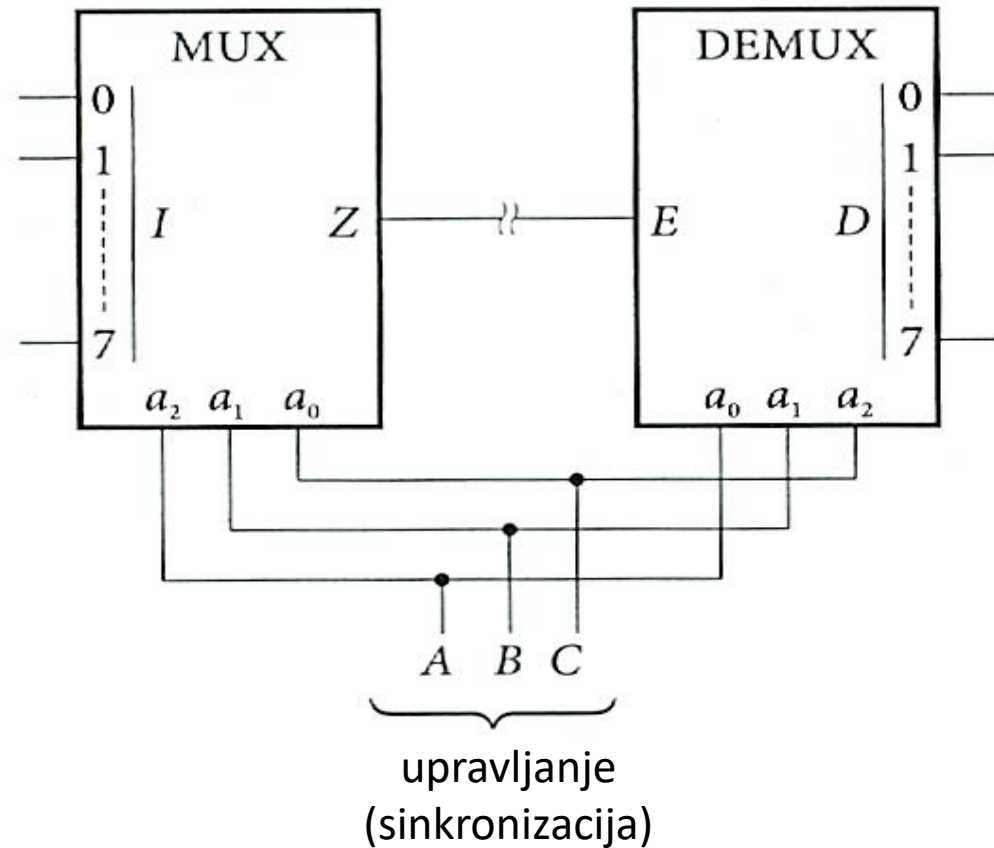
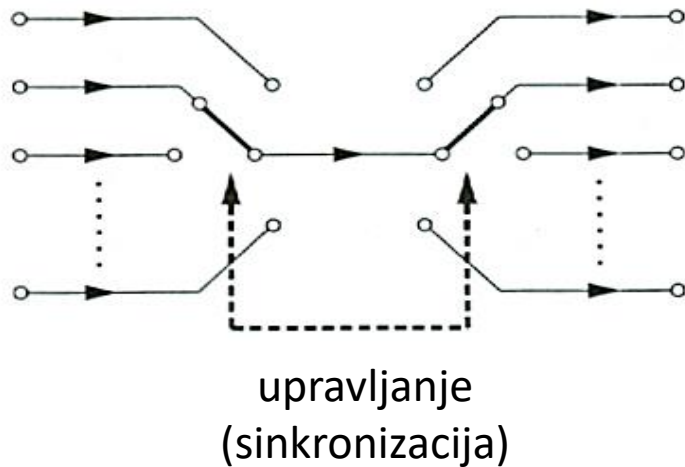
Multipleksor



Demultipleksor

Vremenski multipleks

- Sinkrono korištenje jedne komunikacijske linije za „istovremeni” prijenos višestrukih informacija



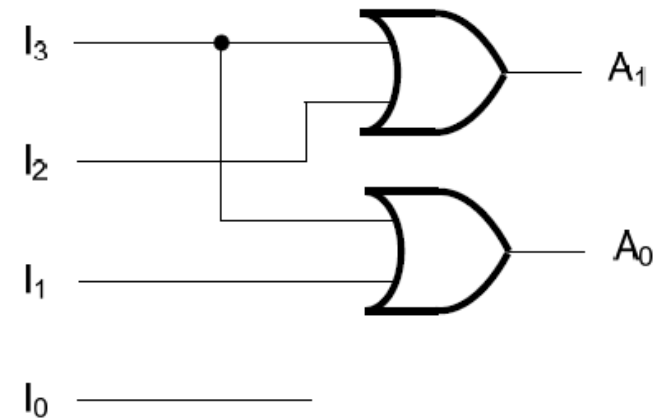
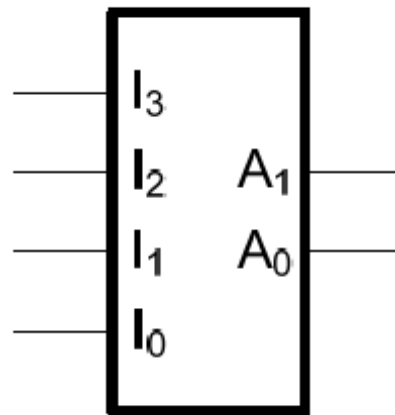
Koder

- Kodiranje (funkcija kodiranja) podrazumijeva generiranje binarne kodne riječi nekog kôda aktivacijom jednog od ulaza
 - 2^n ulaznih bitova pretvara se u kôd putem n izlaza
 - uzorci ulaza s više jedinica (ulaznih stanja 1) nisu dozvoljeni

I_3	I_2	I_1	I_0	A_1	A_0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	1	1

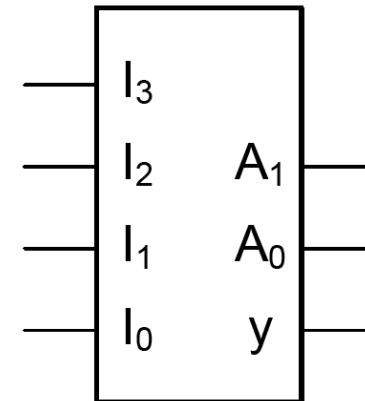
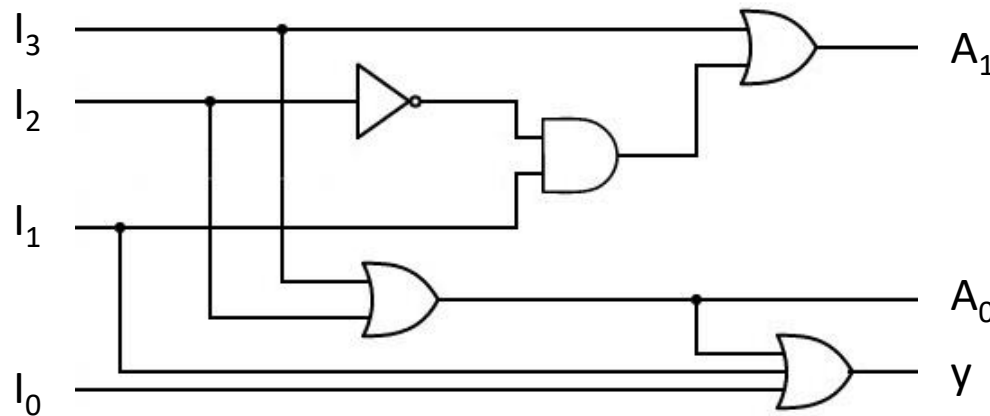
$$A_1 = I_3 + I_2$$

$$A_0 = I_3 + I_1$$



Prioritetni koder

- rješava problem višestrukih aktivnih ulaza tako da uzima u obzir samo ulaz najvišeg prioriteta
 - ako je aktivno više ulaza, djeluje samo onaj s najvišim prioriteto
- za slučaj da su svi izlazi 0, ima poseban izlaz y



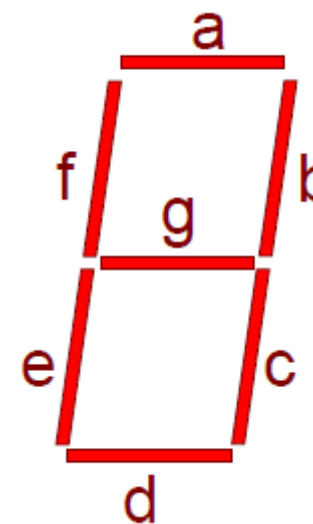
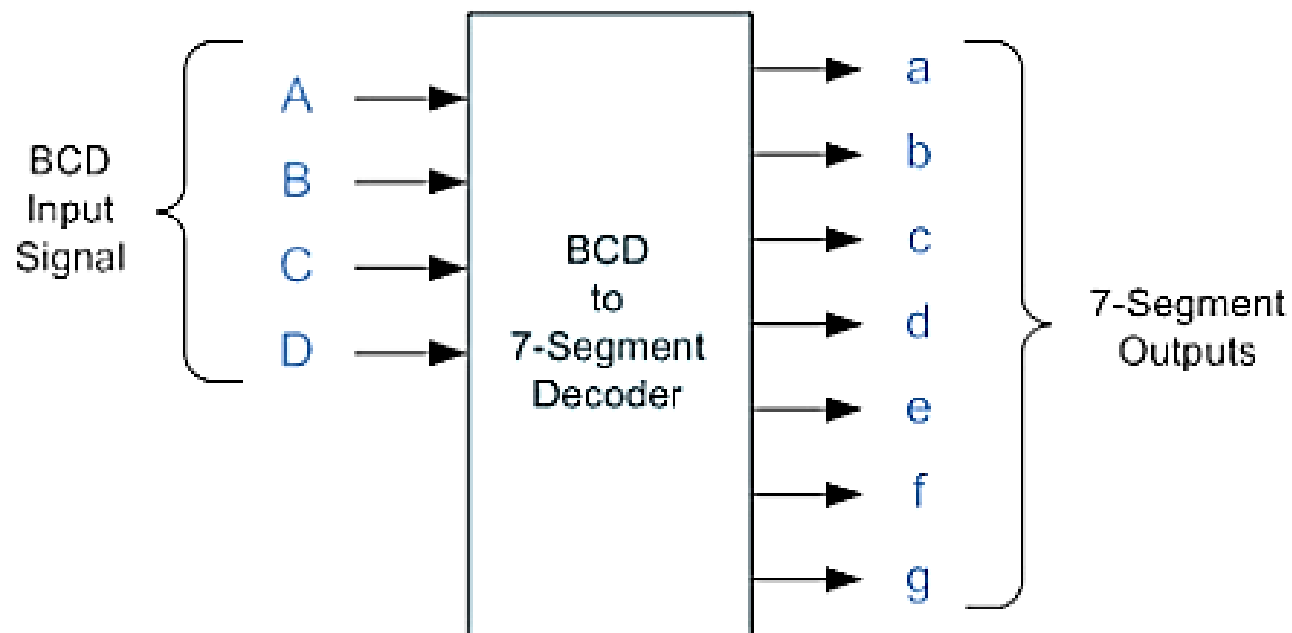
Pretvornik koda (engl. *code converter*)

Konvertira kodne riječi dvaju različitih kodova

Princip rada je isti kao kod dekodera i koder:

- **dekoder:** kodna riječ → 1 aktivni izlaz
- **koder:** 1 aktivni ulaz → kodna riječ

Pretvornik BCD kôda u 7-segmentni kôd

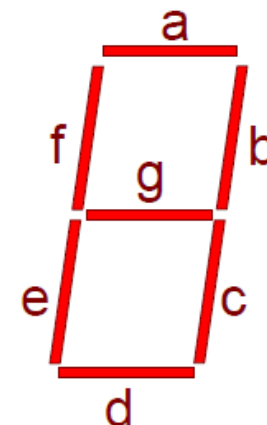


1234567890

Pretvorba BCD kôda u 7-segmentni kôd

	D_3 2^3 8	D_2 2^2 4	D_1 2^1 2	D_0 2^0 1	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

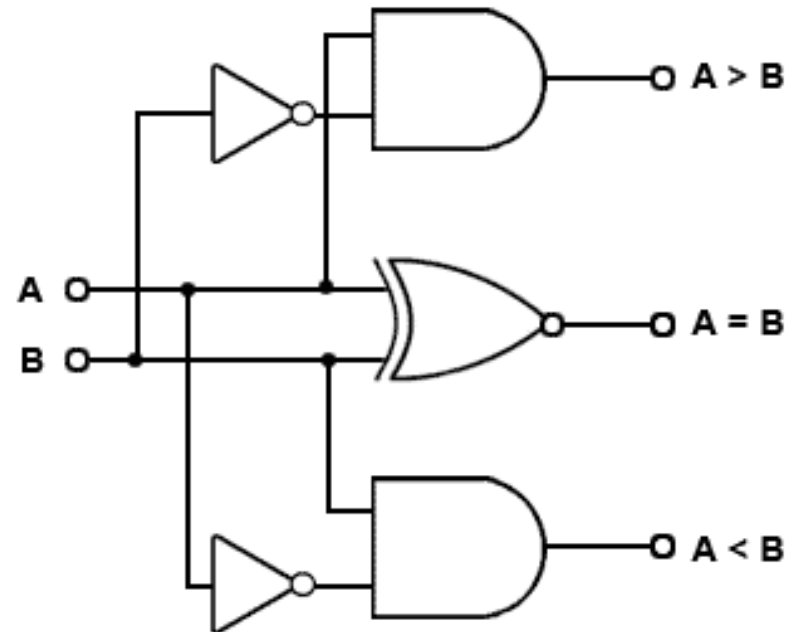
0123456789



Komparator

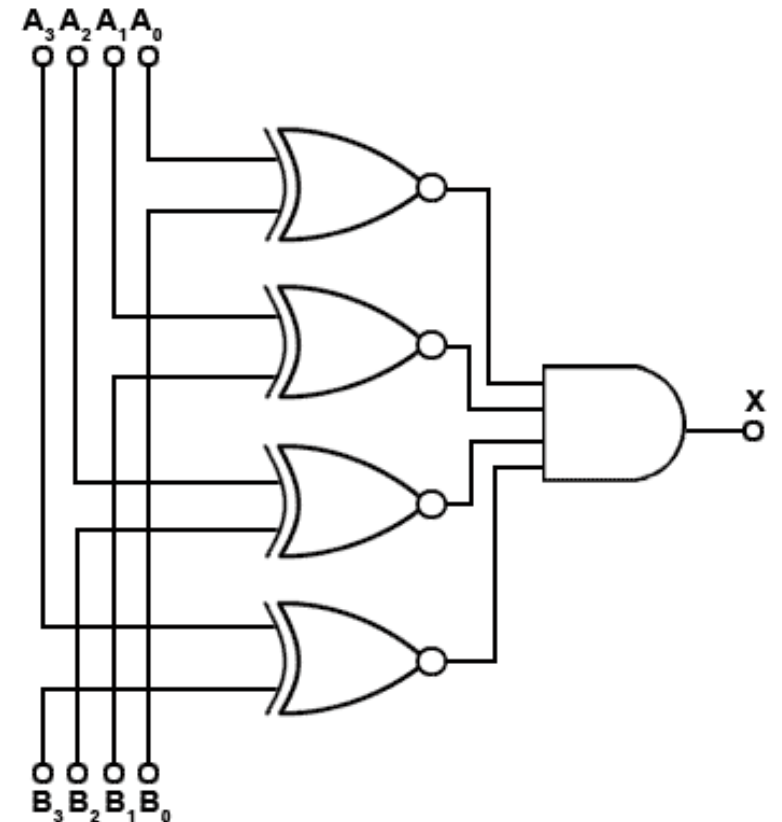
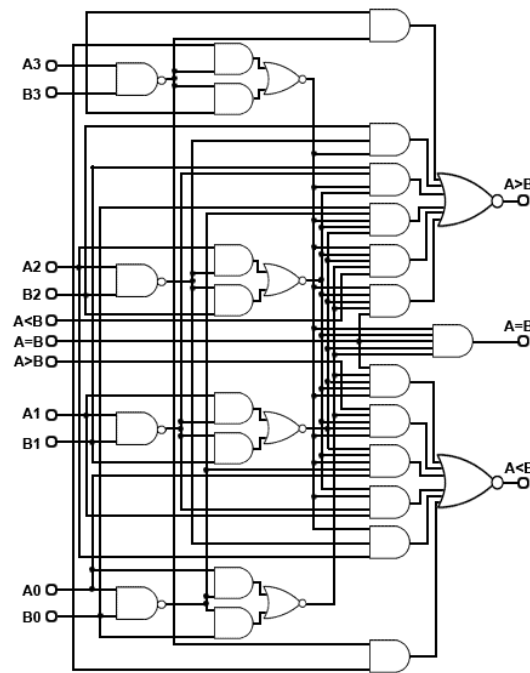
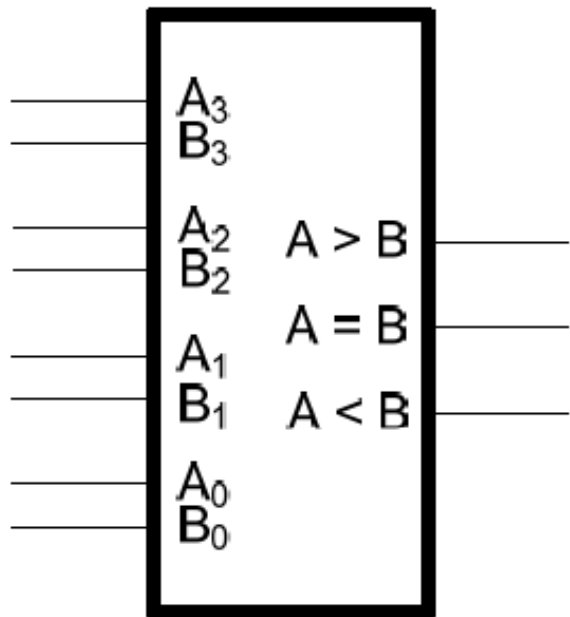
Sklop za usporedbu dva binarna broja

- uobičajeno služi za usporedbu cijelih brojeva bez predznaka
 - $A = B$
 - $A > B$
 - $A < B$



Primjer 4-bitnog komparatora

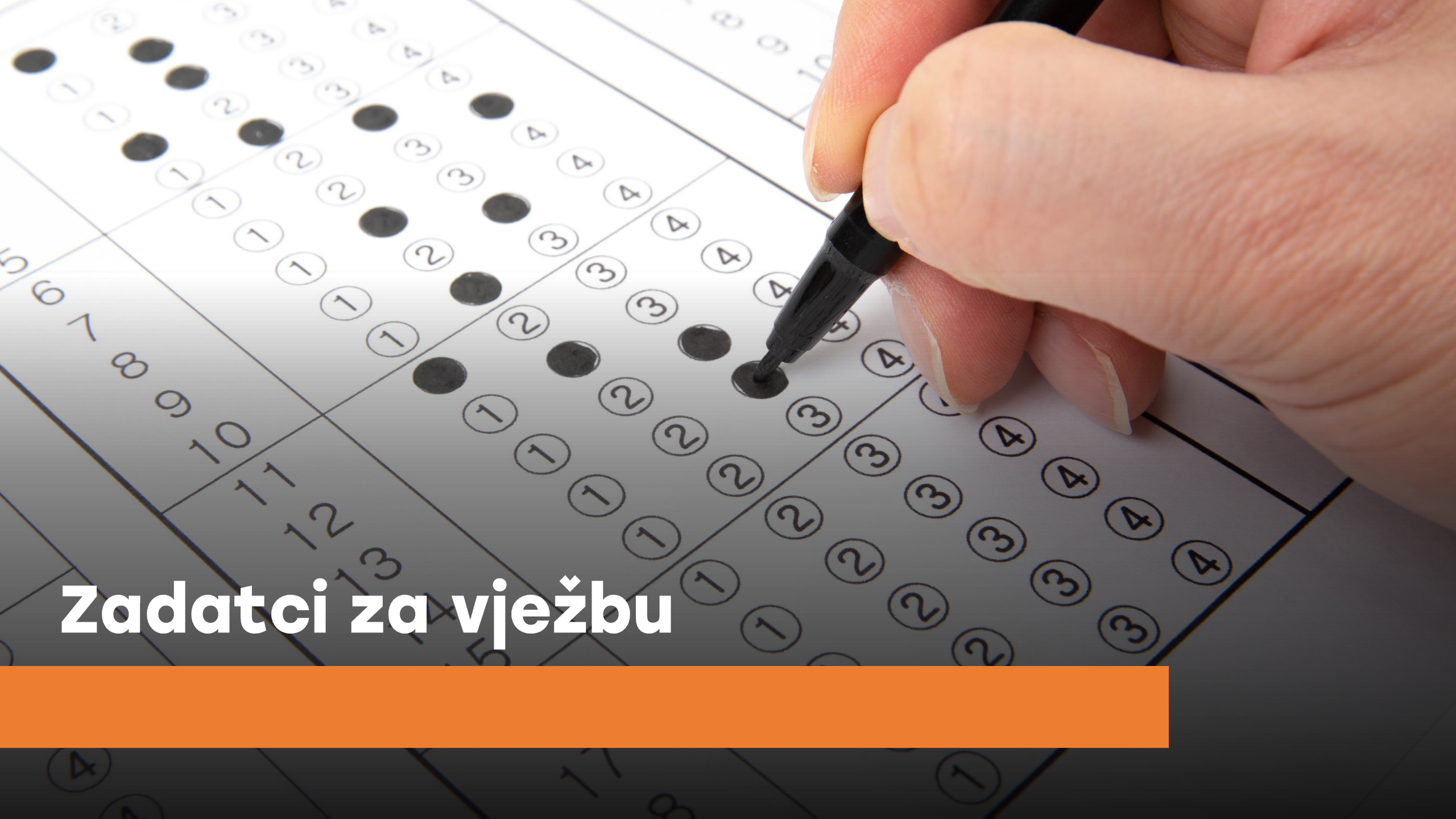
- izlaz $A = B$ (I-funkcija usporedbi po bitovima)
- izlaz $A > B$ (dominira bit najveće težinske vrijednosti)
- izlaz $A < B$ [not (($A_i > B_i$) or ($A = B$))]



4-bitni komparator jednakosti
($A=B$ ili $A \neq B$)



Kombinacijski sklopovi



Zadatci za vježbu

Zadatak

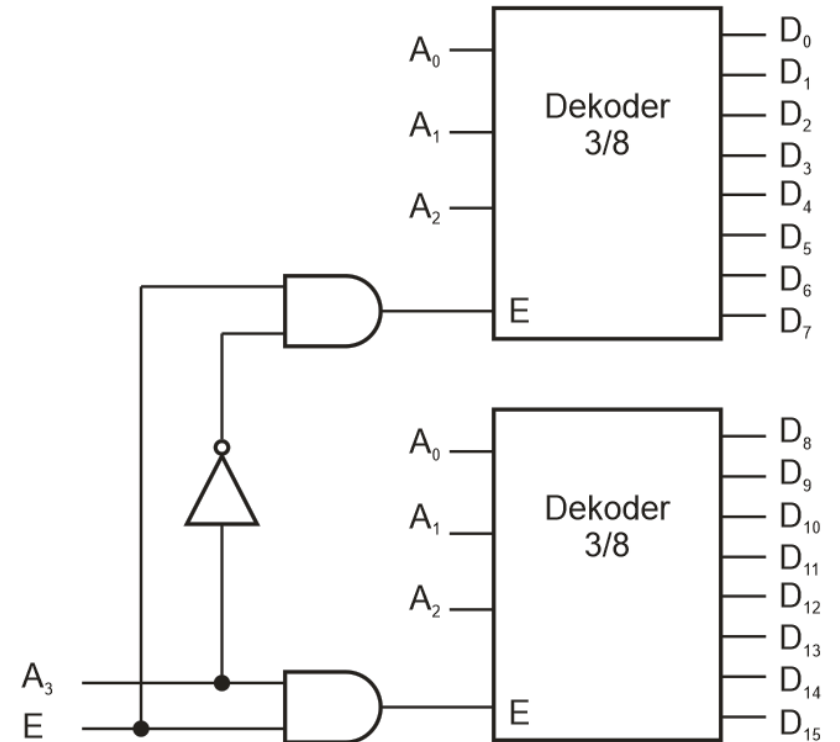
Kreirajte dekoder $4/16$ s ulazom E pomoću dva dekodera $3/8$ s ulazom E

- osim dekodera, smijete koristiti samo I-sklopove i NE-sklopove

Rješenje

Dekoder 4/16 s ulazom E kreiran pomoću dva dekodera 3/8 s ulazom E

- Budući da je broj dostupnih ulaza (3) za upravo jedan manji od potrebnog (4), koristimo E ulaz kao dodatnu varijablu
- Dodatna varijabla se koristi za aktivaciju samo jednog od dekodera koristeći NE-sklop.
- Ulaz E dekodera 4/16 implementiran je pomoću dva I-sklopa (po jedan za svaki dekodera)



Zadatak

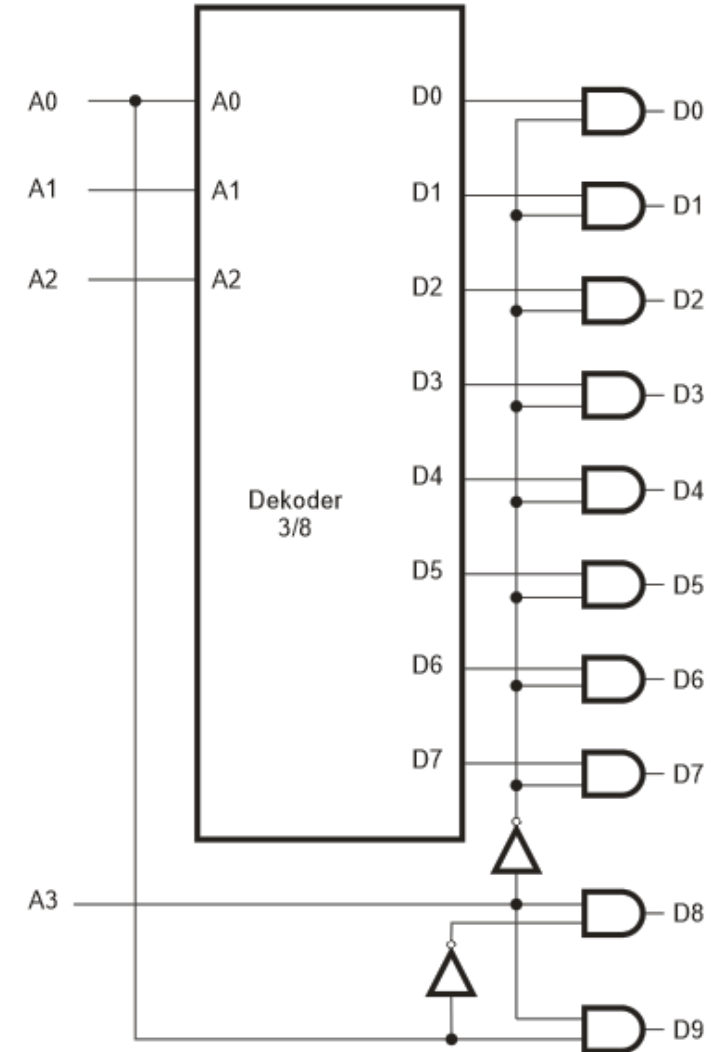
Kreirajte dekoder $4/10$ pomoću dekodera $3/8$ bez E ulaza

- osim dekodera, smijete koristiti samo I-sklopove i NE-sklopove

Rješenje

Dekoder 4/10 kreiran pomoću dekodera 3/8 bez E ulaza

- Budući da je broj dostupnih ulaza (3) za jedan manji od potrebnog (4), koristimo A_3 za izravnu kontrolu I-sklopova na pozicijama D_8 i D_9
- binarni brojevi 8 i 9 razlikuju se u najmanje značajnom bitu A_0
 - stoga D_8 i D_9 kontroliramo stanjem ulaza A_0 korištenjem invertera



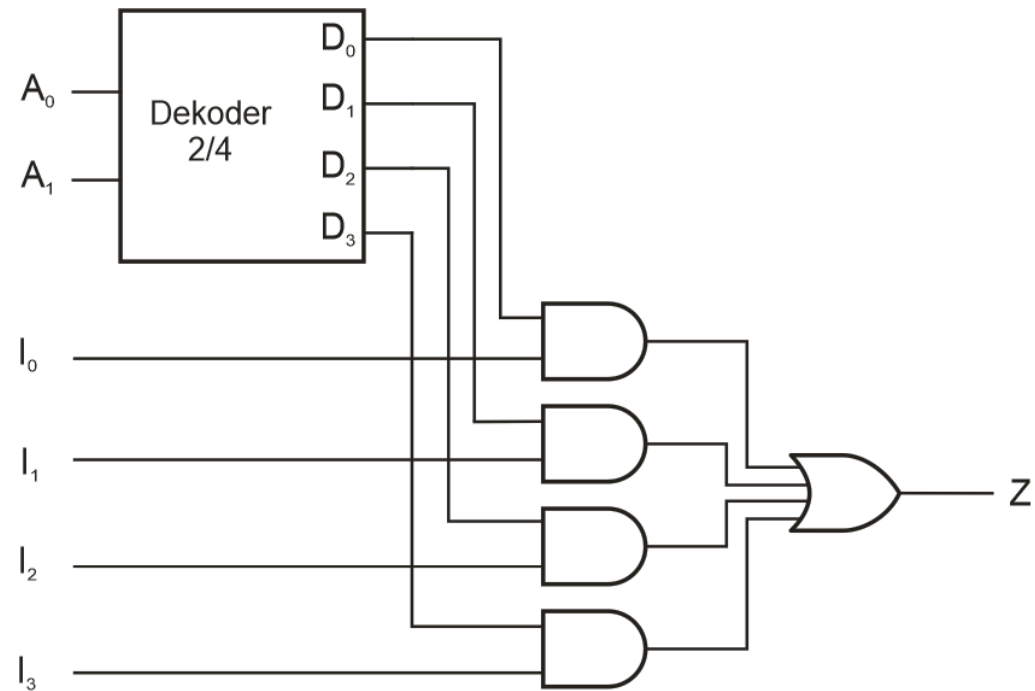
Zadatak

Kreirajte multipleksor 4/1 korištenjem dekodera 2/4

- Dozvoljeno je korištenje I-sklopova i ILI-sklopova

Rješenje

Multipleksor 4/1 kreiran korištenjem dekodera 2/4, četiri dvoulazna I-sklopa i jednog četveroulaznog ILI-sklopa

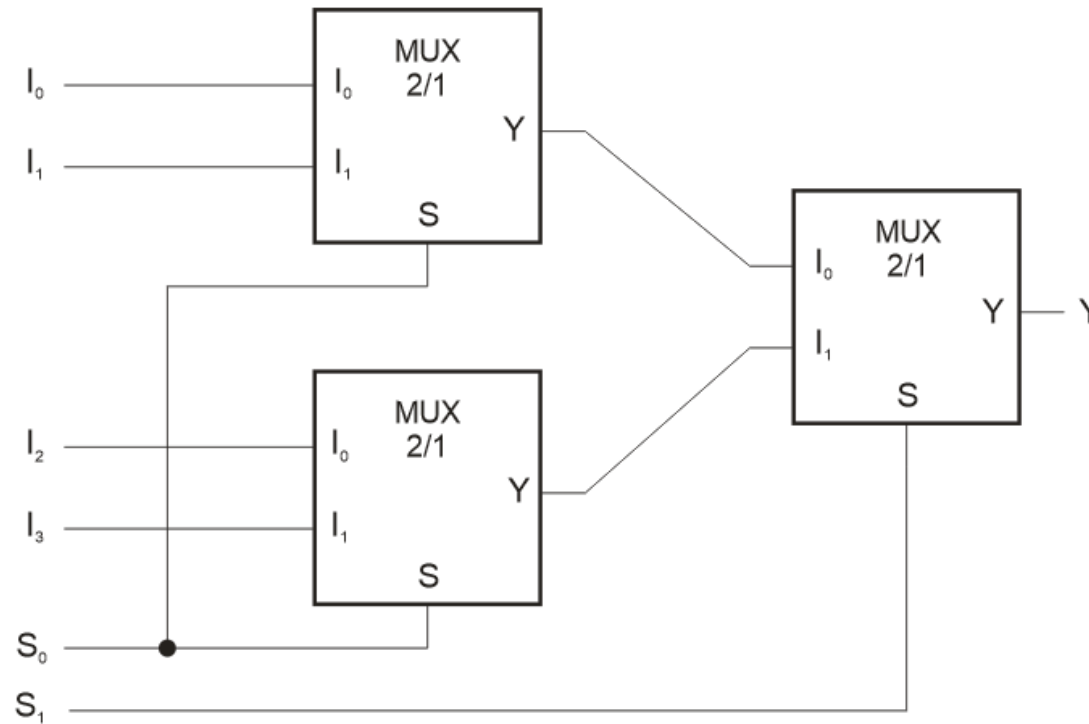


Zadatak

Kreirajte multipleksor 4/1 korištenjem tri multipleksora 2/1

Rješenje

Multipleksor 4/1 kreiran od tri multipleksora 2/1



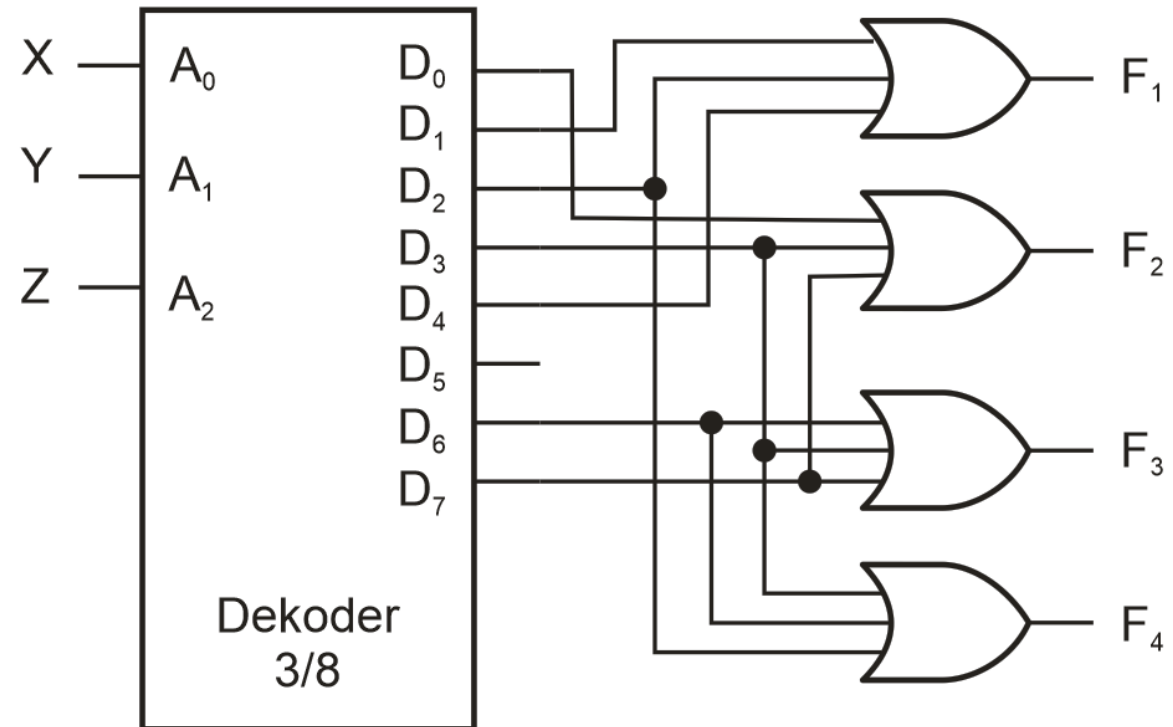
Zadatak

Kombinacijski sklop je definiran sa sljedeće četiri Booleove funkcije:

- $F_1 = \bar{X}Y\bar{Z} + \bar{X}\bar{Y}Z + X\bar{Y}\bar{Z}$
 - $F_2 = \bar{X}\bar{Y}\bar{Z} + YZ$
 - $F_3 = YZ + XY$
 - $F_4 = \bar{X}Y + XY\bar{Z}$
- Kreirajte kombinacijski sklop pomoću dekodera i ILI-sklopova

Rješenje

- $F_1 = \bar{X}Y\bar{Z} + \bar{X}\bar{Y}Z + X\bar{Y}\bar{Z}$
- $F_2 = \bar{X}\bar{Y}\bar{Z} + YZ$
 $= \bar{X}\bar{Y}\bar{Z} + \bar{X}YZ + XYZ$
- $F_3 = YZ + XY$
 $= \bar{X}YZ + XYZ + XY\bar{Z}$
- $F_4 = \bar{X}Y + XY\bar{Z}$
 $= \bar{X}Y\bar{Z} + \bar{X}YZ + XY\bar{Z}$



Zadatak

Implementirajte sljedeću booleovu funkciju s 8/1 multipleksorom i jednim inverterom, koristeći varijablu D kao dodatni ulaz:

$$F(A, B, C, D) = \sum m(0, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 13)$$

Rješenje

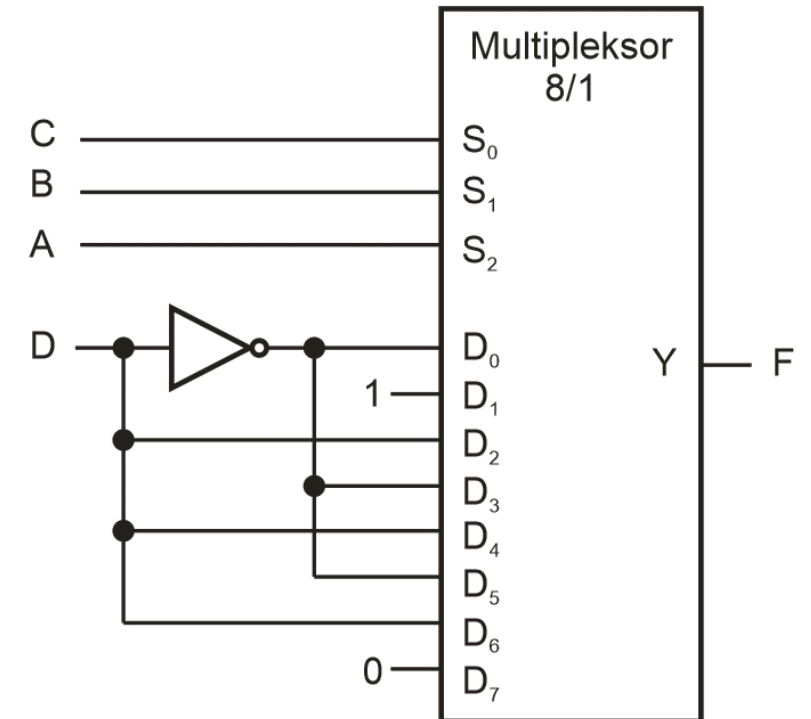
Booleova funkcija

$$F(A, B, C, D)$$

$$= \sum m(0, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 13)$$

Izvedena s 8/1
multipleksorom i jednim
inverterom, uz korištenje
varijable D kao dodatnog
ulaza:

m	A	B	C	D	F	D_i
0	0	0	0	0	1	\bar{D}
1	0	0	0	1	0	
2	0	0	1	0	1	1
3	0	0	1	1	1	
4	0	1	0	0	0	D
5	0	1	0	1	1	
6	0	1	1	0	1	\bar{D}
7	0	1	1	1	0	
8	1	0	0	0	0	D
9	1	0	0	1	1	
10	1	0	1	0	1	\bar{D}
11	1	0	1	1	0	
12	1	1	0	0	0	D
13	1	1	0	1	1	
14	1	1	1	0	0	0
15	1	1	1	1	0	



Primjeri zadataka s prethodnih ispita*

Ishod učenja 5 – 9 bodova - 25 min

1. **[I5_M, 3 boda]** Nacrtajte simbol (0,5 bodova) i logičku shemu dekodera sa 6 izlaza (1,5 bodova) te napišite tablicu stanja (0,5 bodova) i logičke funkcije izlaza (0,5 bodova)
2. **[I5_M, 2 boda]** Pomoću jednog simbola dekodera 3/8 i logičkih sklopova realizirajte logičke funkcije $f(A, B, C) = \bar{A}BC + A\bar{C} + ABC$ i $y(A, B, C) = \bar{A}BC + AB\bar{C} + \bar{A}B$. Nacrtajte shemu (1 bod) i napišite tablicu stanja za f i y (1 bod)
3. **[I5 M, 1 bod]** Definirajte razlike u funkciji i realizaciji kodera i dekodera.
4. **[I5 Ž, 3 boda]** Pomoću simbola multipleksora 4/1 i logičkog sklopa realizirajte logičku funkciju $f(A, B, C) = \bar{A}BC + A\bar{C} + \bar{B}C + ABC$. Nacrtajte shemu (1,5 bodova) i napišite tablicu stanja (1,5 bodova)

* Primjer ispita je ilustrativan. Vrste zadataka na budućim brzim testovima i ispitima mogu biti drugačije.

Primjeri zadataka s prethodnih ispita*

Ishod učenja 5 – 9 bodova - 25 min

1. **[I5_M, 3 boda]** Nacrtajte simbol (0,5 bodova) i logičku shemu multipleksora s 5 ulaza (1,5 bodova) te napišite tablicu stanja (0,5 bodova) i logičku funkciju izlaza (0,5 bodova)
2. **[I5_M, 2 boda]** Pomoću jednog simbola dekodera 3/8 i logičkih sklopova realizirajte logičke funkcije $f(A, B, C) = \bar{A}BC + A\bar{C} + A\bar{B}C$ i $y(A, B, C) = \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} + AB$. Nacrtajte shemu (1 bod) i napišite tablicu stanja za f i y (1 bod)
3. **[I5 M, 1 bod]** Definirajte razlike u funkciji i realizaciji multipleksora i demultipleksora.
4. **[I5 Ž, 3 boda]** Pomoću simbola multipleksora 4/1 i logičkog sklopa realizirajte logičku funkciju $f(A, B, C) = \bar{A}BC + A\bar{C} + A\bar{B}\bar{C}$. Nacrtajte shemu (1,5 bodova) i napišite tablicu stanja (1,5 bodova)

* Primjer ispita je ilustrativan. Vrste zadataka na budućim brzim testovima i ispitima mogu biti drugačije.

LITERATURA:

- Uroš Peruško: Digitalni sustavi
 - Str. 335 - 413