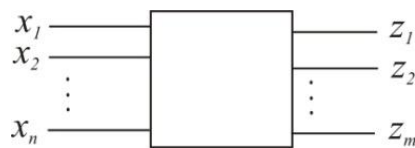


## 7. PREKIDAČKE MREŽE

Prekidačke mreže su osnovne komponente svakog digitalnog uređaja pa i računara. Prekidačka mreža je skup električnih komponenata sa  $n$  ulaza i  $m$  izlaza na čije se ulaze dovode binarni signali i na čijim izlazima se generišu, takođe, binarni signali. Praktično, prekidačka mreža je skup električnih komponenti kojima se realizuje sistem  $m$  prekidačkih funkcija sa  $n$  ulaznih promenljivih. Drugačije rečeno, rad prekidačke mreže se može opisati sistemom od  $m$  prekidačkih funkcija sa  $n$  ulaznih promenljivih. Blok dijagram prekidačke mreže prikazan je na slici 7.1.



Slika 7.1 Blok-šema prekidačke mreže

Postoje dva osnovna tipa prekidačkih mreža:

– **kombinacione prekidačke mreže** - prekidačke mreže kod kojih vrednosti izlaznih signala zavise isključivo od trenutnih vrednosti ulaznih signala,

– **sekvencijalne prekidačke mreže** - prekidačke mreže kod kojih vrednosti izlaznih signala zavise od trenutnih vrednosti ulaznih signala i od vrednosti signala na nekim unutrašnjim linijama mreže koji opisuju stanje mreže.

Osim po zakonitostima po kojima funkcionišu, kombinacione i sekvencijalne mreže se razlikuju i po svojoj strukturi. Kombinacione prekidačke mreže se realizuju kao skup međusobno povezanih **logičkih elemenata** (logičkih kola), dok u realizaciji sekvencijalnih prekidačkih mreža, osim logičkih kola, učestvuju i **memorijski elementi** koji pamte stanje mreže.

Šema koja pokazuje kako su povezani logički elementi u kombinacionoj prekidačkoj mreži ili logički i memorijski elementi u sekvencijalnoj prekidačkoj mreži predstavlja strukturnu šemu prekidačke mreže.

Određivanje skupa prekidačkih funkcija koje opisuju rad prekidačke mreže na osnovu njene strukturne šeme naziva se **analizom prekidačke mreže**.

Obrnut postupak, projektovanje strukturne šeme prekidačke mreže na osnovu sistema prekidačkih funkcija koje ona treba da realizuje naziva se **sintezom prekidačke mreže**.

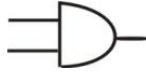
Problemima analize i sinteze prekidačkih mreža bavi se posebna naučna oblast koja se u literaturi može sresti pod nazivom **prekidačka teorija** (engl. switching theory) ili **logičko projektovanje** (engl. logic design).

### 7.1 Logička kola

Osnovne logičke operacije su **NE**, **ILI**, **I** i ekskluzivno **ILI**. Ove operacije, da bi generisale rezultat, slede pravila matematičke logike sa samo dve vrednosti: tačan i netačan (1 i 0).

#### Operacija I (AND)

Naziva se još i **logičko množenje** ili **konjunkcija**. Simbol i tabela istinitosti za dve vrednosti ulazih promenljivih  $X$  i  $Y$ , i izlaznu funkciju  $Z$  logičkog kola koje realizuje operaciju I je:



Simbol I kola ( $Z=X \cdot Y$ )

X	Y	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabela istinitosti I kola

Rezultat ove operacije je istinit (logička jedinica, 1), samo ako su sve ulazne vrednosti istinite (1). Rezultat operacije I (AND) je jednak 0 ako je bar jedna ulazna vrednost jednaka 0.

Broj mogućih kombinacija ulaznih veličina jednak je  $2^n$  gde je n broj ulaznih veličina. Ovde imamo 2 ulazne veličine pa je broj ulaznih kombinacija  $2^2=4$ .

### Operacija ILI (OR)

Ova operacija se vrši nad dve ili više ulaznih vrednosti a naziva se još i **logičko sabiranje** ili **disjunkcija**. Da bi rezultat ove operacije bio jednak 1 (tačan) mora bar jedna ulazna veličina imati vrednost 1 (tačan).

Simbol i tablica istinitosti za ILI kolo je:



Simbol ILI kola ( $X+Y$ )

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabela istinitosti ILI kola

### Negacija (NOT)

Ovo je najprostija logička operacija koja se obavlja nad jednim operandom. Zove se još i **NE** operacija (**inverzija** ili **komplementiranje**). Ako uzima vrednost tačan (1) konvertuje je u vrednost netačan (0) i obrnuto. Na slici je pokazana tabela istinitosti ako je X ulazna veličina a Z rezultat.



Simbol NE kola ( $Z = \bar{X}$ )

X	Z
0	1
1	0

Tabela istinitosti NE kola

### Ekskluzivno ILI

Naziva se još i **isključivo ILI** i daje istinit rezultat (tačan 1), ako je **jedna i samo jedna** od ulaznih veličina istinita (1).



Simbol logičkog kola ekskluzivno ILI ( $Z=X\oplus Y$ )

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabela istinitosti kola ekskluzivno ILI

Logičko kolo, ili logički element, je skup električnih komponenti koje realizuju jednu Bulovu operaciju. Kako su Bulove operacije definisane kao funkcije jedne ili 2 promenljive, očekuje se da logička kola imaju 1 ili 2 ulaza. U praksi se prave i logička kola sa većim brojem ulaza, ali je broj ulaza u logičko kolo obično stepen dvojke (2,4,8...).

U strukturnim šemama prekidačkih mreža, logički elementi se prikazuju:

- uniformnim grafičkim simbolom u koji je upisana oznaka operacije koju kolo realizuje, ili
- posebnim grafičkim simbolima za svaki tip logičkog elementa (tip logičkog elementa odgovara operaciji koju realizuje).

U tabeli 7.1 navedeni su nazivi i grafički simboli logičkih elemenata koji se najčešće koriste u prekidačkim mrežama. Grafički simboli su po američkom standardu. Postoje i DIN, IEC standardi i drugi...

Naziv logičkog elementa	Grafički simbol
I kolo	
ILI kolo	
NI kolo	
NILI kolo	
NE kolo	
ISKLUČIVO ILI kolo	

Tabela 7.1 Grafički simboli najbitnijih logičkih elemenata  
Kombinacijom ovih osnovnih logičkih kola mogu se dobiti i NI i NILI kolo.

Pri izboru koje ćemo logičke elemente koristiti za realizaciju svoje prekidačke mreže treba voditi računa o različitim parametrima koji opisuju njihov rad i pouzdanost.

Najbitiniji parametri logičkih elemenata su:

1. **Zakon funkcionisanja** - predstavlja Bulovu operaciju koju element realizuje.
2. **Broj ulaza** - određuje broj ulaznih priključaka.
3. **Maksimalno opterećenje izlaza** ili **koeficijent izlaza** - definiše broj logičkih elementata na čije ulaze se može dovoditi izlazni signal datog logičkog elementa.

4. **Kašnjenje signala** - vremenski period koji protekne od trenutka promene vrednosti ulaznih signala do trenutka kada se uspostavi odgovarajući izlazni signal,

5. **Način kodiranja binarnih vrednosti** - Binarne vrednosti 0 i 1 se u digitalnim sistemima najčešće predstavljaju naponskim nivoima. Koliki će ti naponski nivoi biti zavisi od tehnologije koja je korišćena za realizaciju logičkih kola. Uobičajeno je da se logička kola se napajaju naponom nominalne vrednosti 5V. Idealno bi bilo da se logička nula predstavlja naponskim nivoom od 0V, a logička jedinica naponskim nivoom od 5V. Međutim, ove idealne uslove je teško postići pa se u praksi svi naponski nivoi u opsegu 0V-0.8V smatraju binarnom nulom, a svi naponski nivoi u opsegu 2V-5V binarnom jedinicom. Ovakav način kodiranja binarnih vrednosti naponskim nivoom se naziva **pozitivnom logikom**. Neka logička kola koriste i **negativnu logiku kodiranja** što podrazumeva da se logička nula kodira višim, a logička jedinica nižim naponskim nivoom.

6. **Disipacija snage** - određuje količinu energije koja se troši na logičkom elementu u jedinici vremena.

7. **Temperaturni opseg pouzdanog rada** - Za svaki logički element se propisuje temperaturni opseg u kojem se garantuje njegov pouzdani rad. U slučaju kada će elementi raditi u uslovima sobne temperature, temperaturni opseg pouzdanog rada je 0°C-70°C. Za rad u ekstremnim temperaturnim uslovima koriste se logički elementi sa temperaturnim opsegom -25°C-125°C.

#### 8. **Cena.**

Obično su zahtevi pri odabiru logičkih elemenata kontradiktorni - traži se da cena elemenata bude što niža, disipacija snage, takođe, manja, a pouzdanost rada veća. Zavisno od toga u koje svrhe će se prekidačka mreža koristiti traži se kompromis između ovih kriterijuma.

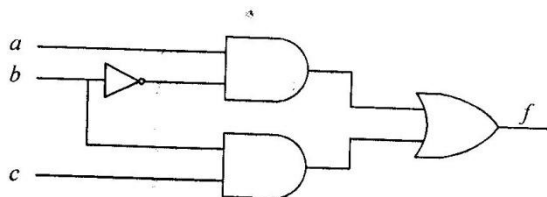
## 7.2 Kombinacione prekidačke mreže

Kao što je već rečeno, kombinacione mreže predstavljaju kompoziciju logičkih elemenata ili preciznije, kompoziciju logičkih elemenata u kojoj ne postoje povratne veze. Pod povratnom vezom se podrazumeva put u prekidačkoj mreži kojim može da prođe signal od izlaza nekog logičkog elementa do njegovog ulaza.

Pravila za povezivanje logičkih elemenata u kombinacionoj prekidačkoj mreži su sledeća:

1. Na ulaz logičkog elementa se može priključiti:
  - primarni ulaz mreže,
  - izlaz drugog logičkog elementa, ili
  - konstanta 0 ili 1.
2. Izlazni priključci dva logička elementa ne mogu biti direktno vezani.
3. Izlazni priključak logičkog elementa ne sme biti direktno ili indirektno vezan sa svojim ulazom.

Strukturalna šema jedne kombinacione mreže prikazana je na slici 7.2.



Slika 7.2 Strukturalna šema kombinacione mreže

Kao što se sa slike vidi, ulazni signal prolazi kroz više logičkih elemenata u mreži dok ne dođe do izlaza. Maksimalni broj logičkih elemenata kroz koje prođe signal od ulaza u mrežu do njenog izlaza naziva se **stepen prekidačke mreže**. Takođe, za svaki element u mreži se može definisati stepen ili nivo kojem pripada kao maksimalni broj logičkih elemenata kroz koje signal prođe od ulaza u mrežu do njegovog izlaza.

Mreža sa slike 7. 2 je trostepena. Na prvom nivou (stepenu) se nalazi NE kolo i I kolo čiji su ulazi signali  $b$  i  $c$ . Na drugom nivou je I kolo na čije je ulaze priključen signal  $a$  i izlaz NE kola, a na trećem nivou ILI kolo.

### 7.2.1 Analiza kombinacionih prekidačkih mreža

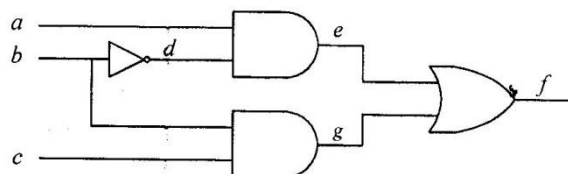
Analiza kombinacione mreže treba da nam omogući da razumemo kako radi prekidačka mreža predstavljena svojom strukturnom šemom, ili formalno: zadatak analize kombinacione mreže je da odredi sistem prekidačkih funkcija koje opisuju rad date mreže.

Koraci u analizi kombinacione mreže su:

1. Obeležiti pomoćnim simbolima izlazne signale iz svih logičkih elemenata u mreži čiji izlazi ne predstavljaju izlaze čitave mreže.
2. Napisati izraze funkcionalnih zavisnosti izlaznih signala od ulaznih za svaki logički element u mreži.
3. U izrazima koji definišu funkcionalnu zavisnost izlaznih signala cele mreže vršiti zamenu pomoćnih promenljivih izrazima definisanim u koraku 2. dok se ne dobije zavisnost izlaznih signala isključivo u funkciji primarnih ulaznih signala.
4. Predstaviti dobijenu funkciju na neki od standardnih načina.

**Primer 7.1** Izvršićemo analizu kombinacione mreže sa slike 7.2.

*Korak 1.* Obeležićemo izlaze iz logičkih elemenata kao na slici 7.3.



Slika 7.3 Strukturna šema kombinacione mreže sa obeleženim izlaznim signalima iz svih logičkih elemenata

*Korak 2.* Napisaćemo izraze koji opisuju rad svakog logičkog elementa u mreži:

$$\begin{aligned}d &= \bar{b} \\e &= a \cdot d \\g &= b \cdot c \\f &= e + g\end{aligned}$$

*Korak 3.* Transformisaćemo izraz za izlazni signal  $f$ .

$$f = e + g = a \cdot d + b \cdot c = a \cdot \bar{b} + b \cdot c$$

*Korak 4.* Kreiraćemo tablicu istinitosti dobijene funkcije.

Tabela 7.2 Tablica istinitosti prekidačke funkcije koja opisuje rad kombinacione prekidačke mreže sa slike 7.2

$abc$	$\bar{b}$	$a\bar{b}$	$b \cdot c$	$f(a,b,c)$
000	1	0	0	0
001	1	0	0	0
010	0	0	0	0
011	0	0	1	1
100	1	1	0	1
101	1	1	0	1
110	0	0	0	0
111	0	0	1	1

Ako ulazi  $a, b$  i  $c$  imaju vrednost 0 (kao u prvom redu tabele) onda je  $\bar{b}=1$ ,  $a \cdot \bar{b} = 0$ ,  $b \cdot c = 0$ , pa je izlaz  $f(a,b,c)=0$ .

Ako sva tri ulaza imaju vrednost 1 (kao u poslednjem redu tabele) onda je  $\bar{b} = 0$ ,  $a \cdot \bar{b} = 0$ ,  $b \cdot c = 1$  i  $f(a,b,c)=1$ .

### 7.2.2 Sinteza kombinacionih prekidačkih mreža

Opšti zadatak sinteze kombinacionih mreža sastoji se u sledećem: Dat je sistem prekidačkih funkcija  $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , ( $i=1, 2, \dots, m$ ), traži se strukturna šema, odnosno mreža logičkih elemenata, koja realizuje te funkcije. Sinteza prekidačke mreže se ostvaruje tako što se ona realizuje spregom nekih prostijih, najčešće logičkih elemenata.

Jedan od problema koji treba rešiti pre samog postupka sinteze jeste izbor logičkih elemenata. Proces sinteze kombinacionih prekidačkih mreža se odvija kroz 3 faze:

1. izbor logičkih elemenata koji će se koristiti u realizaciji mreže,
2. određivanje neke minimalne analitičke forme na osnovu koje će se mreža realizovati (minimizacija funkcije),
3. crtanje same strukturne šeme mreže.

Pri izboru logičkih elemenata koji će se u mreži koristiti treba voditi računa o tome da operacije koje su realizovane izabranim logičkim elementima čine bazis u prekidačkoj algebri (tako smo sigurni da ćemo pomoću izabranih kola moći da realizujemo bilo koju prekidačku funkciju) i da izabrani elementi zadovoljavaju dodatne kriterijume korisnika mreže.

Dodatni kriterijumi korisnika mogu biti:

- cena celokupne mreže,
- vreme kašnjenja kroz mrežu (što možemo minimizovati smanjenjem stepena mreže ili izborom elemenata sa manjim kašnjenjem),
- potrošnja energije, ...

Ipak, centralni problem koji se rešava pri sintezi kombinacionih prekidačkih funkcija je minimizacija analitičke forme kojom je funkcija predstavljena ili kraće rečeno minimizacija prekidačke funkcije. U praksi se najčešće traži najprostiji izraz u određenoj klasi analitičkih izraza kojima se može predstaviti prekidačka funkcija. Za minimizaciju je razvijen veliki broj metoda: minimizacija pomoću hiperkubova, pomoću Karnoovih karti, ...

### 7.3. Standardni kombinacioni moduli

Uočeno je da se u mnogim kombinacionim mrežama, koje su sastavni delovi različitih digitalnih uređaja (uključujući i računare), stalno pojavljuju isti delovi. Takvi delovi se nazivaju standardnim kombinacionim modulima. Oni se proizvode kao posebne komponente i koriste se za projektovanje složenijih kombinacionih mreža.

Svaki standardni modul je definisan:

- skupom ulaznih i izlaznih priključaka i
- funkcionalnom zavisnošću izlaznih od ulaznih signala.

U strukturnim šemama se standardni moduli predstavljaju pomoću grafičkih simbola na kojim su obeleženi ulazni i izlazni priključci.

Najčešće korišćeni standardni kombinacioni moduli su:

- multiplekseri,
- demultiplekseri,
- koderi,
- dekoderi,
- konvertori kodova,
- sabirači,
- inkrementatori i dekrementatori,
- komparatori.

Napomena: Za ovu prezentaciju korišćeni su delovi iz navedene literature prilagođeni obimu dokumenta koji šaljemo mejlom na sajt škole.

Literatura:

1. S. Stojković, N. Stojanović, D. Stojanović: Uvod u računarstvo, Niš, 2014
2. Ž.Tošić: Osnovi računarske tehnike, Niš, 1994
3. D. Prokin, V.Petrović, M. Mijalković: Zbirka zadataka iz Osnova računarske tehnike, Visoka tehnička škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, 2013.

#### Pitanja za proveru znanja

1. Šta su prekidačke mreže?
2. Koja su dva osnovna tipa prekidačkih mreža?
3. Koje su osnovne logičke operacije?
4. Nacrtati simbol, tablicu istinitosti i objasniti ILI logičko kolo.
5. Zašto je temperaturni opseg važan za rad logičkog kola?
6. Koja su pravila za povezivanje logičkih elemenata u kombinacionoj prekidačkoj mreži?
7. Koji je zadatak sinteze prekidačkih mreža?