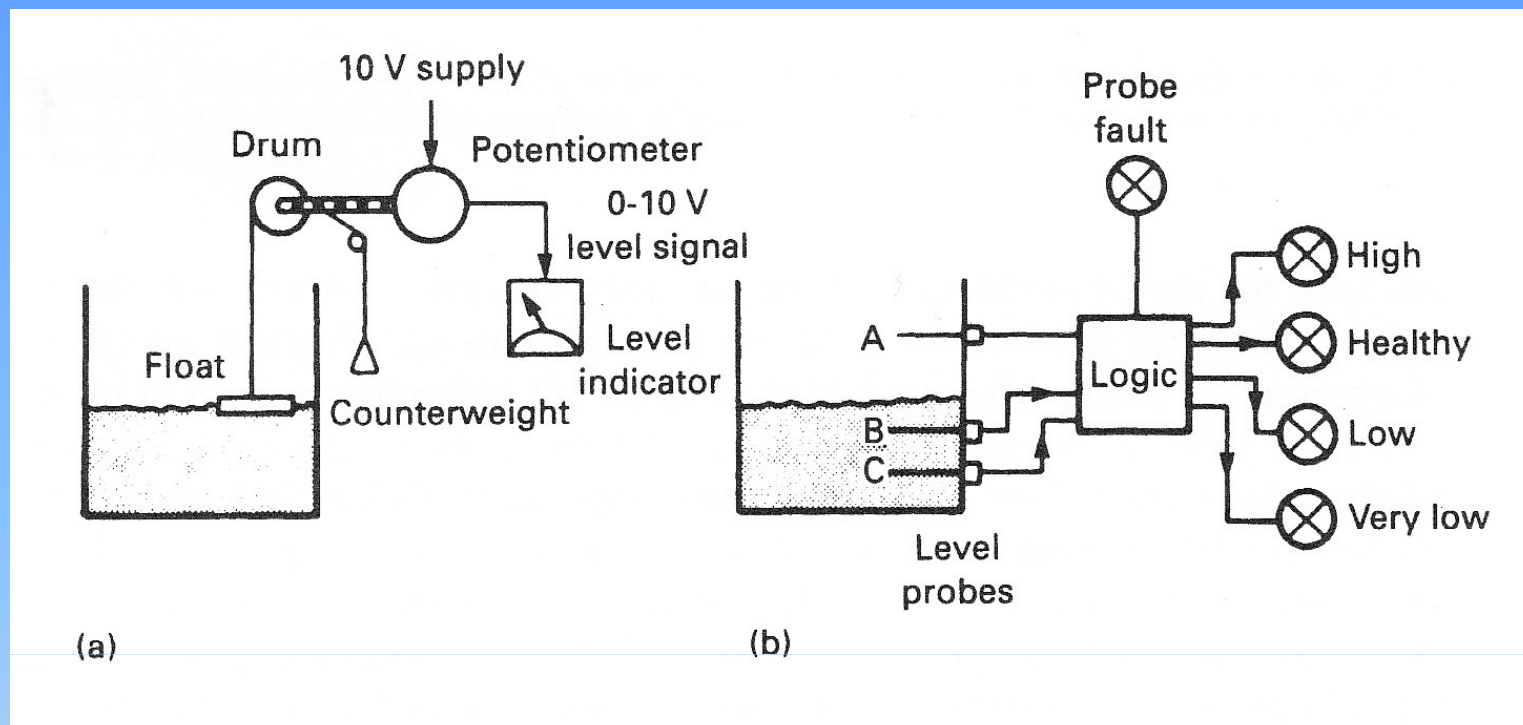


9. OBRADA SIGNALA

- Signali u procesu automatizacije se mogu pretvarati na konvencionalan način kao vrijednost pneumatskog tlaka ili na električni način kao vrijednost električnog napona ili jakosti
- Tako npr. pneumatski signal od 3 do 15 psi može predstavljati protok tekućine od 0 do 600 litara u minuti, odnosno električna struja jakosti 0 do 20 mA može predstavljati temperaturu od -100°C do +400°C
- Za navedene signale se kaže da su kontinuirano varijabilni jer mogu zauzeti bilo koju vrijednost između dvije krajnje granice
- Npr. očitavanje temperature od 250°C biti će predstavljeno signalom električne jakosti od 15.2 mA, odnosno protok od 540 litara u minuti biti će predstavljen pneumatskim tlakom od 13.8 psi u mjerачu protoka
- U navedenim primjerima električni ili pneumatski signal se koristi kao analogna vrijednost (analogni signal) procesne varijable (ulaznog signala) i ta analogna vrijednost slijedi promjenu procesne varijable unutar granica preciznosti senzorskog uređaja

- Ovakvi uređaji se zovu **analogni sustavi**
- Za razliku od analognih sustava, digitalni sustavi rade sa signalima koji mogu imati samo određenu vrijednost
- Većina digitalnih sustava radi s električnim signalima koji mogu imati samo dvije vrijednosti, 5 V ili 0 V, na primjer.
- Sustav s dvije vrijednosti svojstven je većini digitalnih sustava automatizacije pa je tako npr. svijetlo upaljeno ili ugašeno (on ili off), ventil je otvoren ili zatvoren, motor radi ili je zaustavljen, itd.
- Na slici 126. prikazane su dvije metode mjerenja razine tekućine
- U slučaju 126.a) plovak je mehanički povezan s potenciometrom koji daje izlazni signal proporcionalan s mjerenom razinom tekućine
- Unutar rezolucijskih limita potenciometra, napon može biti bilo koja vrijednost između 0 V i 10 V, ovisno o razini mjerene tekućine.
- Ovaj slučaj je primjer analognog sustava



Slika 126. Usporedba analognih i digitalnih sustava: a) analogni sustav, b) digitalni sustav

- U slučaju 126. b) koriste se tri elektrode A, B i C kao mjerni uređaji razine (imaju funkciju prekidača)
- Ovi tzv. prekidači mogu biti u poziciji ON ili OFF, gdje je pozicija ON definirana kada je elektroda uronjena u tekućinu
- Prema slici 126. b) postoje 4 moguća stanja prekidača A, B i C kako je definirano na slici 127.

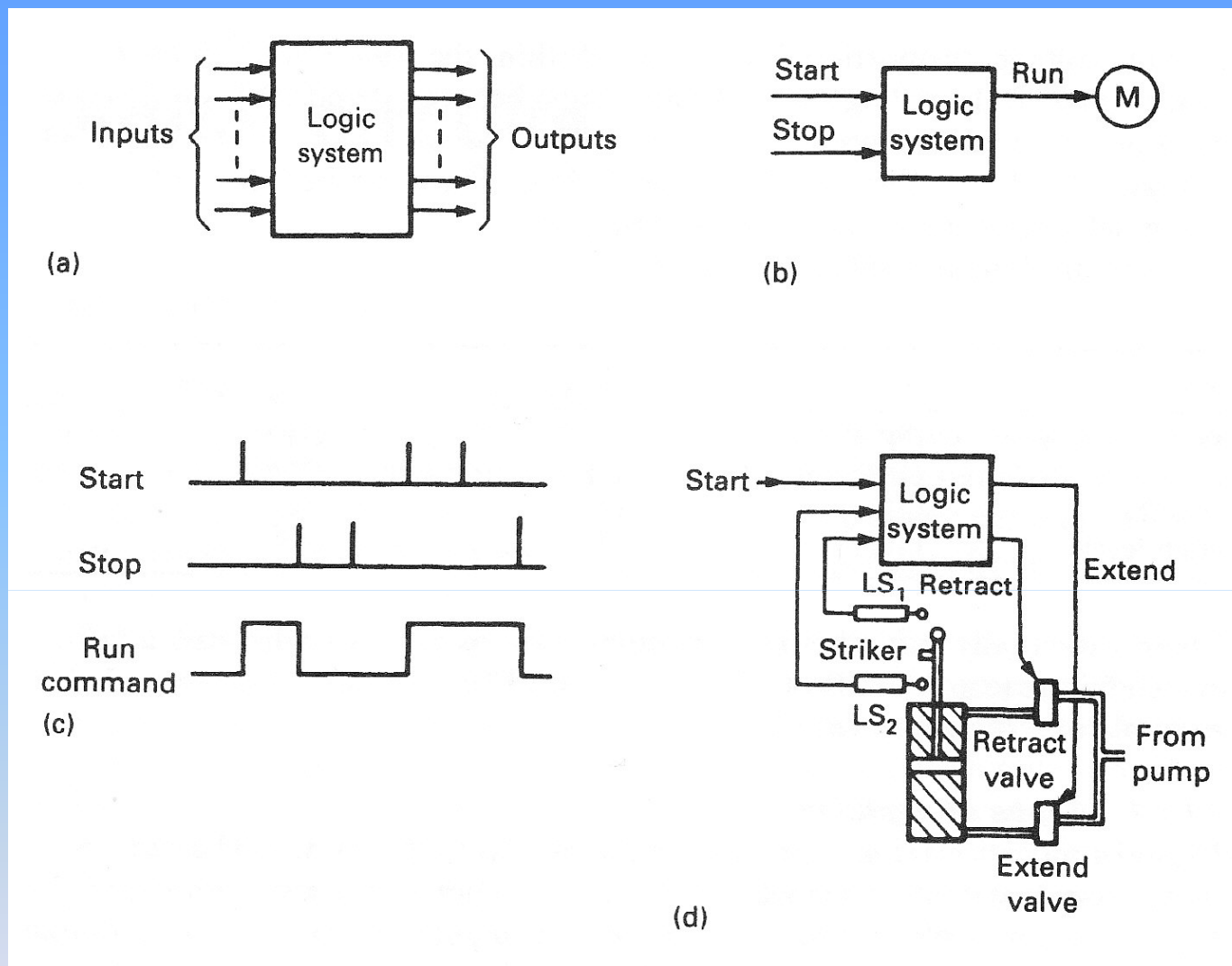
<i>State</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Very low level	OFF	OFF	OFF
Low level	OFF	OFF	ON
Healthy	OFF	ON	ON
High level	ON	ON	ON

Slika 127. Stanja prekidača A, B i C

- Uz stanja navedena na slici 127. postoje još 4 moguće kombinacije prekidača A, B i C, ali u tom slučaju sve 4 kombinacije signaliziraju grešku prekidača (npr. A je ON, B je OFF, C je ON)
- Shema na slici 126. b) koristi ON/OFF izlazne signale pa je prema tome primjer digitalnog sustava

Vrste digitalnih krugova

- Digitalni krugovi koji se koriste u digitalnim sustavima mogu se podjeliti u tri tipa
- Najjednostavniji tipovi koriste kombinacijsku logiku (*statičku logiku*) i prikazani su na slici 128. a)
- Takvi tipovi imaju nekoliko digitalnih ulaznih signala te jedan ili više digitalnih izlaznih signala
- Izlazni signali su jedinstveno definirani za svaku kombinaciju ulaznih signala, te jednaka kombinacija ulaznih signala dati će uvijek jednaki izlazni signal
- Digitalni krugovi s sekvencijskom (*redoslijednom*) logikom slični su sustavima s kombinacijskom logikom, samo ovdje izlazni signal ovisi ne samo o ulaznim signalima, nego i o podatku o prijašnjem stanju sustava (što je sustav radio prije ovih ulaznih signala)
- Sustavi sa sekvencijskom logikom stoga imaju memoriju i elemente za pohranu informacija
- Vrlo jednostavan primjer digitalnih krugova s sekvencijskom logikom je starter motora na slici 128. b)



Slika 128. Tipovi digitalnih sustava, digitalni krugovi s kombinacijskom i sekvencijskom logikom:
 a) sustav s kombinacijskom logikom, b) starter motora, c) rad startera motora,
 d) sustav s sekvencijskom logikom

- Ulazni signal za start motora izaziva početak rada motora i motor će nastaviti raditi i u slučaju da više nema ulaznog signala za start motora
- Ulazni signal za zaustavljanje motora zaustavlja rad motora
- Bitno je naglasiti da će motor biti u radu ili će biti zaustavljen čak i u slučaju da su uklonjeni ulazni signali, tj. stanje motora će ovisiti o zadnjem ulaznom signalu koji je djelovao na motor
- U ovakvom slučaju izlazni signal nije samo definiran ulaznim signalom već i memorijom uređaja koji prima ulazne signale
- Primjer sekvencijske logike prikazan je i na slici 128. d)
- Digitalni krug ima tri ulazna signala (*start i dva granična prekidača*) i dva izlazna signala (*produži, povuci*)
- Ulazni signal za start izaziva produženje hidrauličnog nosača do dodira s graničnim prekidačem LS_1 (*limit switch*)

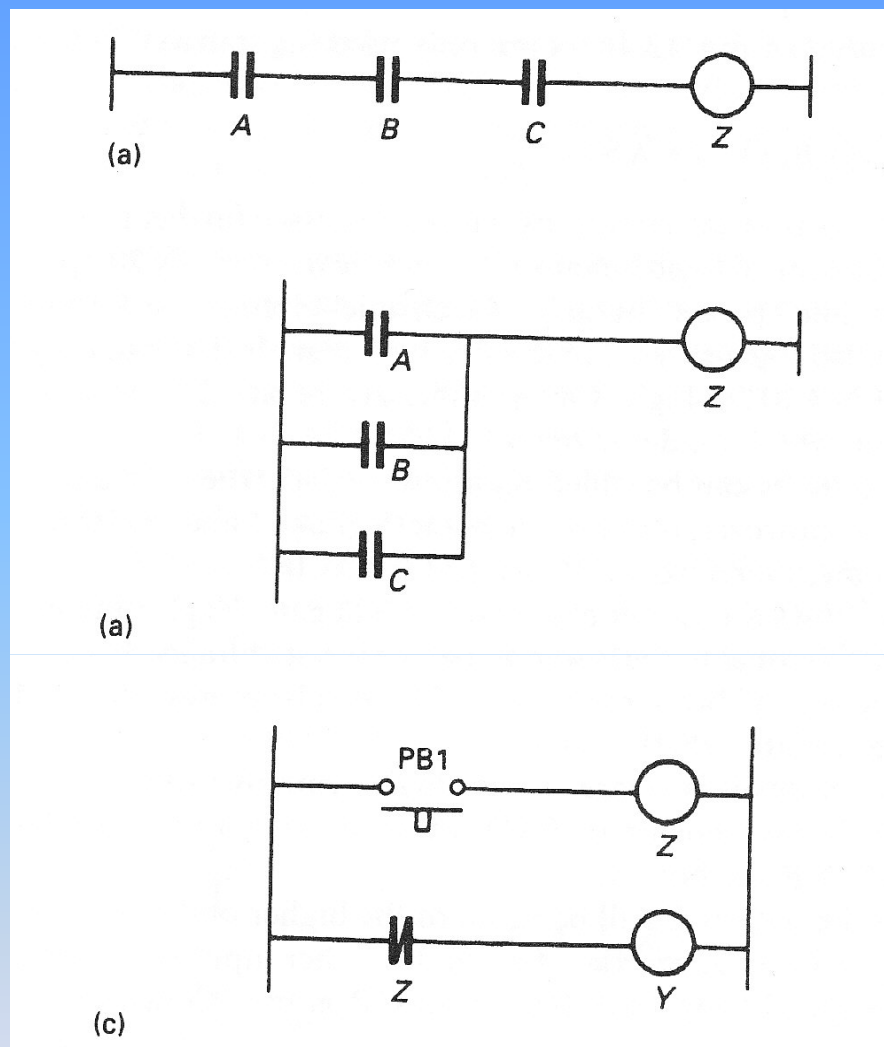
- Nakon toga hidraulički nosač se povlači dok ne dodirne prekidač LS_2 , te se zadržava u toj točki do primitka novog ulaznog signala za start
- Treća vrsta digitalnih krugova koristi digitalni signal za predstavljanje brojeva i za operacije s brojevima
- U ovakve sustave spadaju jednostavni brojači i digitalni displej uređaji, te složeni aritmetički i računalni krugovi

Logički prolazi (logic gates)

- Najjednostavniji digitalni uređaj je elektromagnetski relej
- Na slici 129. prikazani su temeljni načini rada elektromagnetskih releja
- Slika 129.a) prikazuje zavojnicu Z koja će se staviti pod napon kada su osigurani kontakti A i (AND) kontakt B i (AND) kontakt C
- Serijski povezani kontakti izvode funkciju AND

- Za razliku od slučaja 129. a), u slučaju 129. b) zavojnica Z će doći pod napon kada je osiguran kontakt A ili (OR) kontakt B ili (OR) kontakt C
- Paralelni spoj kontakata daje funkciju OR
- Na slici 129. c) zavojnica Z je pod naponom kada je prekidač PB1 pritisnut
- Standardno zatvoreni kontakt Z kontrolira zavojnicu Y, kada je zavojnica Z pod naponom, zavojnica Y nije i obratno (inverzno)
- Funkcija standardno zatvorenog kontakta je da propušta elektricitet kada je zatvoren, odnosno kada je otvoren ne propušta elektricitet

- Kada prekidač PB1 nije pritisnut nema protoka elektriciteta kroz njega i zavojnica Z nije pod naponom, istovremeno standardno zatvoreni kontakt Z je zatvoren i propušta elektricitet i zavojnica Y je pod naponom
- Pritiskom na prekidač PB1 osigurava se protok elektriciteta do zavojnica Z i ona se stavlja pod napon, a istovremeno se standardno zatvoreni kontakt otvara što uzrokuje prekid protoka elektriciteta i zavojnica Y više nije pod naponom
- Ovo je djelovanje INVERT funkcije
- Digitalni krugovi kombinacijske logike grade se oko funkcija AND, OR i INVERT
- Na slici 130. zavojnica Z će biti pod naponom kada je standardno zatvoreni kontakt zatvoren i (AND) kontakti B ili (OR) C otvoreni



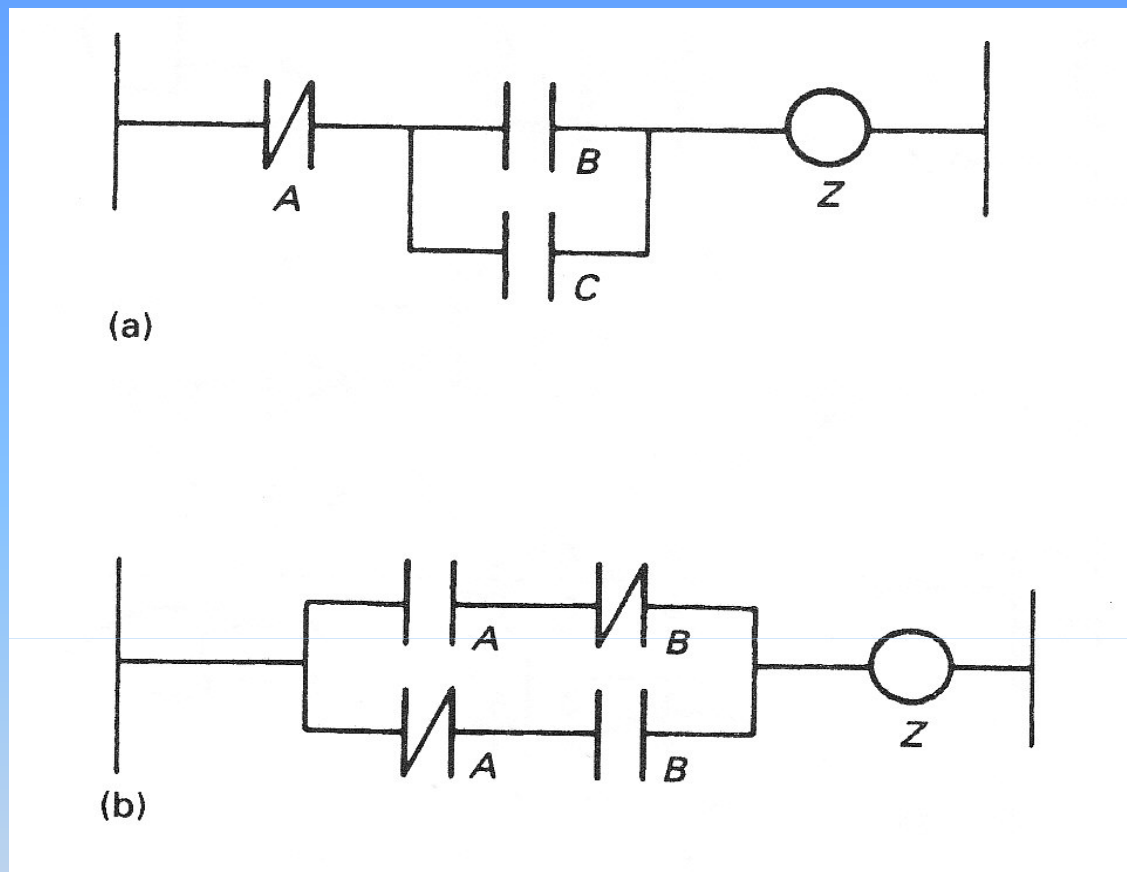
Slika 129. Jednostavna relejna logika: a) AND funkcija
b) OR funkcija, c) INVERT funkcija

- Jednostavniji način opisivanja složenijih kombinacija od verbalnog je pomoću matematičkih formula

- Tako je slika 130. a) opisana:

$$Z = A \text{ AND } (B \text{ OR } C)$$

- Gdje je povlaka iznad slova A simbol za standardno zatvoreni kontakt

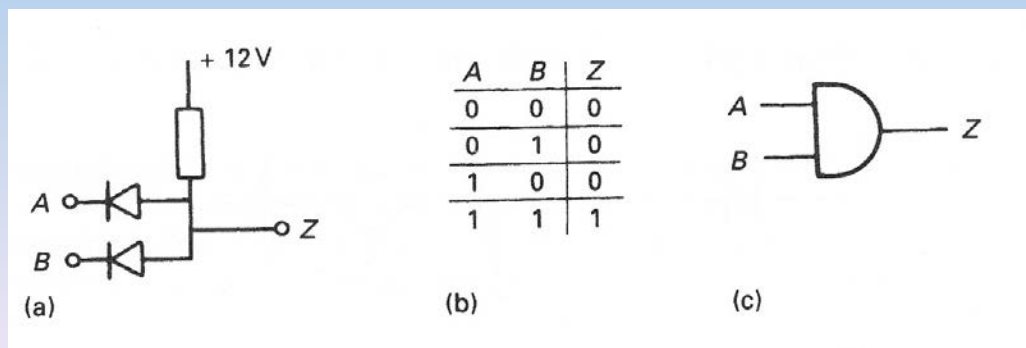


Slika 130. Primjeri relejne logike

- Slično kao i na 130. a), shema na 130. b) može se izraziti matematičkom jednačbom:

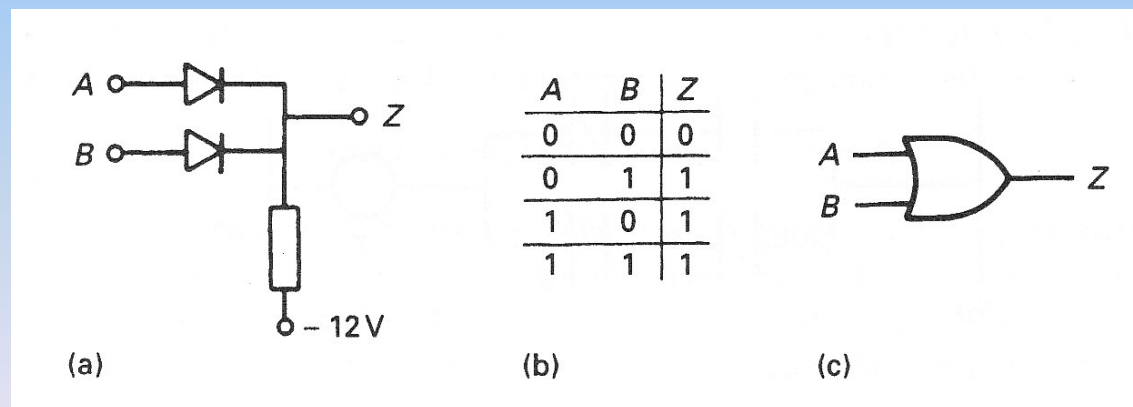
$$Z = (A \text{ AND } \bar{B}) \text{ OR } (\bar{A} \text{ AND } B)$$

- Navedene jednađžbe poznate su kao Booleanove jednađžbe
- Releji mogu izvoditi sve logičke funkcije ali su spori (svega 20 operacija u sekundi) i troše puno energije
- Elektronički krugovi koji izvedu iste operacije kao i releji zovu se logički prolazi (logic gates) i rade sa signalima koji mogu biti samo u dva stanja
- Signal u kombinacijskoj logici npr. može imati vrijednost 12 V ili 0 V i može predstavljati granični prekidač koji je ili otvoren ili zatvoren
- Na slici 131. prikazan je digitalni krug jednostavnog AND logičkog prolaza
- Izlazni signal Z biti će jednak nižoj vrijednosti jednog od dva ulazna signala A i B, tj. izlazni signal Z biti će 1 samo ako je vrijednost oba ulazna signala 1



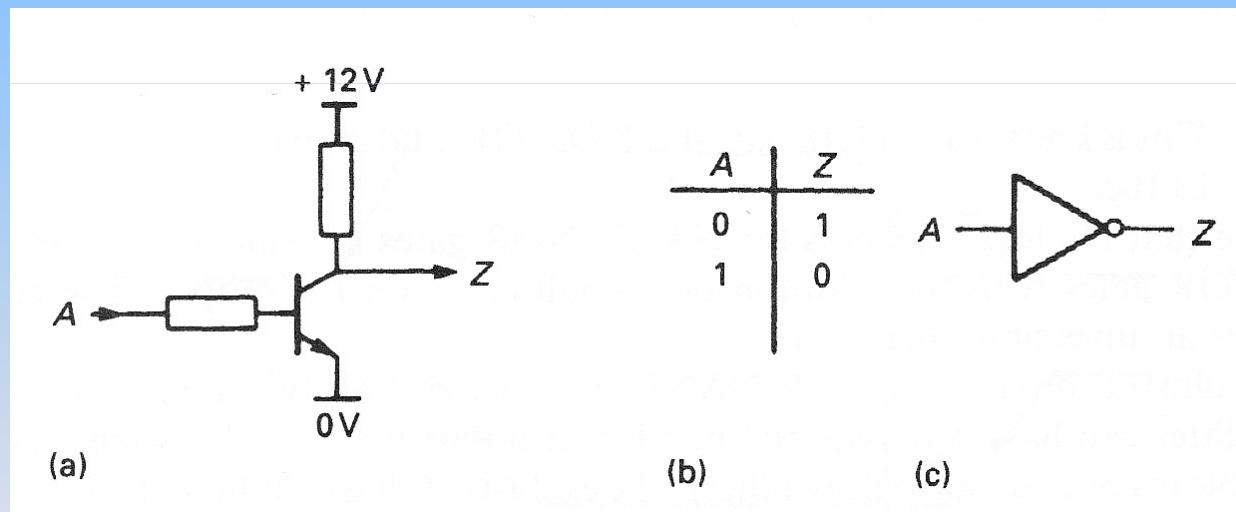
Slika 131. AND logički prolaz: a) električni krug, b) tablica istine, c) logički simbol

- Na slici 131.a) prikazan je dijagram električnog kruga logičkog prolaza AND, a na slici 131.b) prikazana je tzv. tabela istine za različite vrijednosti ulaznih signala A i B
- Simbol za AND logički prolaz prikazan je na slici 131.c)
- Na slici 132. prikazan je OR logički prolaz
- Izlazni signal Z biti će jednak većoj vrijednosti od dva ulazna signala A i B, pa će stoga izlazni signal Z biti jednak 1 ako je bilo koji od dva ulazna signala ima vrijednost 1
- I na ovoj slici pod a) je prikazana shema električnog kruga, pod b) tabela istine za OR logički prolaz, a pod c) logički simbol OR funkcije



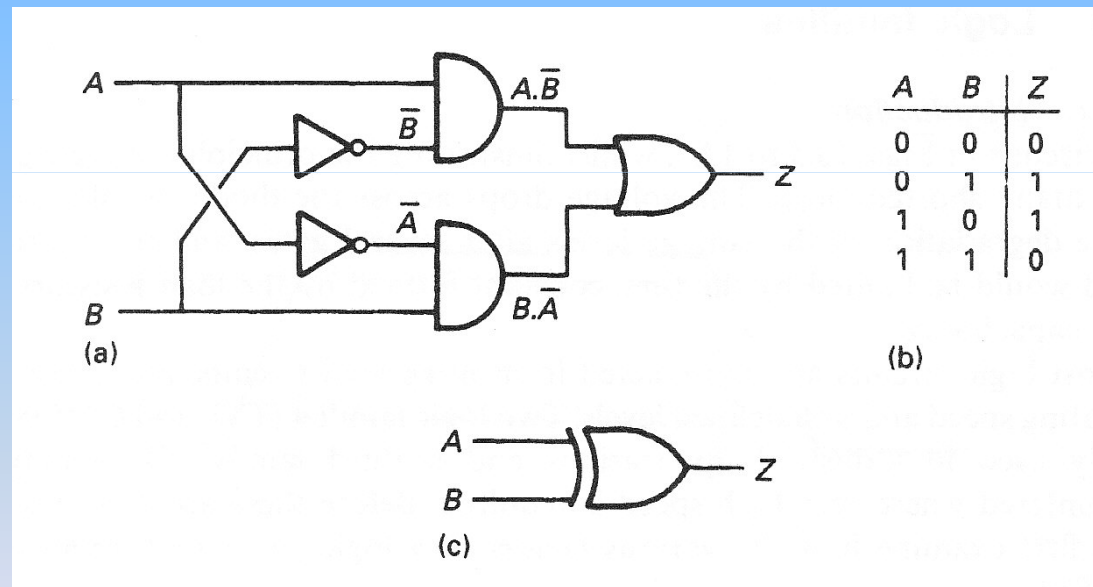
Slika 132. OR logički prolaz: a) električni krug, b) tablica istine, c) logički simbol

- Logički prolaz INVERT prikazan je na slici 133.
- Funkcija INVERT data je primjerom jednostavnog zasićenog tranzistora (133.a)
- Kada je $A = 0$, tranzistor je isključen, te je izlazni signal Z postavljen na stanje 1 pomoću električnog otpornika
- Kada je ulazni signal $A = 1$ tranzistor je zasićen postavljanjem izlaznog signala Z na 0 V, i sami izlazni signal je 0



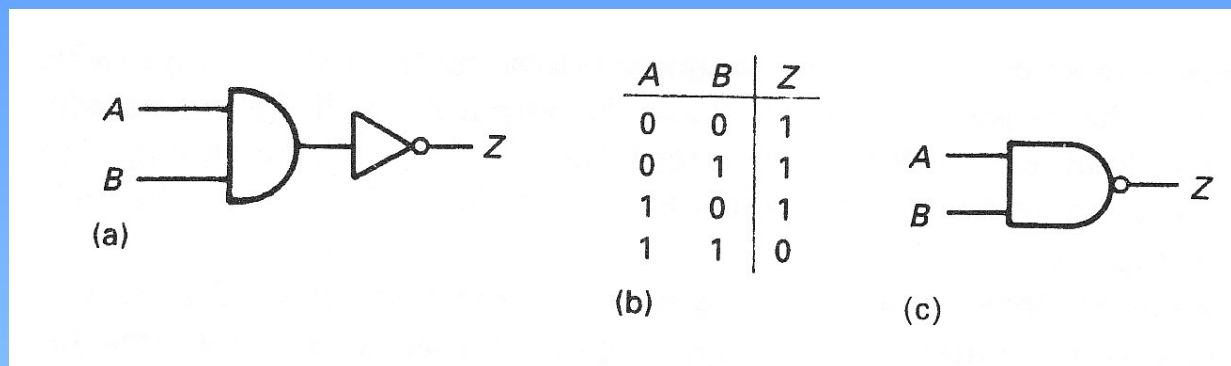
Slika 133. INVERT logički prolaz: a) električni krug, b) tablica istine, c) logički simbol

- Osim navedenih logičkih prolaza s funkcijama AND, OR i INVERT postoje i kombinacije logičkih prolaza kao što su XOR (exclusive OR), NAND (NOT – AND) i NOR (NOT – OR)
- Na slici 134. prikazan je XOR logički prolaz koji se temelji na slici 130.b)
- Iz tabele istine vidi se da je izlazni signal $Z = 1$ samo ako je vrijednost jednog od ulaznih signala jednaka 1



Slika 134. XOR logički prolaz: a) logički dijagram, b) tablica istine, c) logički simbol

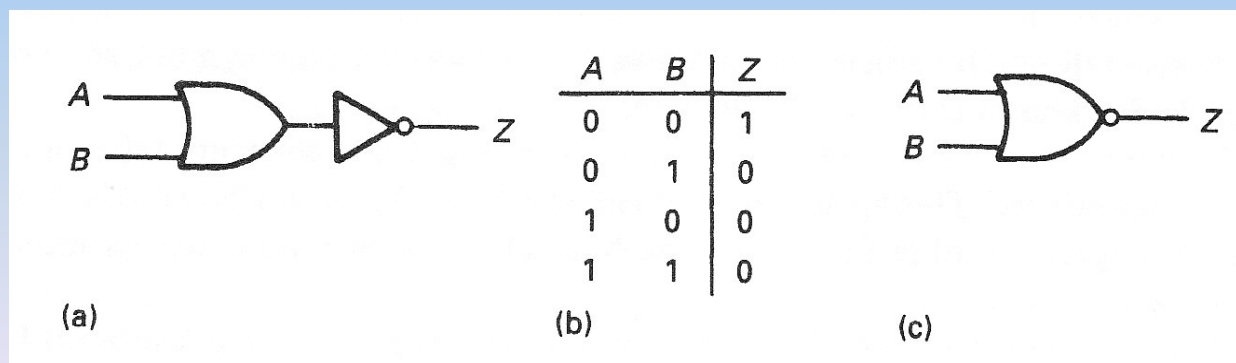
- Na slici 135. prikazan je NAND logički prolaz



Slika 135. NAND logički prolaz: a) logički dijagram, b) tablica istine, c) logički simbol

- U logičkom prolazu NAND funkcija INVERT dodana je poslije funkcije AND i formiran je logički prolaz NAND (NOT – AND)

- Na slici 136. prikazan je logički prolaz NOR



Slika 136. NOR logički prolaz: a) logički dijagram, b) tablica istine, c) logički simbol

- Logički prolaz NOR formiran je dodavanjem funkcije INVERT iza funkcije OR
- Bitno je napomenuti da su logički simboli funkcija NAND i NOR gotovo jednaki logičkim simbolima funkcija AND i OR , uz dodatak malog kruga na kraju simbola
- Taj krug označava dodatak funkcije INVERT iza osnovnih funkcija AND ili OR, tj. označava inverznu operaciju

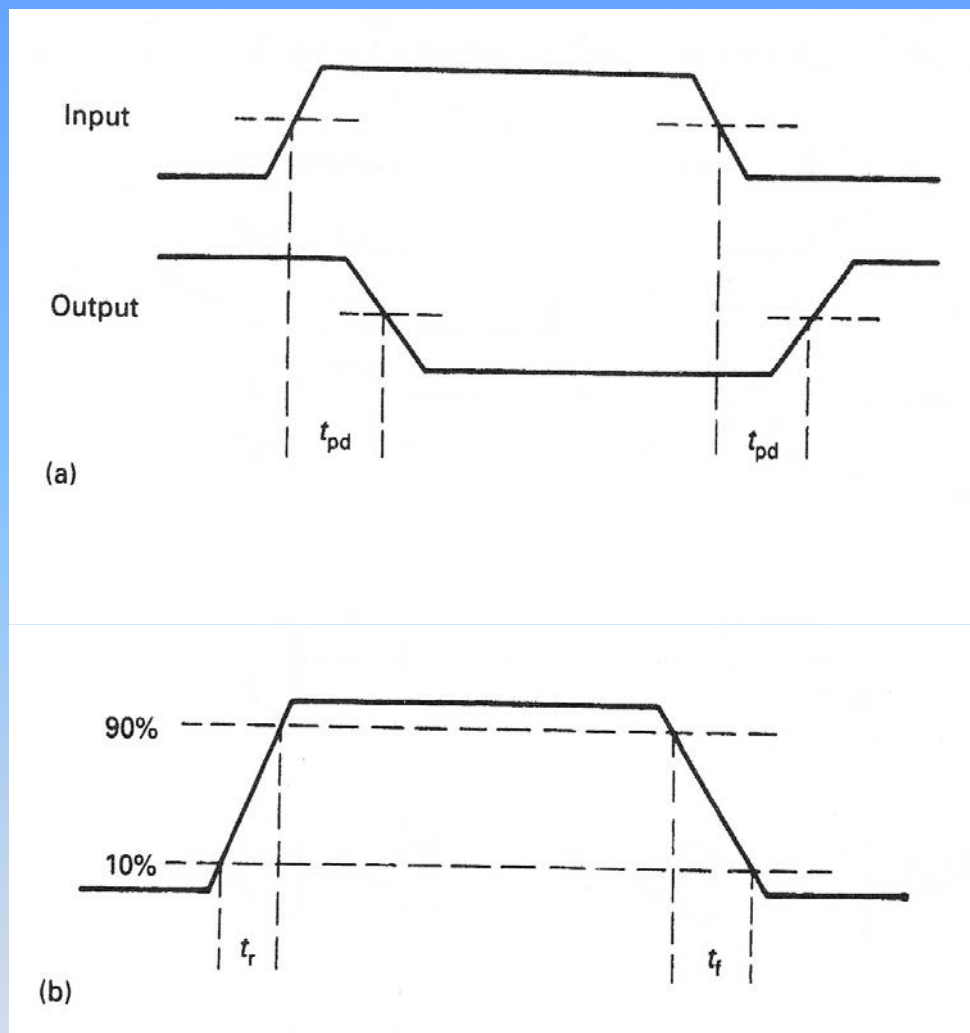
- **Logičke obitelji**

- Električni krugovi prikazani na slikama 131., 132. i 133. ilustriraju osnove rada logičkih prolaza ali također posjeduju nekoliko nedostataka
- Električni napon koji opada prolaskom kroz diode može izazvati ozbiljnu degradaciju ukupne veličine napona nakon prolaska kroz nekoliko logičkih prolaza
- Također i brzina prolaska signala kroz logičke prolaze opada zbog djelovanja električnih otpornika
- Većina logičkih obitelji izrađena je od integriranih električnih krugova i posjeduje veliku brzinu djelovanja

- Najpoznatije logičke obitelji integriranih električnih krugova su:
 - **TTL** (transistor transistor logic – tranzistor tranzistor logika)
 - **CMOS** (complementary metal oxide semiconductor logic – logika komplementarnog poluvodiča metalnog oksida)
 - **ECL** (emitter coupled logic – logika spojenih emitera)
- Logičke obitelji CMOS i TTL često se koriste u industrijskim aplikacijama, a ECL se koristi u aplikacijama gdje je potrebna jako velika brzina djelovanja
- Također je bitno promotriti kako pojedini faktori kao što su brzina i šum utječu na rad logičkih krugova

Brzina

- INVERT logički prolaz ne reagira istovremeno s promjenom vrijednosti ulaznog signala
- Za ulazne signala određene brzine, izlazni signali će biti u određenom zakašnjenju kao što je prikazano na slici 137.



Slika 137. Definicije brzine: a) kašnjenje rasprostiranja, b) vremena porasta i pada

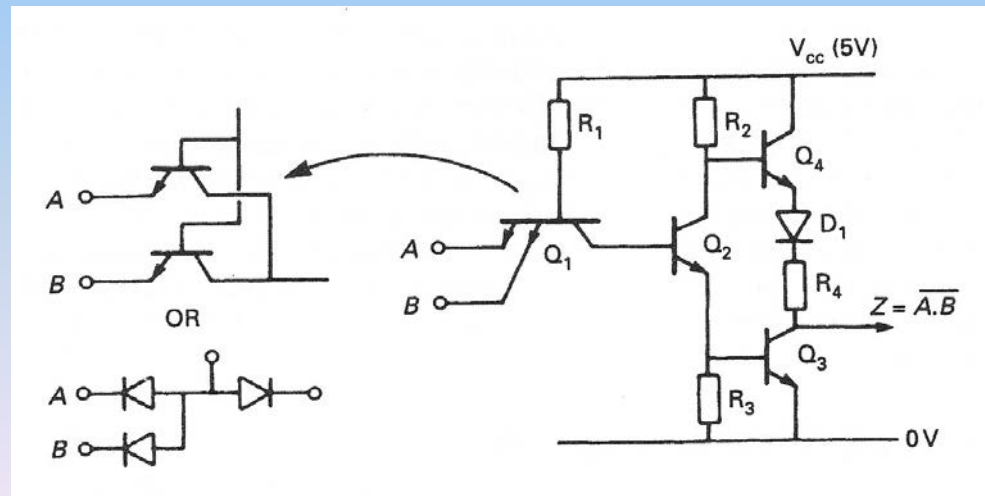
- Zakašnjenje ili kašnjenje se ovdje zove kašnjenje rasprostiranja t_{pd} i definirano je kao vrijednost između srednje vrijednosti ulaznog signala i srednje vrijednosti izlaznog signala
- Granične brzine definirane su vremenima porasta t_r (od 0 do 1) i pada t_f (od 1 do 0)
- Vremena porasta i pada mjere se mjestima 10%-tne i 90%-tne vrijednosti izlaznog signala
- Kašnjenje rasprostiranja i vremena porasta i pada određuju maksimalnu brzinu pri kojoj logičke obitelji rade (TTL – 10 MHz, CMOS – 5 MHz, ECL – preko 500 MHz)

Imunitet na šum

- Električna interferencija može izazvati poremećaj signala pa tako se može dogoditi da se signal vrijednosti 1 pojavi kao signal vrijednosti 0
- Svojstvo logičkog prolaza da odbija takve poremećaje odnosno takve šumove zove se *imunitet na šum (noise immunity)*

TTL logička obitelj

- TTL je najuspješnija logička obitelj i temelji se na NAND logičkim prolazima
- TTL s dva ulaza na NAND logički prolaz prikazan je na slici 138.



Slika 138. TTL logička obitelj

- Postoji najmanje šest verzija TTL logičkih obitelji s različitim brzinama i kašnjenjima rasprostiranja
- Šest najčešćih tipova dato je na slici 139.

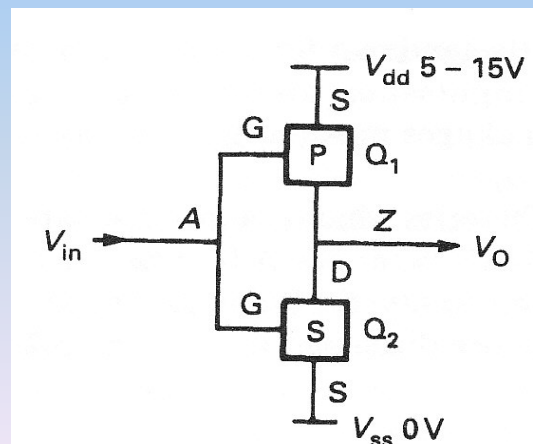
<i>Name</i>	<i>Suffix</i>	<i>Prop delay(ns)</i>	<i>Speed (MHz)</i>
Normal	None	10	25
Schottky	S	3	45
Low power Schottky	LS	9.5	25
Advanced low power Schottky	ALS	5	35
Fast	F	2	100
Advanced fast	AF	2	105

Slika 139. Najčešći tipovi TTL logičkih obitelji

- TTL logičke obitelji su dio tzv. serije 74 (razvijene od tvrtke Texas Instruments)
- Svi tipovi rade na struji napajanja od 5 V i koriste logičke razine 3.5 V za vrijednost signala 1, te 0 V za vrijednost signala 0
- Sufiksi na slici 139. koriste se radi lakše indentifikacije različitih tipova TTL logičkih obitelji

CMOS logička obitelji

- CMOS logička obitelj je virtualno idealna logička obitelj jer može raditi na širokom rasponu vrijednosti električnog napajanja (od 3 V do 15 V), troši jako malo energije i ima visoki imunitet na šum
- CMOS nije brz kao TTL ili kao ECL (brzina mu je 5 MHz), ali navedena brzina mu je dovoljna za veliku većinu industrijskih primjena
- Ove logičke obitelji sastavljene su od poluvodičkih tranzistora koji su izrađeni od metalnih oksida
- U CMOS logičkim obiteljima mogu se formirati različiti logički prolazi kao npr. Logički prolaz INVERT na slici 140.



Slika 140. CMOS s INVERT logičkim prolazom

ECL logička obitelji

- ECL je najbrža komercijalna logička obitelj i može raditi brzinama od 500 MHz
- Kada se radi s ovako velikim brzinama potrebno je biti jako pažljiv s izvedbom elektroničkih krugova da se izbjegne šum uslijed napajanja energijom
- Upravo problem s niskim imunitetom na šum je glavni nedostatak ECL logičkih obitelji, pa je upotreba ECL- a u industrijskim primjenama ograničena samo tamo gdje je potreba za jako velikim brzinama

Odabir logičke obitelji

- Do kasnih 80-ih godina dizajneri su mogli birati između TTL i CMOS logičkih obitelji
- Od tada postoji tendencija da se spoje te dvije vrste logičkih obitelji
- Tako se CMOS vrste po svojoj brzini približavaju TTL vrstama, a TTL vrste se po manjoj potrošnji energije približavaju CMOS tipovima