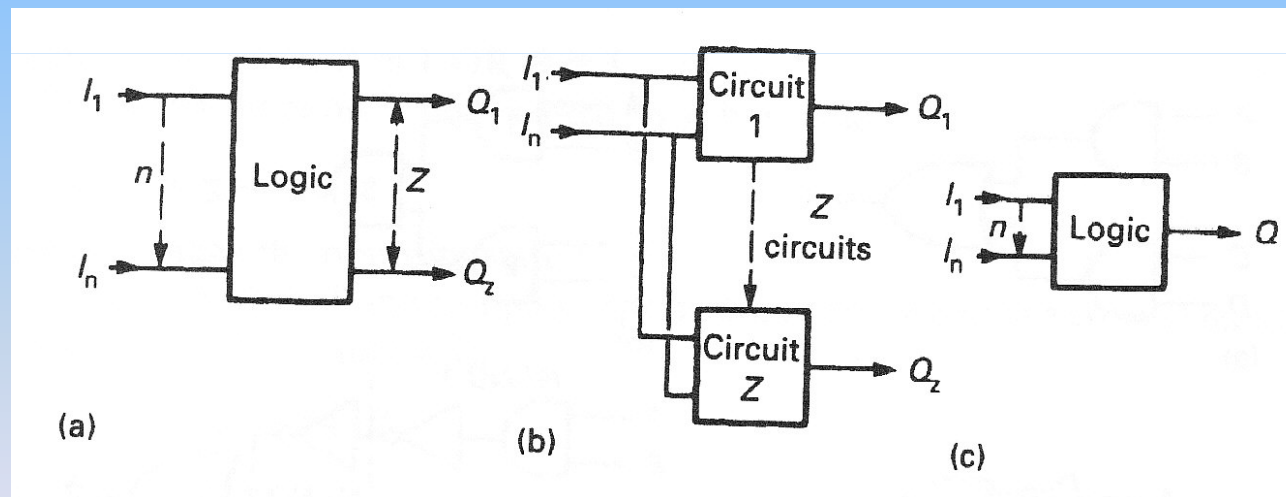


Kombinacijska logika

- Temelj kombinacijske logike prikazan je na slici 141.
- Takvi sustavi imaju nekoliko ulaza signala i jedan ili više izlaza signala
- Vrijednost izlaznih signala je definirana za svaku kombinaciju ulaznih signala i sam uređaj kombinacijske logike ne sadrži poseban dio za pohranu podataka, mjerače vremena ili brojače



Slika 141. Blok dijagram kombinacijske logike: a) uopćen problem, b) odvojeni krugovi, c) jedan krug

- Prema slici 141.a) postoji n ulaznih signala od I_1 do I_n , i Z izlaznih signala od Q_1 do Q_Z
- U sustavima s više izlaznih signala jednostavnije je promatrati svaki izlazni signal posebno tj. da se jedan krug kombinacijske logike kao u 141.a) promatra kao više logičkih krugova kao na 141.b) gdje broj logičkih krugova ovisi o broju izlaznih signala
- Svaki takav pojedini logički krug na slici 141.b) jednak je u prikazu blok dijagrama slici 141.c)
- Prema broju ulaznih signala može se definirati broj kombinacija ulaznih stanja logičkog kruga
- Tako npr.:
 - *za dva ulazna signala postoje četiri kombinacije ulaznih stanja*
 - *za tri ulazna signala postoji osam kombinacija ulaznih stanja*
 - *za četiri ulazna signala postoji šesnaest kombinacija ulaznih stanja*
- Sve moguće kombinacije stanja za određeni broj ulaznih signala nikada neće biti korištene, već se koristi samo dio mogućih kombinacija ulaznih stanja jer u svakom sustavu postoje određene fizikalne restrikcije za upotrebu svih mogućih kombinacija

- Projektiranje sustava kombinacijske logike zahtjeva poznavanje svih mogućih kombinacija ulaznih stanja te definiranje izlaznih stanja kombinacijske logike koja se moraju javiti kao odgovor na bilo koje moguće ulazno stanje
- U stvarnim industrijskim procesima postoji mala potreba za potpuno jednostavnim sustavima kombinacijske logike
- Većina procesa zahtjeva sustave kombinacijske logike koji su nadopunjeni uređajim za pohranu podataka , brojačima, vremenskim relejima i sl.

Tablice istine (truth tables)

- Tablice istine su vrlo korisno sredstvo za predstavljanje krugova kombinacijske logike te se također mogu koristiti za projektiranje logičkih krugova koji moraju ispuniti traženu funkciju
- Može se promotriti primjer sa slike 142. gdje postoje tri ulazna signala (tri senzora A, B i C) koja daju podatak o određenoj fizikalnoj veličini (npr. tlak u kotlu)
- Logički krug konstruiran je na osnovi tzv. “većinskog glasa” tj. izlazni signal Z poprima stanje uvjetovano ulaznim signalom jedino ako većina od tri ulazna signala daje istu ulaznu vrijednost

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>Z</i>
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1 ←
1	0	0	0
1	0	1	1 ←
1	1	0	1 ←
1	1	1	1 ←

Slika 142. Tablice istine

- Tablice istine uvijek davaju projekt logičkog kruga čija je logika potpuno točna ali ne daju uvijek logički krug koji koristi minimalan broj logičkih prolaza

Booleanova algebra

- U 19. stoljeću razvio ju je u Cambridgeu matematičar Georg Boole
- Njegaova algebra se koristi za projektiranje i minimiziranje krugova kombinacijske logike, te za samo predstavljanje kombinacijske logike

- U Booleanovoj algebri funkcija AND prikazana je točkom (.), pa tako izraz glasi:

$$Z = A.B$$

- Navedeni izraz znači da je izlazna vrijednost $Z = 1$ kada je ulazna vrijednost $A = 1$ i (AND) ulazna vrijednost $B = 1$
- Točka se najčešće izgubi u pisanju pa izraz dobije oblik: $Z = AB$
- Funkcija OR predstavlja se matematičkim simbolom (+), pa je:

$$Z = A + B$$

- Što znači da je $Z = 1$ kada je $A = 1$ ili (OR) $B = 1$
- Funkcija INVERT prikazana je s crticom iznad slova ($\bar{}$), pa je izraz: $Z = \bar{A}$
- Booleanova algebra omogućuje i pisanje znatno složenijih izraza pa se tako slika 130. može predstaviti izrazom:

$$Z = (A.B) + (\bar{A}.B)$$

- Također Booleanova algebra se koristi da se neki izrazi krajnje pojednostave a da bi se ovo postiglo koristi se niz pravila
- Prvih jedanaest pravila je vrlo očito jer su jednaka kao i kod relejnih krugova

- (a) $A \cdot A = A$
- (b) $A + A = A$
- (c) $A \cdot 1 = A$
- (d) $A \cdot 0 = 0$
- (e) $A + 1 = 1$
- (f) $A + 0 = A$
- (g) $\overline{\overline{A}} = A$
- (h) $A \cdot \overline{A} = 0$
- (i) $A + \overline{A} = 1$
- (j) $A + B = B + A$
- (k) $A \cdot B = B \cdot A$

- Sljedeća dva pravila definiraju da je redoslijed izvođenja logičkih operacija nebitan ako je isti operator tj. ista logička funkcija između varijabli

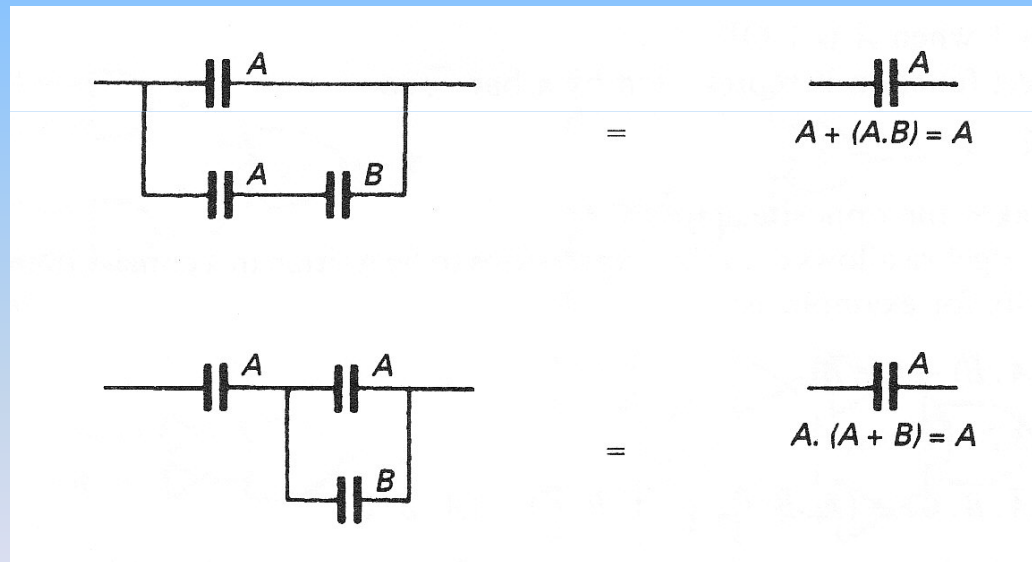
- (l) $(A + B) + C = A + (B + C) = A + B + C$
- (m) $(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C) = A \cdot B \cdot C$

- Sljedeća dva pravila zovu se **pravila absorpcije** i opisuju posljedice ako se neke varijable pojavljuju s AND i OR logičkim funkcijama

$$(n) \quad A + A \cdot B = A$$

$$(o) \quad A \cdot (A + B) = A$$

- Navedena pravila (n i o) razumljivija su kada su prikazana u primjeni na relejnim krugovima



Slika 143.: Prikaz pravila absorpcije na relejnim krugovima

- Sljedeći par pravila pokazuje kako rastaviti Booleanove jednadžbe na faktore

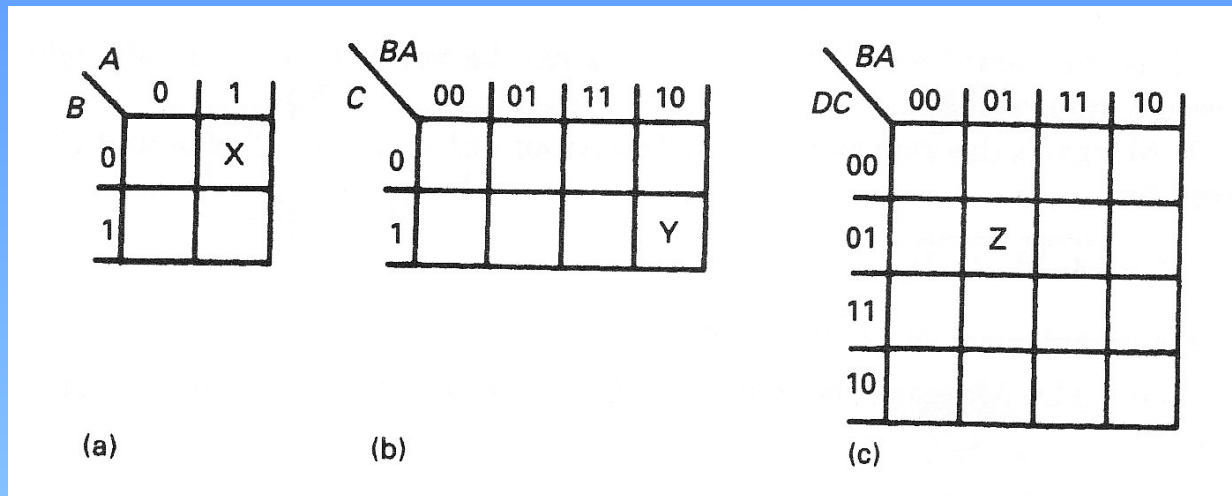
$$(p) \quad A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$$

$$(q) \quad A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$

- Iako se Booleanova algebra koristi u minimiziranju logičkih izraza, treba biti vrlo pažljiv jer se u takvim postupcima mogu napraviti vrlo ozbiljne greške
- Zbog mogućnosti pogrešaka prilikom minimiziranja češće su u upotrebi u logičkim procesima Karnaughove mape

Karnaughove mape

- Karnaughove mape su alternativni način predstavljanja tablica istine
- Ove mape se crtaju u dvije dimenzije, te su primjeri takvih mapa s dvije, tri i četiri varijable prikazane na slici 144.



Slika 144. Karnaughove mape: a) s dvije varijable, b) s tri varijable, c) s četiri varijable

- Svaki kvadrat unutar mape predstavlja jednu liniju na tablici istine, pa npr.:
 - kvadrat X predstavlja $A = 1, B = 0$, što se može pisati $A\bar{B}$
 - kvadrat Y predstavlja $A = 0, B = 1, C = 1$, što se može pisati $\bar{A}BC$
 - kvadrat Z predstavlja $A = 1, B = 0, C = 1, D = 0$, i piše se $A\bar{B}C\bar{D}$
- Bitno svojstvo Karnaughovih mapa je način na koji se osi obilježavaju

- Tako npr. ako promatramo sliku 145. vidimo da četiri izraza daju izlazni signal $Z = 1$

- Ti izrazi su: $\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$, $AB\bar{C}\bar{D}$, $\bar{A}BCD$, $ABCD$

- Oni se mogu napisati i kao:

$$Z = \bar{A}\bar{B}C\bar{D} + AB\bar{C}\bar{D} + \bar{A}BCD + ABCD$$

BA \ DC	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	1	1	0
11	0	1	1	0
10	0	0	0	0

Slika 145. Mapa s četiri varijable

- Primatrajući mapu može se uočiti da se vrijednosti D i B mogu promjeniti bez da će se promjeniti rezultat Z

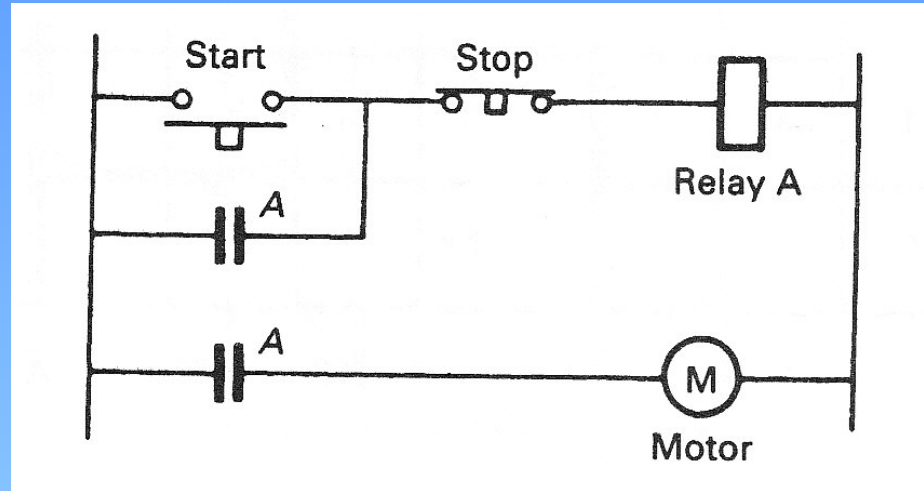
- Zaokruženi kvadrati ustvari predstavljaju izraz AC, pa se stoga prethodna jednačba može pisati jako pojednostavljeno:

$$Z = AC$$

- Ovo je način kako se pomoću Karnoughovih mapa može vrlo pojednostavniti i minimizirati logički izraz
- Navedeno bi se moglo postiti i u Booleanovoj algebri ali na dosta teži i kompliciraniji način

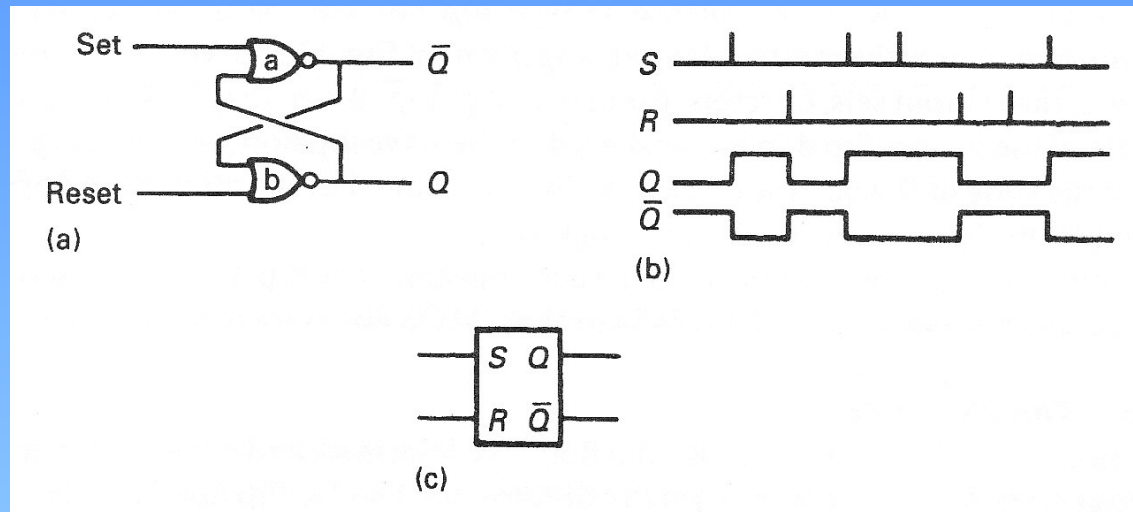
Pohrana podataka

- Većina logičkih sustava zahtjeva određen oblik memorije odnosno pamćenja podataka
- Tipični relejni krug je krug startera motora prikazan na slici 146. koji “pamti” koji je od dva prekidača bio pritisnut zadnji
- Funkcija memorije odnosno pamćenja postiže se kontaktom s oprugom releja A



Slika 146. Relejni krug s pohranom podataka

- Logički ekvivalent relejnog kruga na slici 146. je poprečno spojen krug NOR logičkog prolaza na slici 147.
- Ovakav NOR logički prolaz zove se i *RS flip-flop*
- Ako su **Set** i **Reset** ulaz jednaki 0, izlaz Q je 1, izlazni signal s prolaza **a** biti će 0, pa kada su dva ulaza na prolaz **b** jednaka 0, vrijednost Q će se održavati 1 i krug je stabilan
- Ako se sada **Reset** ulazni signal promjeni u 1, Q ide na 0 a **$\bar{Q}$** ide na 1

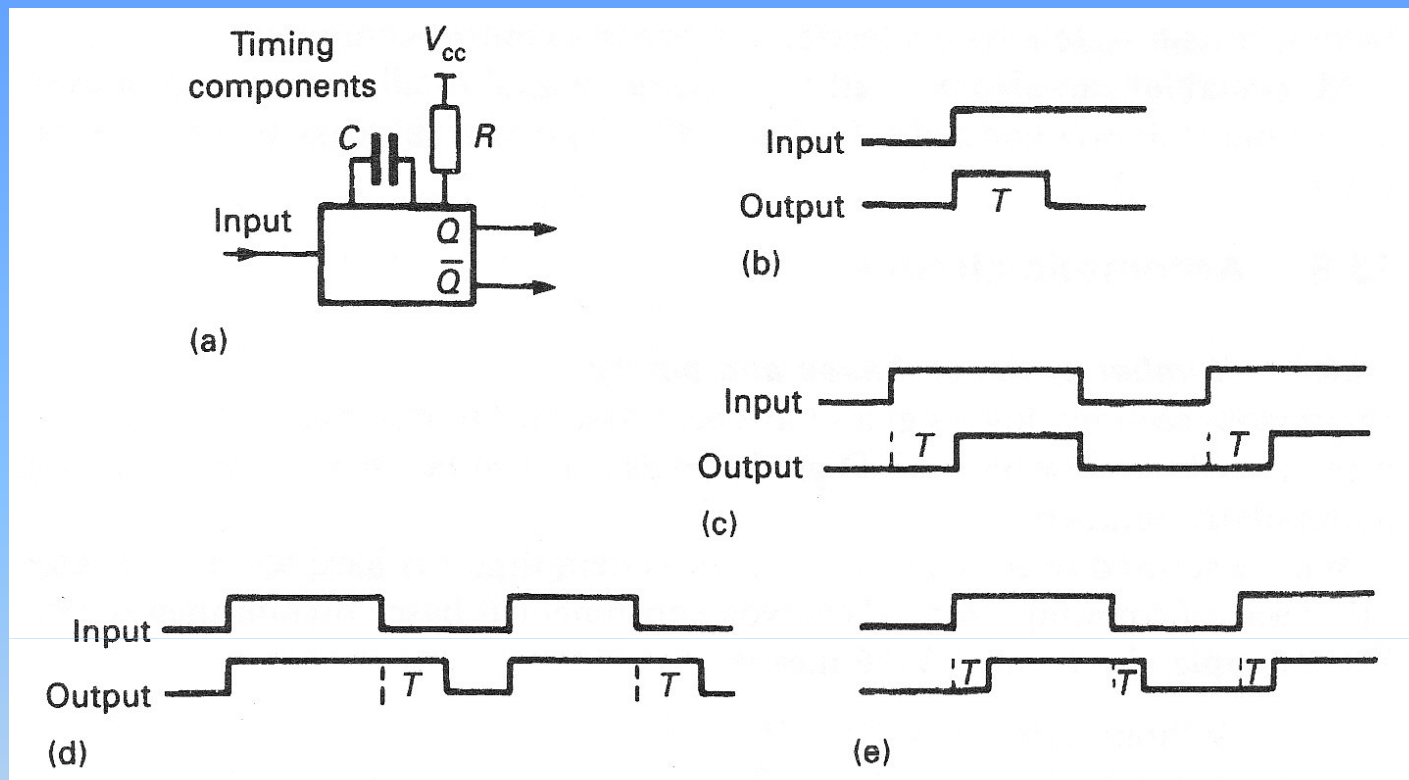


Slika 147. Logički prolaz NOR - RS flip-flop: a) logički dijagram, b) djelovanje, c) logički simbol

- Ako se detaljnije promotri logički krug uočava se da je krug stabilan u ovom stanju čak iako se **Reset** ulazni signal promjeni ponovo na 0
- **Set** ulazni signal se sada može koristiti da se promjeni izlaz Q na 1 i $\bar{Q}$ natrag na 0
- **Set** i **Reset** ulazni signali izazivaju izlazni signal da promjeni stanje, s tim da izlazni signali indiciraju koji je od ulaznih signala (**Set** ili **Reset**) zadnji imao vrijednost 1 (slika 147.b)
- Na taj način se ostvaruje pohrana podatka (podatak o vrijednosti 1 pojedinog ulaznog signala)

Vremenski releji

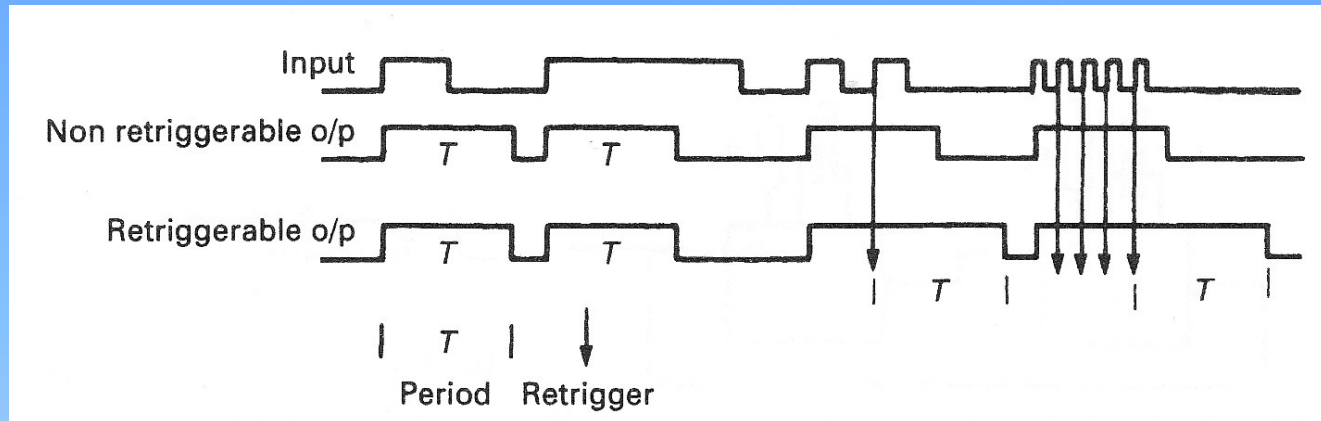
- Sustavi automatizacije često trebaju nekakav oblik vremenskog releja
- Npr. plinski plamenik mora biti izložen plamenu 5 sekundi da bi se isključio detektor koji signalizira nepostojanje plamena
- Funkcije releja vremena u logičkim krugovima obavljaju se uređajima koji se zovu monostabilni uređaji (*monostables*)
- Ima mnogo vrsta takvih uređaja ali svi se općenito sastoje od ulaznih signala, izlaznih signala Q i  i mreže RC (mreža kondenzatora i otpornika) koja određuje period vremenskog zadržavanja signala (slika 148.)
- Najčešći vremenski relej je monostabilni uređaj koji se još zove i **jednookidajući (*one shot*)**
- Ovaj uređaj daje izlazni puls poznatog trajanja koji je iniciran promjenom vrijednosti ulaznog signala
- Korisnik može odrediti koja promjena ulazne vrijednosti će inicirati izlazni puls (promjena 0 na 1, ili promjena 1 na 0)



Slika 148. Vremenski releji: a) opći prikaz vremenskog releja, b) one shot vremenski relej, c), d) i e) vremensko zadržavanje izlaznog signala

- Čisti vremenski releji prikazani su na slici 148.a),b) i c)
- Suprotan način rada od jednookidajućeg vremenskog releja ima vremenski relej ponavljajućeg okidanja (*retriggerable*)

- Usporedba rada jednookidajućeg vremenskog releja i vremenskog releja ponavljajućeg okidanja prikazana je na slici 149.



Slika 149. Usporedba vremenskih releja

- Vremenski releji ponavljajućeg okidanja pokreće novi vremenski krug pri svakoj novoj promjeni vrijednosti ulaznog signala kao na slici 149.
- Vremenski releji ponavljajućeg okidanja imaju primjenu kao spori alarmni uređaji

Aritmetički krugovi

- U dosadašnjim razmatranjima izlazni signali promatrali su se kao veličine koje opisuju npr. nisku razinu vode u kotlu ili visoki tlak u posudi
- Izlazni digitalni signali se također koriste za predstavljanje vrijednosti brojeva
- U svakodnevnom životu široko je rasprostranjen decimalni sustav gdje je baza 10 i koji se sastoji od 10 znamenaka (0 – 9)
- Binarni sustav je često u upotrebi u digitalnim krugovima te se sastoji od dva simbola (0 i 1)
- Pretvorba binarnih u decimalne vrijednosti obavlja se na sljedeći način
- Uzmimo da je binarna vrijednost : **101101**

$$\begin{array}{rcl} & 1 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 & = 32 \\ \text{plus} & 0 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 & = 0 \\ \text{plus} & 1 \times 2 \times 2 \times 2 & = 8 \\ \text{plus} & 1 \times 2 \times 2 & = 4 \\ \text{plus} & 0 \times 2 & = 0 \\ \text{plus} & 1 & = 1 \\ & \text{ukupno} = & \mathbf{45} \text{ (decimalno)} \end{array}$$

- Na sličan način i binarna vrijednost **1101011** može se pretvoriti u decimalnu vrijednost:

$$1 \times 64 = 64$$

$$1 \times 32 = 32$$

$$0 \times 16 = 0$$

$$1 \times 8 = 8$$

$$0 \times 4 = 0$$

$$1 \times 2 = 2$$

$$1 = 1$$

ukupno = **107** (decimalno)

- Konverzija decimalnih vrijednosti u binarne obavlja se na način da se decimalna vrijednost dijeli s 2 i da se zapisuje ostatak nakon dijeljenja

- Pretvaranje decimalne vrijednosti **75** u binarnu vrijednost **1101001** je:

$$75 \div 2 = 37 \text{ ostatak } 1$$

$$37 \div 2 = 18 \text{ ostatak } 1$$

$$18 \div 2 = 9 \text{ ostatak } 0$$

$$9 \div 2 = 4 \text{ ostatak } 1$$

$$4 \div 2 = 2 \text{ ostatak } 0$$

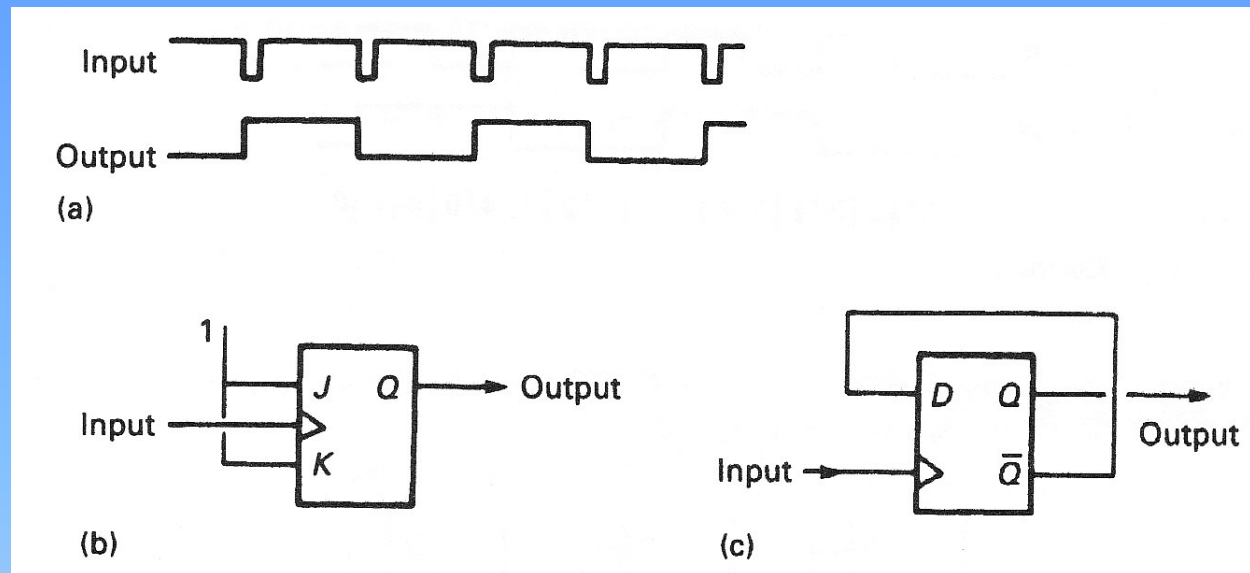
$$2 \div 2 = 1 \text{ ostatak } 0$$

$$1 \div 2 = 0 \text{ ostatak } 1$$

Brojači i registratori pomaka

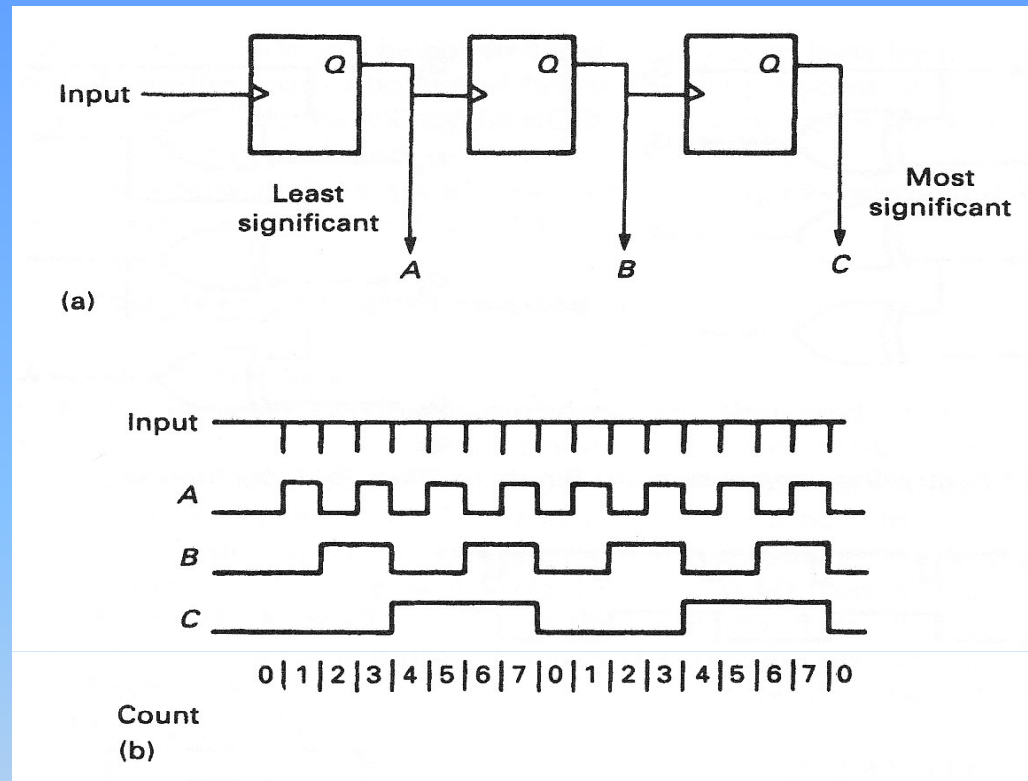
Pulsirajući brojači

- Brojači imaju dvije osnovne namjene i to prva je brojanje ili sumiranje vanjskih događaja
- U ovu grupu spadaju brojači serija, snimatelji prometa i brojači frekvencija
- Druga namjena brojača je dijeljenje frekvencije nakon čega se dobiva nova, niža frekvencija
- Tako npr. jedinica za vizualni prikaz (*VDU – visual display unit*) dijeli frekvencije od nekoliko MHz na novu frekvenciju vrijednosti 50 Hz
- Logički prikaz većine brojača je oblika ***toggle flip flop*** (*žabica flip flop*) kao na slici 150.
- Izlazno stanje brojača mijenja se svaki put s promjenom ulaznog impulsa brojača
- **Toggle flip flop** brojač konstruiran je najčešće od flip-flop logičkih prolaza, shematski prikazanih na slici 150.b) i c)



Slika 150. Toggle flip flop brojač: a) djelovanje brojača, b),c) logički krugovi brojača

- Ako se izlazni signal **Q** od jednostavnog **toggle flip flop** brojača postavi kao ulazni signal slijedećeg **toggle flip flop** brojača, može se konstruirati jednostavni binarni brojač kao na slici 151.
- Na slici 151. binarni brojač je sastavljen od tri **toggle flip flop** brojača, ali se može konstruirati binarni brojač s duljinom prema našim potrebama i zahtjevima



Slika 151. Jednostavni tri-bitni binarni brojač: a) spoj tri toggle flip flop brojača, b) rad brojača

Sinkronizirani brojači

- Pulsni brojači su ograničeni brzinom i duljinom kumulativnog pulsa zbog problema kašnjenja rasprostiranja, pa mogu povremeno davati pogrešne izlazne signale

- Navedeni problemi nisu toliko bitni kod malih brzina rada ali mogu prouzročiti probleme kod operacija brojanja pri velikim brzinama
- Takvi mogući problemi izbjegavaju se upotrebom sinkroniziranih brojača kod kojih se svi izlazni signali mjenjaju istovremeno s promjenom ulaznog signala tj. ne javlja se kašnjenje rasprostiranja kao kod pulsnih brojača

Nebinarni brojači

- Često se zahtjeva u procesu brojanja s nebinarnim bazama (npr s bazom BCD)
- BCD (*binary coded decimal*) je predstavljanje jedne od znamenaka iz decimalnog sustava (0 do 9) s kombinacijom 4 binarne znamenke (0 i 1), odnosno s 4 bita (BIT – **B**inary **digiT**)
- Tako je npr. 9 = 1001, 4 = 0100 i sl.
- BCD ima i određena limitirajuća svojstva u odnosu na čisti binarni sustav jer kod čistog binarnog sustava kombinacija od 12 bitova može predstaviti decimalni niz od 0 do 4095, dok kod BCD sustava kombinacija od 4 bita predstavlja decimalni niz od 0 do 999
- Prednosti su lakše očitavanje decimalnih brojeva iz 4 bitnih kombinacija BCD baze