

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Digitalna elektronika u dodatnoj nastavi

-Diplomski rad-

Mentor:

Prof. Dr. Zoran Mijatović

Kandidat:

Gabrijela Njergeš

Novi Sad
april, 2009

Digitalna elektronika u dodatnoj nastavi

Prilikom izbora teme za diplomski rad i određivanja njegove koncepcije imala sam veliku pomoć svog mentora prof. dr.Zorana Mijatovića.

Zahvaljujem mentoru na korisnim sugestijama prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se i svim profesorima sa Departmana za fiziku Prirodno – matematičkog fakulteta u Novom Sadu koji su mojim kolegama i meni omogućili da studiranje uskladimo sa svakodnevnim obavezama.

Hvala svima koji su bili uz mene, podržavali me i podrili da istrajem jer bez njihovog strpljenja i razumevanja ne bih uspela.

Digitalna elektronika u dodatnoj nastavi

Sadržaj:	strana
1. Dodatni rad u nastavi fizike.....	4
1.1. Izbor učenika za dodatnu nastavu.....	5
1.2. Uloga nastavnika u dodatnoj nastavi.....	5
1.3. Ciljevi i zadaci dodatne nastave.....	6
2. Uvod.....	7
2.1. Pojam informacija i njihovo kodovanje.....	7
2.2. Vrste informacija.....	8
2.3. Digitalna kola i mreže.....	8
3. Brojni sistemi.....	10
4. Istorijski razvoj digitalne elektronike.....	12
5. Integrисана kola.....	13
5.1. Tranzistor kao prekidački element.....	15
5.1.1. Bipolarni tranzistor.....	15
6. Bulova algebra i digitalna elektronika.....	20
6.1. Bulova biografija.....	20
6.2. Bulova algebra.....	21
6.3. Digitalna elektronska kola – kombinaciona i sekvenčnalna.....	22
7. Logička kola.....	23
7.1. Elementarna logička kola.....	23
7.1.1. NE kolo.....	23
7.1.2. I kolo.....	24
7.1.3. ILI kolo.....	25
7.2. Složena logička kola.....	26
7.2.1. NI kolo.....	26
7.2.2. NILI kolo.....	27
7.2.3. Isključivo ILI kolo (EXOR).....	28
7.3. Tehničke realizacije logičkih kola.....	30
7.3.1. Tranzistorsko – tranzistorska logička kola, TTL.....	31
7.3.2. MOS logička kola.....	32
8. Memorijeske jedinice.....	33
8.1. Sinhrone i asinhrone sekvenčnalne digitalne mreže.....	33
8.2. Tehničke realizacije memorijskih elemenata.....	34
8.3. Multivibratori.....	35
8.4. Flip – flop kao memorijski element.....	35
8.4.1. RS flip – flop.....	36
8.4.2. Taktovani RS flip – flop.....	38
8.4.3. D flip – flop.....	40
8.4.4. JK flip – flop.....	41
8.4.5. Master – Slave JK flip – flop (MS).....	42
9. Eksperimentalne vežbe.....	43
9.1. Logička kola i merenje vremena propagacije signala.....	43
9.2. RS i D flip – flop.....	52
10. Zaključak.....	55
11. Literatura.....	56
12. Podaci o kandidatu	57

1. Dodatni rad u nastavi fizike

Nastava fizike, osim redovnih nastavnih časova, uključuje i vannastavne aktivnosti. Redovna (obavezna) nastava se izvodi po utvrđenom planu i programu. Da bi se udovoljilo željama, sklonostima i sposobnostima učenika, u školama se organizuju tzv. slobodne ili vannastavne aktivnosti učenika u koje spada i dodatna nastava.

Vannastavni rad nastavnik fizike treba da shvati kao komponentu svog ukupnog vaspitno-obrazovnog rada sa učenicima. Takav rad mora imati određeni cilj, zadatke i sistem realizacije. Zbog toga se on mora planirati u okviru nastavnikovih obaveza, ostvarivati sa izvesnom ljubavlju i potrebnom stručnošću. Nastavnik fizike bi morao uvek imati u vidu značaj vannastavnih aktivnosti i truditi se da okupi učenike koji imaju smisla i volje da se bave fizikom.

Dodatni rad treba da doprinese potpunijem razvoju učenikove ličnosti a naročito njegovom stavu prema saznavanju, da doprinese razvoju njegovog mišljenja, posebno kritičkog i stvaralačkog.

U dodatnoj nastavi je zastupljen samostalni rad učenika koji podrazumeva takav rad (učenje), koji se vrši bez neposrednog učešća nastavnika, ali pod njegovim uputstvima, kontrolom i rukovodstvom. Samostalni rad prepostavlja aktivnu misaonu delatnost usmerenu na sticanje teorijskih i praktičnih saznanja, uključujući i analizu rezultata tog rada. Da bi samostalni rad podsticao samoinicijativu i razvijanje saznajnih sposobnosti, neophodno je odabratи takve zadatke koji ne mogu da se rešavaju po strogo utvrđenim receptima, šemama, već da njihovo rešenje prepostavlja određenu originalnost i samostalnost.

Dodatna nastava je namenjena učenicima koji pokazuju izrazite sklonosti i interesovanje za fiziku i koji sa lakoćom savlađuju nastavno gradivo. Svrha dodatne nastave je da se proširivanjem i produbljivanjem znanja stecenih u redovnoj nastavi omogući učenicima potpuniji razvoj prema individualnim sposobnostima i sklonostima. Sadržaji, metode i postupci rada u dodatnoj nastavi pretežno se biraju prema željama i interesovanjima učenika i ne vezuju se neposredno za nastavni program. Ova nastava se organizuje sa manjim grupama. Dan i vreme održavanja dodatne nastave treba da su stalni. Ukoliko postoji veće interesovanje, može se formirati i nekoliko grupa. Treba voditi računa o sklonostima i mogućnostima svakog učenika, kao i o tome da se dodatna nastava održava kontinualno tokom cele školske godine, sa elastičnjom smenom rada i odmora nego u redovnoj nastavi. Time je olakšana individualizacija i kreativnost u učenju fizike; učenici se prema potrebi mogu i duže zadržavati kod izvođenja ogleda, rešavanja zadataka ili problema koji zahtevaju usredsređen napor.

Dodatna nastava izvodi se po posebnom programu kojim se nastoje zadovoljiti individualna interesovanja i sklonosti svakog pojedinca. Stoga pri izradi programa nastavnik treba da uvažava želje učenika i da ih usklađuje sa opštim zadacima nastave fizike. U izboru sadržaja mogu da učestvuju i sami učenici. Po pravilu, u programe dodatne nastave ne unose se sadržaji koji po obliku i dubini odgovaraju gradivu obrađenom na redovnoj nastavi već se na njega nadovezuju, proširuju ga i obogaćuju.

1.1. Izbor učenika za dodatnu nastavu

Izbor učenika za dodatnu nastavu je dosta složeno i delikatno pedagoško pitanje koje je neposredno povezano sa shvatanjem obdarenosti i talenta. Osnovni kriterijum za identifikaciju obdarene dece su interesovanja i određene sposobnosti, kao i stvaralačko mišljenje. Na uzrastu osnovne škole još se ne može govoriti o talentu već samo o više ili manje izraženim interesovanjima, sklonostima i sposobnostima. Talenat se ispoljava kasnije i to kao rezultat upornog i sistematskog rada. Zbog toga je škola dužna da organizuje raznovrsne oblike aktivnosti kako bi se učeničke sposobnosti ispoljile i dalje razvijale. Posebnu ulogu u ostvarenju tog zadatka ima dodatna nastava.

U procesu identifikacije obdarene dece posebnu pažnju treba obratiti učenicima koji postižu izuzetne rezultate, ispoljavaju sklonost ka učenju uopšte, kao i interesovanje za vannastavni rad. Ne treba zanemariti ni decu koja vrlo lako savladaju gradivo iako se ne odlikuju velikom marljivošću i aktivnom pažnjom na času.

U redovnoj nastavi nastavnik može lako da utvrdi koji se učenici ističu natprosečnim znanjem, brzo uočavaju ono što je bitno. U stanju su da znanje primene u novim situacijama, samostalno rešavaju zadatke problemskog karaktera i umeju logično da misle i ispravno zaključuju.

1.2. Uloga nastavnika u dodatnoj nastavi

Rad nastavnika se ne sastoji u tome da u okviru dodatnog rada predaje ono što nije stigao u toku redovnog rada i redovnog programa. Uloga mu je samo da „vodi“ učenika, da ga podstiče i pomaže mu u samostalnom radu. Nastavnik u dodatnom radu pomaže u slučaju da se učenik obrati nekim pitanjem ili zahtevom za savet ili pomoći kada ne može sam rešiti neki problem, bilo da je u pitanju neki eksperiment ili računski zadatak.

Dva osnovna oblika rada u dodatnoj nastavi su: individualni i grupni. Nastavnik samo u početku rada grupe, a ponekad i kasnije u radu na zahtev učenika, zadržava ulogu predavača. Učeniku treba dozvoliti da iznese svoje mišljenje, pa tek onda, prema potrebi, nastavnik izlaže svoj stav. Na taj način učenici su upućeni na samostalno istraživanje problema, a zainteresovani su i da pročitaju razne knjige, časopise i drugu stručnu literaturu mimo obavezne udžbeničke literature.

Eksperimentalne rade učenici treba da izvode samostalno, pojedinačno, u parovima, manjim grupama a ponekad i cela grupa, što zavisi od vrste eksperimenta. Nastavnik ima ulogu da vodi računa o angažovanju svakog učenika u grupi i na taj način im pruži mogućnost da se iskažu u različitim oblicima rada.

Tokom vremena grupa postaje potpuno samostalna, a nastavnik samo kontroliše rad. Ako se ostvari takav kontakt sa učenicima da oni sami daju mišljenje i o radu drugih grupa pre nastavnika ili pak drugačije od nastavnikovog mišljenja, onda dodatna nastava dobija pravi smisao.

1.3. Ciljevi i zadaci dodatne nastave

Fizika, kao prirodna nauka, pruža široke mogućnosti za razvijanje novih kvaliteta u pogledu unapređivanja vaspitno-obrazovnog rada, u pronalaženju novih metoda i oblika rada sa učenicima i u razvijanju različitih interesa kod učenika.

Da bi ostvario cilj dodatne nastave, nastavnik mora dovesti učenika do problemske situacije, tj. treba učenika dovesti u takve uslove da može stalno angažovati sposobnosti stvaralačkog i kritičkog mišljenja.

Ciljevi dodatne nastave su:

- razvijanje sposobnosti logičkog mišljenja sa posebnim zahtevima: da učenik sluša pažljivo, da posmatra proučavanu pojavu, da beleži rezultate eksperimenta, analizira tu fizičku pojavu i konačno donosi zaključke;
- razvijanje sposobnosti stvaralačkog mišljenja sa posebnim zahtevima: da učenik učestvuje u stvaralačkim aktivnostima, u rešavanju računskih problema uz korišćenje novih ideja i prilaza, da detaljno razrađuje, koristi ideju i rezultat.

Zadaci dodatne nastave su:

- pomoći učenicima da usvoje značajna znanja iz fizike
- pomoći im da racionalno i kreativno to znanje primenjuju

U ovom diplomskom radu su obrađene *Osnove digitalne elektronike* i on može poslužiti kao priručnik nastavnicima koji predaju fiziku u osnovnim i nekim srednjim školama u kojima se u redovnoj nastavi ne izučava *Digitalna elektronika*. Nastavnik, po potrebi može iz ovoga rada iskoristiti onaj deo za koji misli da bi učenicima bio zanimljiv a to pre svega zavisi od toga u kojoj školi se primenjuje.

2. Uvod

Makroskopski posmatrano, većina prirodnih pojava je kontinualnog (neprekidnog) karaktera, menja se u vremenu, bez trenutnih skokova kao, na primer, temperatura, pritisak, prirodna svetlost itd. Tehnički uređaji čije se ulazne i izlazne veličine – signali – menjaju po analogiji (sličnosti) sa promenama prirodnih – kontinualnih – pojava, nazivaju se analogni uređaji. Ako se, pak, neka veličina menja skokovito sa jedne vrednosti na drugu, onda je to diskretna veličina. Digitalni uređaji spadaju u grupu električnih uređaja koji obrađuju diskrete signale.

Termin *digitalni* potiče od latinske reči *digitus* – prst. Međutim, u ovom slučaju bi adekvatnije značenje bilo „računanje na prste“, koje je, u stvari, i bilo prvi način računanja u ljudskom društvu.

Za primer analognog i digitalnog načina rada može se uzeti običan ručni časovnik. Ako se kazaljke časovnika pomeraju kontinualno, onda je to analogni uređaj. Međutim, ako se kazaljke časovnika pokreću u skokovima od po jednu sekundu ili jedan minut ili pet minuta itd., onda je to digitalni uređaj.

Iako je analogni način rada na izgled tačniji od digitalnog, preciznost kontinualnih signala je retko moguće potpuno iskoristiti zbog toga što se oni ne mogu meriti, očitavati, obrađivati ili na bilo koji drugi način interpretirati sa tako visokom tačnošću. Sa druge strane, digitalni podaci se javljaju u numeričkoj formi, pa se mogu lakše kvantitativno izražavati, obrađivati, memorisati i očitavati. Osim toga, signali izraženi u digitalnoj (impulsnoj) formi manje su osjetljivi na šum i smetnje nego analogni signali, tako da se mogu prenositi na daljinu mnogo pouzdanije.

Analogni signal predstavlja vrednost neke fizičke veličine izražene u odgovarajućim mernim jedinicama (npr. napon u V), dok digitalni signal nije fizička veličina, nego predstavlja skup n binarnih cifara (0 i 1) pri čemu se najmanja vrednost pridružuje skupu koji sadrži 0 a najveća vrednost skupu koji sadrži 1.

2.1. Pojam informacija i njihovo kodovanje

Reč informacija u svakodnevnom životu uglavnom znači isto što i obaveštenje. Ako se procenjuje količina primljenih obaveštenja – informacija, nije bitan broj reči od kojih se obaveštenje sastoji, već sadržaj obaveštenja, odnosno koliko novosti to obaveštenje ima. Svako obaveštenje o događaju koji se sa sigurnošću očekuje, tj. čija je verovatnoća ostvarivanja vrlo velika, sadrži malo informacija. I obrnuto, saopštenje o neočekivanom događaju, čija je verovatnoća ostvarivanja vrlo mala, sadrži znatno više informacija. Pojam informacije u elektronici je prvo korišćen u prenosu informacija, tj. kao vesti u telekomunikacionim sistemima. Danas je taj pojam dobio šire značenje i odnosi se na obradu informacija, tj. podataka.

Predstavljanje informacija pomoću simbola koji su elementi nekog skupa, takozvane kodne azbuke, naziva se kodovanje informacija. Jednostavan ali važan tip informacija su binarno kodovane informacije, sastavljene od skupa samo dva različita simbola. Ako se za ova dva simbola usvoje brojne oznake 1 i 0 (uzete iz decimalnog brojnog sistema), onda je takva informacija izražena – kodovana - u binarnom brojnom sistemu. Jedinica za merenje količine informacija je 1 BIT (od engleskog termina Binary uniT). Dakle, jedan bit je jedinica mere za količinu informacije koja može imati samo jednu od dve mogućnosti – 1 ili 0.

2.2. Vrste informacija

Sve vrste podataka, naredbi, slova i znakova zapisuju se i obrađuju u digitalnim uređajima samo u obliku binarnih brojeva. To je „prirodni“ jezik računara. Razlog tome je najlakša mogućnost tehničke realizacije elektronskih elemenata sa dva različita stabilna stanja pomoću kojih se mogu predstaviti binarne cifre 0 i 1. Tako je *bistabilni element* postao najvažnija komponenta u savremenim digitalnim računarima, a *binarni brojni sistem* najvažniji brojni sistem u svetu elektronike.

Kod digitalnih uređaja se razlikuju tri vrste informacije: *naredbe (komande), podaci i adrese*. Podaci su informacije koje je računar primio od spoljašnjeg sveta, ili ono što je dobijeno kao rezultat neke obrade u samom računaru. Podaci se uvode u digitalni računar u kome se obrađuju i na osnovu njih se dobijaju nove informacije. Međutim, pre uvođenja u digitalni računar, podaci se moraju prevesti u binarni oblik da bi računar mogao da ih obrađuje. Podaci su, dakle, skup brojeva sa kojima treba obaviti određene računske operacije. Sa druge strane, instrukcije (naredbe ili komande) nalažu računaru šta treba da radi sa podacima. Prema tome, niz instrukcija koji čini logičku celinu predstavlja program po kome računar radi. I instrukcije i podaci su binarno kodovane informacije, tj. binarni brojevi, pa ih računar, zahvaljujući internoj organizaciji i programu, razlikuje jedne od drugih.

2.3. Digitalna kola i mreže

Ptema funkciji koju obavljaju, svi elementi, ili elementarne komponente u digitalnim uređajima, mogu se svrstati u tri grupe:

- a) elementi koji generišu i uobličavaju električne impulse
- b) logički elementi ili elementi kombinacione logike
- c) memorijski elementi

- a) *Elementi* koji služe za generisanje i uobličavanje impulsa čine standardna kola impulsne tehnike, kao što su razne vrste multivibratora, komparatori, kola za diferenciranje i integriranje.
- b) *Logički elementi ili logička kola* služe za realizovanje logičkih stanja, odnosno njihovih kombinacija bez mogućnosti pamćenja. Stanje na izlazu logičkog kola zadržava se samo dotle dok postoje signali na ulazu koji su ga i prouzrokovali. Njihova uloga se uglavnom svodi na odlučivanje šta, kada i kako treba uraditi sa binarnim informacijama u procesu obrade, što odgovara stavovima formalno – logičkog mišljenja tačno ili pogrešno.
- c) *Memorijski elementi* služe za pamćenje – memorisanje – prethodnih stanja i uopšte za čuvanje – skladištenje – informacija. Električne mreže realizovane sa ovakvim elementima nazivaju se sekvencualne logičko – prekidačke mreže.

Činjenica da se na ulazima i izlazima svih digitalnih kola, i kombinacionih i memorijskih, mogu pojaviti signali koji imaju samo jedno do dva moguća logička stanja 0 ili 1, tj. samo dve vrednosti napona, omogućava da se izlaz jednog digitalnog kola može priključiti direktno na ulaz jednog ili više ostalih digitalnih kola, čime se stvaraju uslovi za jednostavno povezivanje elementarnih digitalnih kola.

3. Brojni sistemi

Već je rečeno da digitalni računari rade sa binarnim brojevima. Binarni brojevi su, barem na prvi pogled, čudni. Oni postaju uobičajeni i razumljivi tek onda kada se nauči brojanje sa njima i kada se zna njihovo pretvaranje u decimalne brojeve. Razliku između decimalnih i binarnih brojeva ćemo objasniti na sledećem primeru.

- a) Decimalni merač pređenog puta

Kod novog automobila pokazivač pređenog puta pokazuje stanje pređenih kilometara:

00000

Nakon pređenog puta od 1 km, na pokazivaču čitamo:

00001

Uzastopno, pređeni kilometri proizvodiće očitavanja: 00002, 00003 itd. sve do 00009. Na kraju pređenog puta od 10 km događa se poznata stvar: kada se točkić jedinica okreće od položaja 9 nazad ka položaju 0, mehanički zaokreće točkić desetica, koji unapređuje svoje stanje za jedan. Zbog toga merač pokazuje:

00010

Takođe i ostali točkići vrše isti postupak te će nakon pređenog puta od 999 km pokazivač pokazivati:

00999

Sada točkić hiljade unapređuje svoje stanje za 1 i na pokazivaču čitamo:

01000

Brojevi na svakom točkiću pokazivača pređenog puta nazivaju se digit. Decimalni brojni sistem koristi 10 digita, i to od 0 do 9. Kod decimalnog merača, svaki put kada točkić jedinica izđe van opsega svojih brojeva resetuje se i stvara prenos za točkić desetica. Kada točkić desetica izđe van opsega svojih brojeva, resetuje se i stvara bold za točkić stotina. Taj postupak se nastavlja za sve preostale točkiće merača.

b) Binarni merač pređenog puta

Binarno znači dvojnosc ili dva. Binarni brojni sistem koristi samo dva digita i to 0 i 1. Svi ostali digitni decimalnog brojnog sistema, od 2 do 9, ne koriste se.

Zamislimo merač čiji točkići imaju samo dva digita, i to 0 i 1. Kada se svaki točkić okreće, pokazuje najpre 0, a zatim 1, i ponovo se vraća na 0, odnosno ciklus se ponavlja. Pošto svaki točkić ima samo dva digita, takav neuobičajeni merač nazvaćemo binarni merač.

I ovde se primenjuje postupak resetovanja i stvaranja prenosa. Kada se točkić okreće iz položaja 1 natrag u položaj 0, taj točkić mehanički zaokreće sledeći točkić, „viši“ po značaju, koji unapređuje svoje stanje za jedan. Drugim rečima, kada točkić izade van područja svojih digita, resetuje se i stvara prenos za sledeći točkić.

Kod automobilskog binarnog merača, pokazivanje prevaljenog puta vršilo bi se na sledeći način:

Pokazivač pređenog puta kod novog automobila pokazuje sve nule, tj. pokazuje:

00000 (nula km)

Nakon pređenog puta od 1 km, pokazivač pokazuje:

00001 (jedan km)

Sledeći prevaljeni kilometar puta uzrokuje postupak resetovanja i stvaranja prenosa, tako da pokazivač pokazuje:

00010 (dva km)

Treći kilometar pređenog puta rezultira pokazivanje:

00011 (tri km)

Nakon pređenog četvrtog kilometra, prvi i drugi točkić vrše postupak resetovanja i stvaranja prenosa, a treći točkić unapređuje svoje stanje za 1. Na taj način pokazivač merača pokazuje:

00100 (četiri km)

Sledeći uzastopno pređeni kilometri puta uzrokuju sledeća pokazivanja binarnog merača:

00101 (pet km)

00110 (šest km)

00111 (sedam km)

Nakon pređenog osmog kilometra puta, prvi, drugi i treći točkić vrše postupak resetovanja i stvaranja prenosa, dok četvrti točkić unapređuje svoje stanje za 1. Prema tome, merač pokazuje:

01000 (osam km)

Deveti pređeni kilometar pokazuje se kao:

01001 (devet km)

A deseti kilometar kao:

01010 (deset km)

Iz ovoga se jasno vidi kako radi binarni merač. Svaki pređeni kilometar puta unapređuje stanje prvog točkića za jedan. Kada prvi točkić izade van područja svojih digita, resetuje se i stvara prenos za sledeći točkić. Ovo važi i za sve preostale točkiće binarnog merača.

4. Istoriski razvoj digitalne elektronike

Mašine za računanje su, od kada je čovek spoznao računanje, bile predmet ogromnog interesovanja. Prve mehaničke mašine, nazvane ABAKUS, su se pojavile još u vreme starog Egipta i mogle su da sabiraju i oduzimaju.

1633. godine Šikhard je u Nemačkoj, zajedno sa astronomom Keplerom, konstruisao mehaničku računsku mašinu koja je vršila četiri osnovne matematičke operacije – sabiranje, oduzimanje, množenje i deljenje. Ova mašina je radila u decimalnom brojnom sistemu.

Prvi elektromehanički, neelektronski računar je stvorio IBM 1930. godine. Ovaj računar je bio 17 metara dugačak, 3 metara visok i zvao se MARK I.

Prvi elektronski računar ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) konstruisan 1946. godine, korišćen je za izračunavanje balističkih tablica za američku armiju. U računar je bilo ugrađeno oko 18000 vakuumskih cevi. Elektronika je bila smeštena u 40 ormana i zauzimala je površinu od 10 m x 13 m.

Iste 1946. godine IBM je napravio i prvi „mali“ računar – tip 603. Dve godine kasnije pojavio se tip 604, prvi veliki računar opšte namene.

1947. godine tri fizičara, Šokli, Bardin i Bretein realizovali su prvi tranzistor i za to su 1956. godine dobili Nobelovu nagradu. Zato su 1947. i 1948. godina zaista godine početka kompjuterske ere.

1954. godine su se pojavili prvi, potpuno „tranzistorizovani“ računari. To su bili IBM 7090/7094 računari.

Dalji razvoj računarske tehnologije je bio vođen minijaturizacijom elektronskih kola. Brz naučni i tehnološki razvoj je doveo do pojave integrisanih kola. Današnja integrisana kola sadrže u sebi i po nekoliko desetina miliona tranzistora.

Danas razvoj elektronske i računarske tehnologije ide u dva pravca – razvoj integrisanih kola na bazi visokotemperaturskih superprovodnika, što bi omogućilo brzinu rada kola sa frekvencijom od više THz i razvoj optičkih računara.

Digitalna elektronska kola rade u binarnom sistemu, koji je zasnovan na Bulovoj algebri, tj. na istinitosti ili neistinitosti nekog logičkog iskaza. Za rad u decimalnom sistemu, mora se definisati deset naponskih nivoa za cifre od 0 do 9. Kada bi se radilo o jednom tranzistoru koji se, na primer napaja naponom od 10 V to ne bi bio problem, ali u pitanju su milioni tranzistora koji se nalaze u određenom nizu. Pomeranje napona (radne tačke) u jednom tranzistoru se prenosi na sledeći tranzistor i pri tome se promena umnožava. To znači da bi rad takvih kola bio potpuno nepouzdan i nereproducibilan.

Sa druge strane ako se koristi rad tranzistora u drugaćijem tzv. prekidačkom režimu, kada je on potpuno provodan ili potpuno zakočen, tada se promene stanja mogu prenositi reproducibilno od jednog do drugog tranzistora. Ta dva stanja, u električnom smislu, odgovaraju stanjima istinitosti ili neistinitosti iskaza u Bulovoj algebri.

5. Integrисана кола

Elementi elektronskog kola kao što su otpornici, kondenzatori, solenoidi, diode i tranzistori, nazivaju se diskretni elementi. Svaki ovaj element je zaštićen kućištem i bojom. Elektronska kola se obrazuju međusobnim povezivanjem ovih elemenata.

Integrисано коло је елемент који по svojoj funkciji има могућности dela elektronskog kola, цelog elektronskog kola или složеног elektronskog uređaja sa већим бројем elektronskih kola. Naziv integrисано коло потиче од тога што су у таквом колу смештени, tj. integrисани у једном кућишту, сви потребни делови кола, tranzistori, diode, kondenzatori, otpornici.

Razvoj integrисаних kola je počeo 1958. godine, a već 1960. godine počinje proizvodnja integrисаниh kola koja su imala do 100 elemenata na jednoj pločici. To je tzv. integrisanje malih razmara (SSI – small scale integration). Oko 1966. godine proizvode se kola kod kojih je smešteno do 1000 elemenata na jednoj pločici. To je integrisanje srednjih razmara (MSI – medium scale integration). Početkom sedamdesetih godina proizvode se integrисана kola sa velikim stepenom integrisanja (LSI – large scale integration). Ova kola sadrže do 10000 elemenata na jednoj pločici. Krajem sedamdesetih godina broj integrисаниh elemenata na jednoj pločici dostiže више десетина hiljada и то је integrisanje velikih razmara (VLSI – very large scale integration). Danas нека integrисана kola sadrže i do nekoliko miliona elemenata.

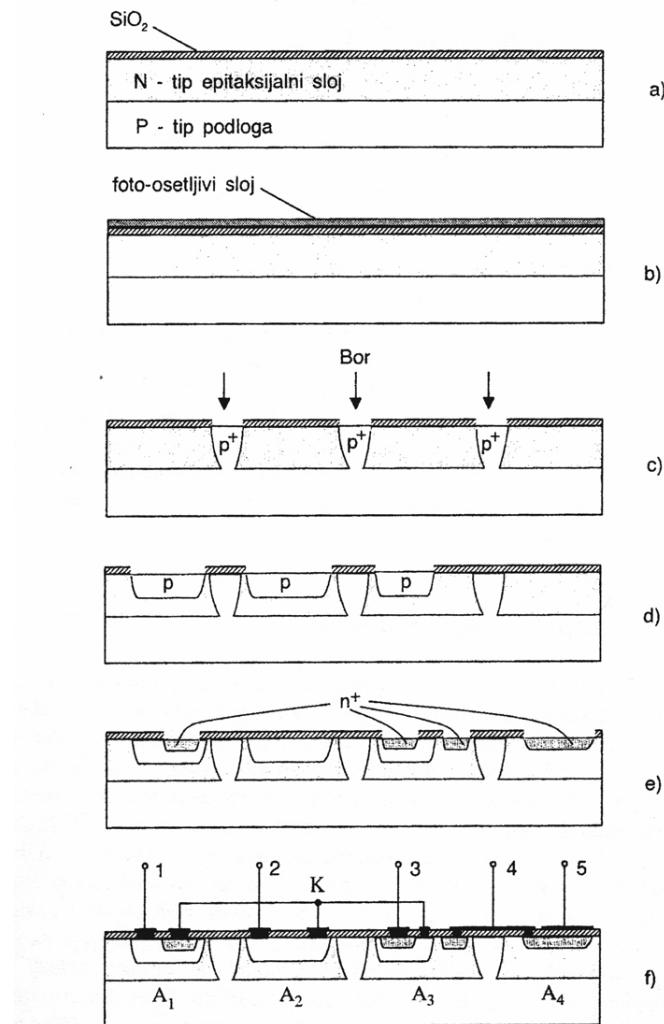
Proizvodnja integrисаних kola захтева stalni naučni i tehnološki napredak. Mnoge fizičarske laboratorije u svetu су angažovane na poboljšanju izrade integrисаниh kola.

Postoji више начина за izradu integrисаниh kola.

Ovde je ukratko opisan tzv. foto-litografski postupak (slika 5.1.).

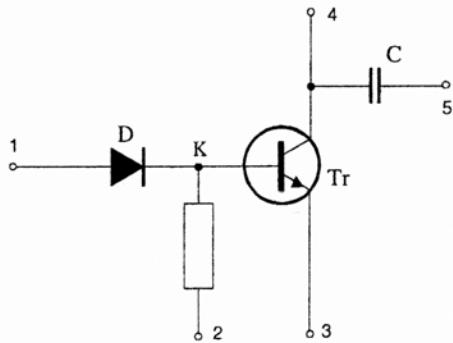
Kao osnova u ovom postupku se koristi pločica od N tipa silicijuma koja se naziva substrat. U prvoj fazi na gornju površinu se nanosi sloj izolatora od SiO_2 (slika 5.1.a). Zatim se na taj sloj nanosi fotoosetljivi sloj (slika 5.1.b). Na takvu površinu se projektuje lik maske, па се osvetljavaju само željeni delovi površine. Posle razvijanja, u postupku sličnom razvijanju fotografiskog filma, osvetljeni delovi emulzije se uklanjuju. Hemijskim dejstvom se zatim uklanja SiO_2 na mestima koja nisu заштићена emulzijom (slika 5.1.c). Na isti начин се dobijaju slobodne povшине poluprovodnika. Tako pripremljen substrat se unosi u reaktor u kome се nalaze pare primesnih atoma, на primer bora, чији су атоми akceptorji. Prilikom izlaganja slobodnih povrшина dejstvu para dolazi до adsorpcije (taloženja) tih атома на slobodним površinama, а zatim до njihove difuzije у unutrašnjost poluprovodnika. Dubina prodiranja primesnih атома и njihova koncentracija у substratu zavise od dužine vremena izlaganja dejstvu para i od gustine para. На тај начин се у областима испод slobodnih povrшин dobijaju „džepovi“ poluprovodnika P tipa (slika 5.1.d).

U sledećoj fazi postupka se uklanja emulzija i nanosi novi sloj SiO_2 . Prethodno opisanim postupkom se na gornjoj površini substrata formiraju nove slobodne površine poluprovodnika, које се zatim izlažu dejstvu para primesnih атома (сада на primer donora) и испод њих се formiraju области N tipa poluprovodnika (slika 5.1.e). Ponavljanjem овог postupka dobija се структура приказана на slici 5.1.f на коју се још напаравањем dodaju metalni kontakti i izvodi за povezivanje u спољашње elektronsko kolo.



Slika 5.1. Faze izrade integrisanog kola

Električna šema ostvarenog kola je prikazana na slici 5.2. Prvi element A_1 koji je vezan između priključka 1 i zajedničkog kontakta K (slika 5.1.f), sasatoji se od P i N dela što čini diodu D (slika 5.2.). Drugi element A_2 koji je vezan između priključka 2 i zajedničkog kontakta K je poluprovodnik P tipa koji ima svoju unutrašnju otpornost te predstavlja otpor R. Treći element A_3 je NPN tranzistor (Tr) čiji su izvodi 3,4 i kontakt K. Četvrti element A_4 između kontakata 4 i 5 ima izolator (SiO_2) pa prema tome predstavlja kondenzator C.



Slika 5.2. Električna šema ostvarenog kola sa slike 5.1.

Tehnološki proces izrade integrisanih kola je vrlo složen i zahtevan. Atmosfera i čistoća prostorije u kojoj se ovaj proces ostvaruje, moraju biti strogo kontrolisani. Cena po jedinici proizvoda izrade je, međutim, niska jer se istovremeno izrađuje veliki broj kola na jednoj pločici substrata koja se zatim seče na pojedina integrisana kola. Ta kola se zatim smeštaju u keramičko ili plastično zaštitno kućište sa izvedenim električnim kontaktima. Pouzdanost rada integrisanih kola je postignuta time što su svi elementi povezani međusobno već tokom proizvodnje bez naknadnog lemljenja.

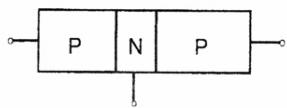
5.1. Tranzistor kao prekidački element

5.1.1. Bipolarni tranzistor

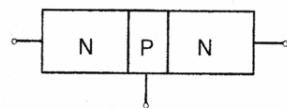
Tranzistor je poluprovodnički element koji se koristi za pojačanje (najznačajnija primena), prekidanje struje, stabilizaciju napona, modulaciju signala i druge operacije. Naziv tranzistora potiče od dve reči: *trans* – promenljivi i *resistor* – otpor. Pre pronalaska bipolarnog tranzistora koristile su se elektronske cevi koje su imale bitne nedostatke (cena, potrošnja energije, dimenzije) ali i prednosti (cevi se i danas ponekad koriste za posebne namene zbog manje osetljivosti na nuklearno zračenje, velike snage).

Bipolarni tranzistor je elektronska komponenta sa pojačavačkim i prekidačkim osobinama. Ovaj uređaj je aktivna komponenta sa tri izvoda, a napravljen je od dopiranog poluprovodnog materijala, može da pojača ili prekida električne signale kola. U suštini to je monokristal poluprovodnika sa dvostrukim PN spojem. Bipolarni tranzistori su dobili svoje ime zato što su glavni nosioci nanelektrisanja i elektroni i šupljine, za razliku od unipolarnih (tranzistori sa efektom polja) kod koga su nosioci nanelektrisanja elektroni ili šupljine. U zavisnosti od redosleda tipa poluprovodnika u monokristalu, razlikuju se dva tipa tranzistora PNP (slika 5.3.) i NPN (slika 5.4.).

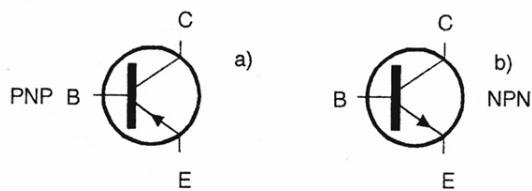
Dva krajnja sloja se nazivaju emiter (E) i kolektor (C), a srednji je baza (B) tranzistora. Simboli PNP i NPN tranzistora su prikazani na slici 5.5.



Slika 5.3. Uprošćena struktura PNP tranzistora



Slika 5.4. Uprošćena struktura NPN tranzistora

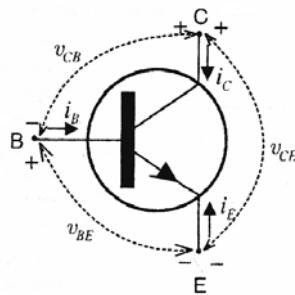


Slika 5.5. Simboli tranzistora PNP (a) i NPN (b)

Baza tranzistora je tanka, reda veličine nekoliko mikrometara ili manje. Emiter sadrži veliku koncentraciju primesa, da bi emitersku struju većinom činili glavni nosioci nanelektrisanja iz emitera, dok je u kolektoru koncentracija primesa najniža, kako bi kolektorski spoj izdržao što veći inverzni napon. Kod tranzistora se mogu definisati tri struje i tri napona:

- struja koja protiče kroz emiter (kraće: struja emitera), i_E
- struja kolektora, i_C
- struja baze, i_B
- napon između baze i emitera, v_{BE}
- napon između kolektora i emitera, v_{CE}
- napon između kolektora i baze, v_{CB}

Po dogovoru je uzeto da je smer struja takav da one ulaze u tranzistor kao što je prikazano na slici 5.6.

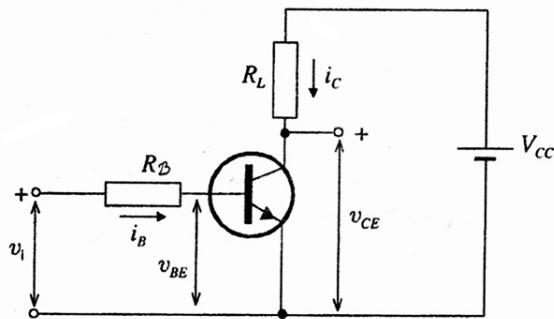


Slika 5.6. Struje koje protiču kroz tranzistor i naponi između pojedinih izvoda

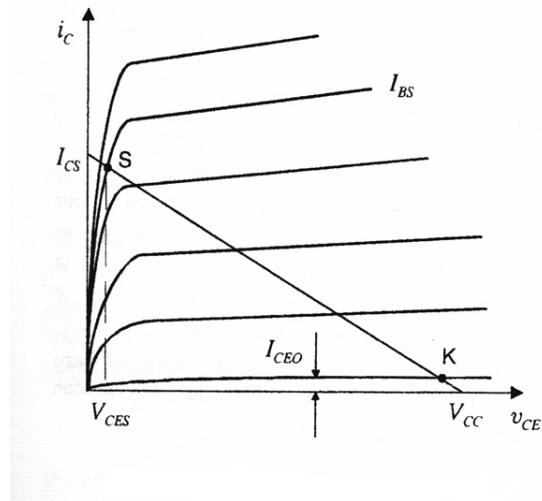
Male promene napona između baze i emitera značajno menjaju otpor između kolektora i emitera. Strujom male jačine u strujnom kolu kroz bazu i emiter može se kontrolisati jačina znatno jače struje u strujnom kolu kroz kolektor i emiter. Zbog ove osobine tranzistor se upotrebljava kao pojačavački element.

Za rad u takvom režimu neophodno je obezbediti radnu tačku tranzistora koja je određena vrednostima otpora u kolu i naponom napajanja. Kada nema signala na ulazu pojačavača vrednosti struja i napona na tranzistoru se ne menjaju. Ako je na ulazu prisutan signal, na primer naponski, promena napona na ulazu pojačavača prenosi se do baze tranzistora, kada je tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom. To uzrokuje i promene struje baze. Promena struje baze izaziva promenu struje kolektora, a time i napona između kolektora i emitera. To znači da će se u skladu sa promenama napona na ulazu pojačavača pomerati i radna tačka duž radne prave koja definiše zavisnost između struje kolektora i napona između kolektora i baze. Ukoliko su promene na ulazu pojačavača dovoljno velike, radna tačka se može pomeriti do granica oblasti rada tranzistora. Pri dovoljno velikim pozitivnim naponima (u slučaju NPN tranzistora) do oblasti saturacije, a pri dovoljno malim ili čak negativnim naponima (u zavisnosti od konfiguracije pojačavačkog kola) do oblasti zakočenja.

Kao primer može se razmotriti rad kola čija je šema prikazana na slici 5.7. U tom kolu se nalazi tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom čija je izlazna karakteristika prikazana na slici 5.8.



Slika 5.7. Električna veza tranzistora za prekidački režim



Slika 5.8. Tačke S i K su radne tačke tranzistora u prekidačkom režimu

Pri zadatom naponu napajanja V_{cc} položaj radne tačke će zavisiti od vrednosti struje i_B , odnosno napona v_i . Primenom Kirhofovih pravila na dato kolo dolazi se do jednačina:

$$v_i - R_B i_B - v_{BE} = 0$$

$$V_{CC} - R_L i_C - v_{CE} = 0$$

$$I_C = \beta i_B$$

Uz zanemarivanje napona v_{BE} u prvoj jednačini, dobija se:

$$I_C = \beta \frac{v_i}{R_B}$$

$$v_{CE} = V_{CC} - \beta \frac{R_L}{R_B} v_i$$

Ukoliko je $v_i > 0$ za dovoljno velike vrednosti v_i , radna tačka tranzistora će preći u tačku S, tj. na granicu oblasti saturacije. Tranzistor će tada biti maksimalno provodan. Struja baze koja prevodi tranzistor u tačku S je struja baze saturacije I_{BS} . Napon između kolektora i emitera tranzistora je tada V_{CES} (kolektorski napon saturacije). Za takav tranzistor se kaže da je u provodnom stanju. Znači, u provodnom stanju napon na ulazu kola je visok i protiče struja baze. Struja kolektora je znatna i to je tzv. kolektorska struja saturacije $I_{CS} \approx V_{CC} / R_L$. Napon na kolektoru tranzistora je mali i može se uzeti da je jednak nuli.

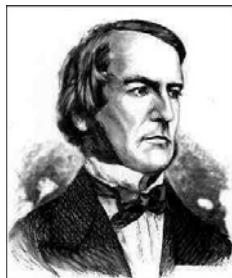
Ukoliko je napon $v_i \leq 0$, struja i_B je jednaka nuli. Iz prethodnih jednačina sledi da je u tom slučaju $i_C = 0$ i $v_{CE} = V_{CC}$. Struja $i_C = I_{CEO}$ tako da se može zanemariti. Tada radna tačka tranzistora prelazi u tačku K. U tom slučaju je napon na ulazu kola mali (praktično je nula), struja baze i_B je takođe bliska ili jednaka nuli, struja kolektora je jako mala (praktično nula), a napon između kolektora i emitera je visok, približno je jednak naponu napajanja V_{CC} . Tranzistor je tada neprovodan, odnosno zakočen.

Ova dva stanja su dva krajnja stanja rada tranzistora koja su analogna stanju prekidača kada je uključen odnosno isključen i zato se ovakav režim rada tranzistora naziva prekidački.

Tranzistor se smatra za jedan od najvećih izuma u istoriji čovečanstva. On je sastavni deo skoro svih današnjih električnih uređaja gde igra ključnu ulogu aktivne komponente. Danas se tranzistori proizvode u ogromnim količinama u visoko automatizovanim procesima po niskim cenama. Niska cena tranzistora i univerzalna primenljivost ga čini skoro idealnim gradivnim elementom svakog elektronskog kola.

6. Bulova algebra i digitalna elektronika

6.1.Bulova biografija



Slika 6.1. Džordž Bul (*George Boole, 2.11.1815. – 8.12.1864.*)

Džordž Bul je rođen kao prvo dete svojih roditelja, Meri En Džouns i Džona Bula. Iako je rođen kao slabo i bolesno dete, ubrzo Džordž je postao jak i zdrav. Njegovo rano učenje matematike dolazi od njegovog oca koji je bio obućar ali vrlo zainteresovan za nauku. Kada je napunio sedam godina krenuo je u osnovnu školu, gde je počeo da se interesuje za jezike. Kada je naučio latinski, počeo je sam da uči grčki. Sa četrnaest godina, toliko je dobro znao grčki, da je preveo pesmu jednog grčkog pesnika. Njegov talenat je bio toliki da su lokalni profesori osporavali činjenicu da neki dečak sa samo četrnaest godina može da piše sa takvom dubinom.

U to vreme, Džordž je pohađao trgovačku akademiju Beinbridž u Linkolnu. Ova škola nije obezbeđivala vrstu edukacije kakvu je Džordž želeo, ali bila je sve što su roditelji mogli da mu priušte. Sam je naučio nemački i francuski, a sa šesnaest godina postao je asistent učitelju i školi u Dančesteru. Godine 1834. otvorio je svoju školu u Linkolnu, iako je imao samo devetnaest godina. Godine 1838. Bul je bio pozvan da preuzme Hol akademiju u Vedingtonu, što je i uradio.

U to vreme, Bul je proučavao Laplasove i Lagranževe radove, praveći beleške, koje su kasnije činile osnovu njegovom prvom matematičkom radu. Ohrabrivao ga je Gregori Dankan koji je u to vreme bio urednik matematičkih novina na Kembridžu. Pod uticajem Dankana, počeo je da uči algebru i da svoje članke redovno objavljuje u matematičkim novinama Kembridža. Novembra 1844. godine, dobio je medalju kraljevskog društva. Njegov rad na matematici počeo je da mu donosi slavu. Dobio je mesto predavača matematike na Kvins koledžu 1849. godine, a u avgustu iste godine, Bul je proglašen za prvog profesora matematike na tom koledžu. Godine 1855. ženi se sa Meri Everest. Imali su skladan brak i pet čerki. Na Kvins koledžu je ostao do kraja svog života, stekavši eminentus reputaciju.

Na Bulovu algebru nije se obraćala pažnja sve do 1938. godine. Tada je Šanon upotrebio Bulovu algebru za analizu i konstrukciju telefonskih prekidačkih kola.

Jedna novina ili inovacija uzrokuje drugu. Tako su nove Šanonove primene navodile i druge da upotrebljavaju Bulovu algebru. Danas Bulova algebra predstavlja glavni konstruktorski alat u oblasti digitalne i računarske tehnike uopšte.

6.2. Bulova algebra

Zakoni formalno – logičkog mišljenja i zaključivanja zasnivaju se na tvrđenju koje može biti istinito ili neistinito, ali nekada delimično istinito ili delimično neistinito. Ove zakone u obliku prostih i složenih iskaza dao je veliki grčki filozof Aristotel.

Polazeći od postavki klasične Aristotelovske logike, prema kojima neki logički iskaz može imati samo dva stanja: istinito i lažno, engleski matematičar Džordž Bul (*George Boole, 2.11.1815. – 8.12.1864.*), je sredinom 19. veka razvio posebna pravila računanja. Naime, Bul je time obuhvatio zakonitosti čovekovog logičkog zaključivanja odgovarajućim matematičkim formalizmom. Mogućim logičkim stanjima, istinito i lažno, mogu su pridružiti dve cifre 1 i 0. Ovim ciframa se ne izražavaju brojne vrednosti, već dva stanja.

Bulova algebra koristi jednačinu $x^2 = x$ čija su rešenja 0 i 1 a zasniva se na tri osnovne logičke operacije: negaciji, konjukciji i disjunkciji. Ove tri operacije se mogu predstaviti pomoću tzv. tabela istinitosti:

Tabela 6.1. Tabela istinitosti za operaciju negacije

NEGACIJA	
A	Q
0	1
1	0

Tabela 6.2. Tabela istinitosti za operaciju konjukcije

KONJUKCIJA		
A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabela 6.3. Tabela istinitosti za operaciju disjunkcije

DISJUNKCIJA		
A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Negacija je funkcija samo jedne promenljive $Q = f(A)$, dok su konjukcija i disjunkcija funkcije dve ili više promenljivih: $Q = f(A, B, C, \dots)$. U opštem slučaju kod operacije konjukcije Q će biti 1 samo kada su sve nezavisno promenljive 1, a kod disjunkcije Q će biti 0 samo ako su sve promenljive 0.

6.3. Digitalna elektronska kola – kombinaciona i sekvencijalna

Digitalna elektronska kola su složena elektronska kola, koja kao posebne celine ulaze u sastav različitih digitalnih uređaja. Takvi uređaji su računari sa svojim periferijama, različiti merni uređaji kao što su osciloskopi, razni analizatori, voltmetri, zatim video i audio uređaji itd. Digitalni uređaji, kao što je napomenuto, rade u binarnom cifarskom sistemu, pa je tačnost nekog podatka određena brojem binarnih cifara ili bitova.

Digitalna kola se ubrajaju u prekidačka kola čiji se princip rada zasniva na prekidačkom režimu rada tranzistora. Dve glavne grupe digitalnih kola su kombinaciona kola i sekvencijalna kola.

Kombinaciona kola su digitalna kola koja mogu imati više ulaza i izlaza, a vrednosti napona (stanja) na izlazima u nekom trenutku, zavise samo od kombinacije napona (stanja) na ulazima u tom trenutku. Ovde treba naglasiti da za svako kolo postoji određeno, konačno vreme koje je potrebno da signali na ulazima izazovu promenu na izlazima. To vreme se naziva vreme propagacije signala. Zbog toga signali na izlazu kasne za pojavom signala na ulazima. Vreme propagacije signala se kreće u granicama od reda veličine ns do nekoliko desetina ns , što zavisi od tehnologije izrade elektronskog kola i njegove složenosti. U kombinaciona kola spadaju logička kola – kapije, kola za sabiranje, dekoderi itd.

Vrednosti napona (stanje) na izlazu *sekvencijalnih kola* u nekom trenutku ne zavisi samo od trenutne kombinacije stanja na ulazima već i od prethodnih stanja na izlazima (ulazima). Zato se kaže da sekvencijalna kola „pamte“ stanja na izlazima (ulazima) u prethodnoj sekvenci. Osnovno kolo za pamćenje tzv. osnovna memorijska jedinica ili celija je bistabilni multivibrator. U grupu sekvencijalnih kola spadaju: brojači impulsa, razni registri i memorije.

7. Logička kola

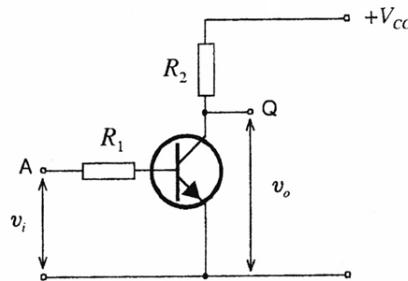
Logička kola fizički realizuju logičku analizu istinitosti, odnosno tačnosti nekog složenog iskaza na osnovu istinitosti pojedinih iskaza u tom složenom iskazu. Za svaku vrstu operacija tj. veze između pojedinih iskaza u složenom iskazu, postoji posebna vrsta logičkih kola. Logičko kolo mora da ima najmanje toliko ulaza koliko ima iskaza u složenom iskazu za čiju je analizu to kolo namenjeno. Istinitom iskazu odgovara električni signal označen stanjem 1 a lažnom iskazu odgovara signal obeležen stanjem 0.

7.1. Elementarna logička kola

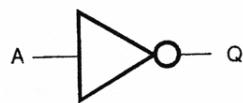
Osnovna logička kola i jednostavnija složena logička kola nazivaju se još i logičke kapije, jer u izvesnom smislu ona propuštaju signale, odnosno kombinacije signala. U zavisnosti od funkcije logičke kapije imaju jedan ili više ulaza i jedan izlaz.

7.1.1. NE kolo

NE kolo (na engleskom NOT) se može jednostavno ostvariti pomoću jednog tranzistora vezanog u kolo kao na slici 7.1. To je ustvari invertujući pojačavač koji radi u prekidačkom režimu. NE kolo ima samo jedan ulaz i jedan izlaz. Na slici 7.2. prikazan je simbol NE kola.



Slika 7.1. Jednostavna realizacija NE kola

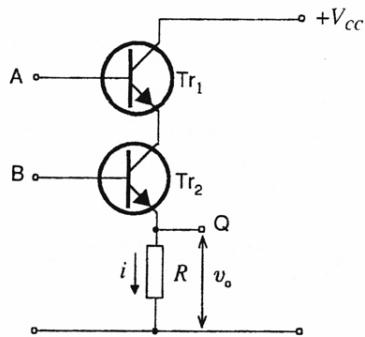


Slika 7.2. Simbol NE kola

Ukoliko je napon $v_i > 0$ dovoljne vrednosti, stanje 1 na ulazu, tranzistor će biti potpuno provodan (tačka S na slici 5.8.). U tom slučaju će napon na izlazu imati nisku vrednost $v_0 = V_{CES}$, stanje 0. Važi i obratno kada je stanje na ulazu 0, stanje na izlazu će biti 1. Prema tome ovo kolo obavlja operaciju negacije. Tabela istine ovog kola je tabela 6.1.

7.1.2. I kolo

I (AND) kolo (sa dva ulaza A i B) može se ostvariti pomoću dva tranzistora vezana na način prikazan na slici 7.3. Simbol I kola sa tri ulaza prikazan je na slici 7.4.



Slika 7.3. Jednostavna realizacija I kola sa dva ulaza

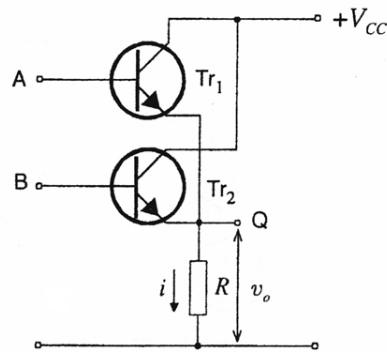


Slika 7.4. Simbol I kola sa tri ulaza

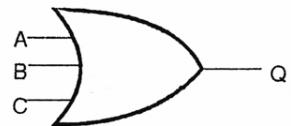
Ukoliko je napon na oba ulaza u stanju 0 oba tranzistora će biti zakočena, pa će i struja kroz otpornik R biti jednaka nuli, tj. napon $v_0 = R \cdot i$ će biti nizak tj. u stanju logičke nule. Ako je, na primer, samo tranzistor Tr₁ zakočen, tj. ako je A = 0, struja kroz R će opet biti jednaka nuli. Zbog toga će i napon v_0 biti 0. Samo ako su oba ulaza u stanju 1, oba tranzistora će biti provodna i struja i kroz otpornik R će biti znatna, a napon $v_0 = R \cdot i > 0$, tj. biće Q = 1. Tabela istine za ovo kolo je tabela 6.2.

7.1.3. ILI kolo

ILI (OR) kolo (sa dva ulaza A i B) se može ostvariti pomoću dva tranzistora vezana na način prikazan na slici 7.5. Na slici 7.6. prikazan je simbol ILI kola sa tri ulaza.



Slika 7.5. Jednostavna realizacija ILI kola sa dva ulaza



Slika 7.6. Simbol ILI kola sa tri ulaza

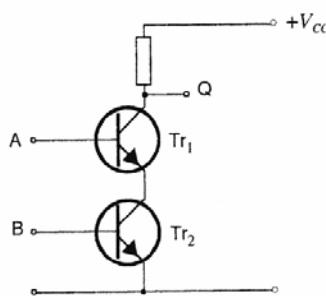
Ako je bar jedan od ulaza (A ili B) u stanju 1 odgovarajući tranzistor, Tr₁ ili Tr₂ će biti provodan. Zbog toga će proticati struja kroz otpornik R i to dovodi do toga da je $v_0 > 0$, tj. Q = 1. Ako su naponi na oba ulaza prisutni, oba tranzistora će biti provodna i opet je Q = 1. Samo ako su oba napona na ulazu jednakata nula (A = 0 i B = 0) izlaz Q će biti 0. Tabela istine za ovo kolo je tabela 6.3.

7.2. Složena logička kola

7.2.1. NI kolo

NI (NAND) kolo, čiji je simbol prikazan na slici 7.8. spada u grupu složenih kola tj. kapija. NI kolo može imati dva ili više ulaza i jedan izlaz. Ono vrši operaciju negacije konjukcije.

Tabela 7.1. predstavlja tabelu istinitosti (stanja) NI kola sa tri ulaza.



Slika 7.7. Jednostavna realizacija NI kola sa dva ulaza



Slika 7.8. Simbol NI kola



Slika 7.9. Realizacija NI kola pomoću I i NE kola

Tabela 7.1. Tabela stanja NI kola

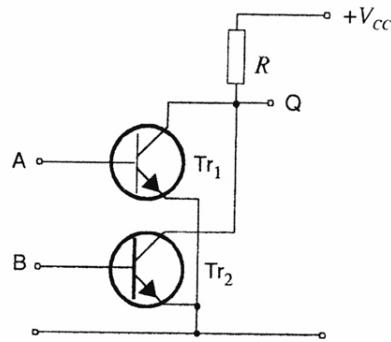
A	B	C	Q
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Ako je bar jedan tranzistor zakočen, napon na izlazu Q će biti visok. Samo kada su oba tranzistora provodna izlaz će biti na niskom naponskom nivou, tj. $Q = 0$.

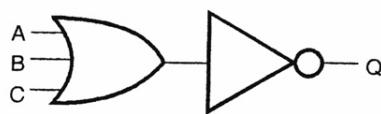
7.2.2. NILI kolo

NILI (NOR) kolo takođe spada u grupu složenih logičkih kola. Može imati dva ili više ulaza i jedan izlaz, a vrši operaciju negacije disjunkcije.

Ovo kolo se može realizovati pomoću jednog ILI kola i jednog NE kola (slika 7.11). Simbol NILI kola dat je na slici 7.12.



Slika 7.10. Jednostavna realizacija NILI kola sa dva ulaza



Slika 7.11. Realizacija NILI kola pomoću ILI i NE kola



Slika 7.12. Simbol NILI kola sa tri ulaza

Dvoulazno kolo se može realizovati pomoću dva tranzistora kao što je šematski prikazano na slici 7.10. Samo ako su oba tranzistora zakočena napon na izlazu će biti praktično jednak naponu napajanja, tj. $Q = 1$. U ostalim slučajevima napon na izlazu je jednak naponu saturacije provodnog tranzistora, tj. $Q = 0$. Tabela 7.2. predstavlja tabelu istinitosti (stanja) NILI kola.

Tabela 7.2. Tabela stanja NILI kola

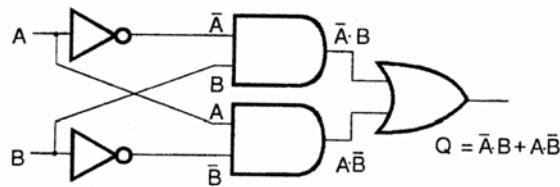
A	B	C	Q
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

7.2.3. Isključivo ILI kolo (EXOR)

Operacija isključive disjunkcije se može predstaviti sledećim izrazom:

$$Q = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B} = A \oplus B$$

Simbol \oplus označava upravo operaciju isključive disjunkcije. Složeno logičko kolo koje izvršava ovu operaciju u sebi sadrži dva NE kola, dva I kola i jedno ILI kolo a predstavljeno je na slici 7.13. Ovo kolo se naziva isključivo ILI kolo ili ekskluzivno ILI kolo. Na slici 7.14. je prikazan simbol ovog kola. Analizirajući izraz za operaciju isključive disjunkcije dolazi se do tabele 7.3. Izlaz Q je u stanju 1 u slučaju kada je samo jedan od ulaza u stanju 1.



Slika 7.13. Logička šema isključivog ILI kola



Slika 7.14. Simbol isključivog ILI kola

Tabela 7.3. Logička stanja dvoulaznog isključivog ILI kola

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Isključivo ILI kolo sa tri ulaza vrši operaciju:

$$Q = A \oplus B \oplus C$$

Moguća stanja ovog troulaznog kola data su u tabeli 7.4.

Tabela 7.4. Logička stanja troulaznog isključivog ILI kola

A	B	C	Q	P
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	0

Iz tabele 7.3. i 7.4. se vidi da je izlaz Q u stanju 1 samo kada je neparan broj ulaza u stanju 1, a 0 je onda kada je broj ulaza u stanju 1 paran. Zbog toga se uvodi nova veličina, parnost binarne reči (P u poslednjoj koloni tabele 7.4.). Ukoliko je broj bitova u stanju 1 u dатој rečи paran, parnost P je 1, a suprotno je 0. Ovo se koristi i za proveru ispravnosti prenosa podataka između dva dela kola ili dva uređaja. Provera održanja parnosti prilikom prenosa binarnih informacija je efikasan način da se poboljša pouzdanost prenosa podataka.

7.3. Tehničke realizacije logičkih kola

Postoje razne prekidačke komponente koje se koriste za izradu logičkih kola. Karakteristika prekidačke komponente mora biti takva da nedvosmisleno realizuje dva različita stanja i da se prelaz iz jednog u drugo stanje može kontrolisati. Prema upotrebljenoj prekidačkoj komponenti razlikuju se relejna logička kola, diodna, tranzistorska, tranzistorsko – tranzistorska, MOS logička kola, pneumatska logička kola i druga. Svaku prekidačku komponentu karakterišu način izrade, pouzdanost, brzina rada, potrošnja snage, traženi broj ulaza i izlaza, uticaj temperature, vlažnosti, zračenja, zatim cena i drugi faktori. Jasno je da ne postoji idealna prekidačka komponenta koja bi mogla da zadovolji sve ove zahteve. Poluprovodnička logička kola su najznačajnija i najmasovnije se upotrebljavaju. Njihova osnovna karakteristika je velika brzina rada. Postoji više klasifikacija logičkih kola prema upotrebljenoj komponenti i po načinu vezivanja. Najčešće danas korištene sprege logičkih kola su: tranzistorsko – tranzistorska kola – TTL, kola sa emiterском spregom ECL, MOS i CMOS.

U integralnim kolima sastavni delovi logičkih kola su združeni, tj. integrirani u zajednički kristal poluprovodnika i ne mogu se više iz njega izdvojiti bez oštećenja. Integrисano kolo može biti jednodelno ili višedelno ako je više razdvojivih komada kristala, na kojima su napravljeni sastavni delovi elektronskog kola, povezano u zajedničkom kućištu tako da čine celinu. Integrисana kola se izrađuju u kućištima raznih oblika i veličina.

Pri radu sa digitalnim integrisanim kolima treba voditi računa kako o njihovoj funkciji, tako i o tehnologiji izrade, jer od toga zavisi i postupak rada sa njima. Sve potrebne informacije o pojedinim integrisanim kolima mogu se naći u odgovarajućim katalozima.

Uređaji sa integrisanim kolima su neuporedivo pouzdaniji od sličnih uređaja sa razdvojivim poluprovodničkim komponentama. Postoji više razloga za to. Izrađuju se sa manje materijala i manjim brojem tehnoloških postupaka koji su podložni kontroli i automatizaciji. Združivanjem u zajedničko kućište izbegava se veliki broj međuveza i spojnih tačaka, a sve komponente su mehanički zaštićene od spoljašnjih uticaja. Međutim, po mišljenju mnogih, najveća ušteda i revolucionarnost integrisanih kola je u činjenici da se konstruktor oslobođa briga u vezi sa projektovanjem i realizacijom elementarnih kola. Takođe, uređaji sa integrisanim kolima se lakše održavaju jer se popravka vrši jednostavnom zamenom celog integrisanog kola, a da pri tome ne postoji potreba za naknadnim podešavanjem uređaja.

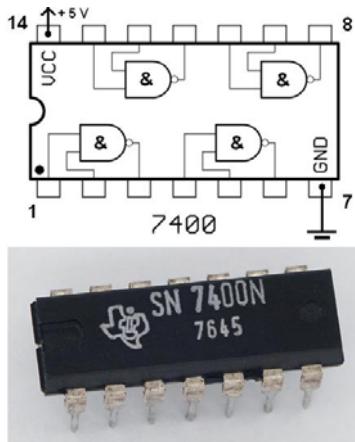
7.3.1. Tranzistorsko – tranzistorska logička kola, TTL

U početku svog razvoja logička kola su se realizovala kombinacijom dioda i tranzistora (diodno – tranzistorsko logička kola, DTL). Međutim, danas se realizuju isključivo tranzistorima (tranzistorsko – tranzistorska logička kola, TTL), čime je povećana brzina rada i smanjena potrošnja energije.

TTL, skraćenica od (engl. *transistor – transistor logic*) je tehnološka generacija integralnih kola stvorena 60-ih godina 20 veka. Bila je jedna od prvih tehnologija koja je omogućila integraciju većeg broja komponenti u integralnom kolu, sa standardnim radnim naponom od 5V. Pojavom TTL tehnologije počela je era brze minijaturizacije i integracije, koja traje do danas.

Iako su druge tehnološke generacije preuzele primat, raspored pinova TTL kola se i dalje prati u novim kolima koja ih zamenuju, posebno u „neuništivoj“ 7400 seriji integralnih kola, koja je postala industrijski standard.

O tehnologiji izrade, brzini rada i potrošnji može se saznati i iz oznake integrisanog kola. Na primer, integrisana kola u TTL tehnologiji imaju u svojoj oznaci prve dve cifre 74, a ostali brojevi specifikuju tip kola (na primer, 7474 je standardno integrisano kolo sa dva D flip – flopa). Ako se posle cifara u oznaci nalaze i slova, onda je reč o kolima sa nekom specifičnom osobinom. Na primer, oznaka 74Lxx saopštava da se radi o kolu male potrošnje, a oznaka 74Hxx da se radi o kolu velike brzine.



Slika 7.15. TTL kolo

Prednosti TTL tehnologije u vreme kada je nastala je bila uspešna integracija većeg broja tranzistora na jedno kolo. Prednost u odnosu na CMOS tehnologiju 70-ih i 80-ih godina je bila veća brzina rada.

Veliki nedostatak tehnologije je bila visoka potrošnja struje, oko 20 mA po kolu, što je značilo da za uređaj od 10 kola treba već oko 200 mA. To je praktično ograničilo širu upotrebu u uređajima na baterije, koji su morali koristiti sporiju CMOS tehnologiju sa malom potrošnjom struje.

7.3.2. MOS logička kola

MOS tranzistori su nastavak razvoja tehnologije poluprovodnika i izrade integrisanih kola. Međutim, tek pojavom MOS integrisanih kola dolaze do punog izražaja sve prednosti koje uopšte tehnika integrisanih kola nudi. Naime, smanjivanjem dimenzija samih MOS elemenata i povećavanjem kompleksnosti MOS integrisanih kola, postiže se ne samo prednosti u tehničkom i organizacionom smislu na svim nivoima primene elektronike, već i njihova cena naglo opada, tako da se sve masovnije primenjuje MOS tehnologija.

Digitalne logičke funkcije mogu se realizovati sa dva osnovna tipa MOS kola: konvencionalnom ili statičkom i dinamičkom logikom, koja koristi privremeno pamćenje i impulsno pobuđivanje MOS elemenata. Statička logika ne može iskoristiti sve prednosti koje pružaju MOS elementi, za razliku od dinamičke, koja omogućava smanjivanje dimenzije i snage potrošnje žrtvujući samo niske radne učestanosti i jednosmerni rad.

CMOS (engl. Complementary Metal – Oxide – Semiconductor) je tehnološka generacija integralnih kola, stvorena 60-ih godina 20 veka. Za razliku od TTL tehnologije sa bipolarnim tranzistorima odlika CMOS tehnologije je bila mala potrošnja struje. Originalna CMOS tehnologija je vremenom evoluirala u mnoge podvrste. Jedna od najznačajnijih je HCMOS, sada u raširenoj upotrebi.

Integrirana kola koja su izrađena u CMOS tehnologiji ili nekoj drugoj MOS tehnologiji veoma su osetljiva na statički elektricitet, zato što imaju vrlo veliku ulaznu otpornost. Naime, usled dodira ulaznih krajeva MOS kola, lako se stvara visok elektrostatički potencijal koji, ukoliko je veći od 100 V, može da „probije“ ulaz u kolo i da ga trajno ošteti. Napon napajanja MOS integrisanih kola ne mora, kao kod TTL kola, da bude stabilizovan na 5 V, tj. u strogo propisanim granicama.

U CMOS integrisanim kolima jedan tranzistor je n-kanalski a drugi p-kanalski, tako da pri nekom logičkom stanju jedan tranzistor provodi, a drugi ne provodi.

8. Memorjske jedinice

Izlazna stanja kombinacionih logičko – prekidačkih mreža postoje samo dotle dok postoje ulazni signali: ukoliko ovi signali nestanu i izlazna stanja se gube. Međutim, u digitalnoj obradi podataka postoji potreba da se zadržavaju, odnosno memorišu prethodna stanja u pojedinim delovima uređaja, ili da se memoriše i po potrebi koristi određena količina spoljašnjih podataka.

Elementi koji zadržavaju – pamte uspostavljena stanja i po prestanku dejstva pobudnih signala koji su ih prouzrokovali, nazivaju se memorjski elementi. Zbog toga njihova naredna izlazna stanja ne zavise samo od ulaznih signala u posmatranom trenutku već i od redosleda ili sekvencije prethodnih stanja u kojima su se nalazili. Električne mreže koje pored kombinacionih logičkih elemenata sadrže i memoriske – sekvencialne elemente, nazivaju se *sekvencialne logičko – prekidačke mreže*.

U izlaznim signalima sekvencialnih digitalnih mreža pojavljuje se kao parametar i vreme, odnosno redosled ili sekvencija vremenskih intervala kojima odgovaraju pojedina stabilna stanja. Stoga je za pravilan rad sekvencialne digitalne mreže neophodno odrediti stanje u kome se mreža nalazila pre dovođenja ulaznih signala, tj. početno stanje.

Jedna od osnovnih karakteristika sekvencialnih digitalnih kola jeste postojanje tih stabilnih stanja u kojima mogu ostati neograničeno vreme i koja se mogu menjati pod uticajem ulaznih signala. Vreme prelaza iz jednog stabilnog stanja u drugo treba da je što kraće, i u idealnom slučaju taj prelaz (prelazni režim) treba da je trenutan, tj. skokovit. U realnim kolima ovo vreme je svakako konačno, što direktno ograničava maksimalnu brzinu rada ovih kola. Stabilna stanja, koja traju znatno duže od prelaznih stanja, mogu da se interpretiraju kao diskretna i da se kodiraju logičkim vrednostima „1“ ili „0“. Minimalno vreme trajanja jednog stabilnog stanja (tj. vreme između dve uzastopne promene stabilnih stanja) naziva se *interval diskretnosti* ili *takt – interval*. Na ovaj način se i vreme može tretirati kao diskretna promenljiva i označava se skupom nenegativnih celih brojeva $t = 0, 1, 2, \dots, n$. Zbog toga se rad sekvencialnih digitalnih mreža može prikazati pomoću vremenskih dijagrama ili pomoću dijagrama sekvencija.

8.1. Sinhrone i asinhrone sekvencialne digitalne mreže

Stanja memorjskih elemenata i sekvencialnih digitalnih mreža uopšte, interpretiraju se u vremenu njihovih stabilnih stanja, pa se ona nazivaju referentni trenuci. Ovi trenuci se mogu određivati impulsima iz posebnog uređaja, koji se naziva generator takt – impulsa, generator sinhronizacionih impulsa ili generator osnovnog ritma. Sekvencialne digitalne mreže, kod kojih su referentni intervali vremena jednaki međusobno i prethodno određeni posebnim generatorom sinhronizacionih impulsa, nazivaju se sinhrone, ili taktovane. Period sinhronizacionih impulsa često se naziva *takt – interval*.

Svaka operacija u sinhronim digitalnim mrežama izvršava se u koincidenciji (istovremeno) sa sinhronizacionim ili takt – impulsima. Osim toga što daju osnovni takt rada uređaja, sinhronizacioni takt – impuls određuju i maksimalnu brzinu rada, jer su to najbrži impulsi u jednom uređaju. Takođe, pomoću sinhronizacionih takt – impulsa, odnosno pri sinhronom radu, obezbeđuje se da se interpretacija stanja ne vrši u vremenu kada može nastupiti prelazno stanje, tj. da se ne bi neodređeni prelazni režimi pojavili kao signali na izlazu sekvencijalne mreže, već da se oni obave između sinhro – impulsa. U tehnici integrisanih kola, koincidentna kola na koja se dovode sinhro – impulsi ugrađuju se unutar pakovanja elementarnih sekvencijalnih kola, tj. flip – flopova, tako da ovi imaju zaseban ulaz za sinhro – impulse.

Takođe je predviđeno da se izmena stabilnih stanja, tj. odvijanje prelaznih režima u takvim kolima uslovjava prelazom sinhro – impulsa sa logičkog nivoa 1 na 0, odnosno u trenutku logičke nule na sinhro – ulazu, tj. kada se ne vrši interpretacija izlaznih signala.

Za razliku od sinhronih mreža, sekvencijalne digitalne mreže kod kojih referentni trenuci nisu određeni pomoću sinhronizacionih impulsa iz spoljašnjeg generatora, nazivaju se asinhronne mreže, a sam način rada naziva se asinhronim.

8.2. Tehničke realizacije memorijskih elemenata

Memorijski elementi se prema konstrukciji mogu podeliti na pasivne i aktivne.

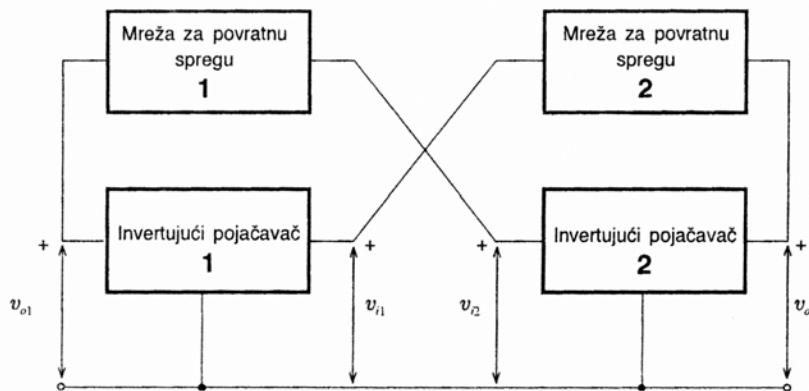
Veoma pogodni pasivni memorijski elementi su magnetni materijali. Kada se jezgro napravljeno od takvog materijala namagnetiše u jednom smeru, ono zadržava uspostavljeno magnetno stanje i po prestanku struje koja ga je izazvala. To znači da ovakav memorijski element može da čuva zabeleženi podatak neograničeno dugo bez potrošnje električne energije.

Za memorisanje binarnih podataka koriste se magnetni diskovi, trake, filmovi i druge magnetne površine. Glavna ograničenja magnetnih materijala kao memorijskog medijuma su veliko vreme pristupa, temperaturna zavisnost, način očitavanja memorijskog sadržaja.

Aktivni memorijski elementi koriste tranzistore kao aktivne elemente sa pojačavačkim svojstvom. Oni zahtevaju stalnu potrošnju električne energije i povremeno obnavljanje uspostavljenih stanja, kao i relativno veliki broj elementarnih komponenata, što ih čini nepogodnim za izgradnju većih memorijskih sistema. Sa druge strane, aktivni memorijski elementi se odlikuju velikom brzinom rada i jednostavnošću identifikovanja stabilnih stanja, pa se masovno koriste za izgradnju različitih vrsta memorija malog i srednjeg kapaciteta. U aktivne memorijske elemente spadaju različiti tipovi flip – flopova i oni predstavljaju osnovna kola digitalne tehnike.

8.3. Multivibratori

Multivibrator može da se predstavi kao skup od dva invertujuća pojačavača kod kojih je izlaz prvog vezan, preko mreže za povratnu spregu, na ulaz drugog, a izlaz drugog, takođe preko mreže za povratnu spregu, na ulaz prvog, što je prikazano na slici 8.1. Mreže za povratnu spregu su napravljene tako da ne menjaju fazu signala. U zavisnosti od elemenata korišćenih u povratnim spregama, multivibratori mogu imati dva stabilna stanja, jedno stabilno stanje ili nijedno stabilno stanje. Prema broju stabilnih stanja multivibratori se dele na bistabilne, monostabilne i astabilne.



Slika 8.1. Blok šema multivibratora

8.4. Flip – flop kao memorijski element

Bistabilni multivibrator koji se često naziva i flip – flop, ima dva stabilna stanja. Stanje bistabilnog multivibratora se može promeniti pomoću odgovarajućeg impulsa. Pozitivan napon doveden na bazu neprovodnog tranzistora učiniće da ovaj tranzistor postane provodan, usled čega drugi postaje neprovodan. Obrnuto, negativan napon doveden na bazu provodnog tranzistora čini ovaj tranzistor neprovodnim, zbog čega onaj drugi postaje maksimalno provodan.

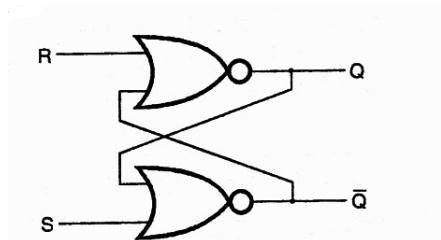
Bistabilni multivibrator se može koristiti kao osnovna memorijska jedinica jer se dovođenjem signala na ulaze može postaviti u jedno od dva stabilna stanja. Kod memorijskih elemenata se uvode termini Set i Reset. Početno stanje memorijskog elementa se naziva resetovano stanje. Usvojeno je da ovo resetovano stanje odgovara stanju logičke nule. Prema tome stanje kola koje odgovara logičkoj jedinici naziva se setovano stanje. Kada je $Q = 1$ ($\bar{Q} = 0$) kaže se da je multivibrator setovan, odnosno u njemu je memorisano stanje 1, a kada je $Q = 0$ ($\bar{Q} = 1$) multivibrator je resetovan, odnosno memorisano je stanje 0.

Flip – flop je poznato okidno kolo sa dva stabilna stanja koja se koriste za memorisanje podataka u binarnom obliku. Kao memorijski element, flip – flop je jedno od osnovnih kola digitalne tehnike. Kako se bit – informacije prepoznaće – kodira prisustvom ili odsustvom impulsa ili logičkog nivoa „1“ ili „0“, to jedan flip – flop može da pamti u određenom vremenu samo jednu informaciju, tj. jedan bit informacije. Informacije veće od jednog bita pamte se u određenom skupu flip – flopova koji se naziva registar. Uređeni skup više registara, pak, čini memoriju većeg kapaciteta. Rad flip – flopa kao memorijskog elementa može biti prikazan kombinacionom tabelom – tabelom prelaza ili pomoću odgovarajućih prekidačkih funkcija – funkcija prelaza.

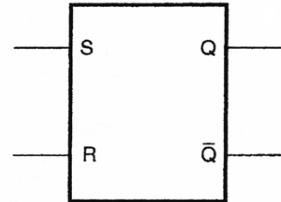
8.4.1. RS flip – flop

Bistabilni multivibrator, ili flip – flop se može realizovati i pomoću logičkih kapija. Ovo je najjednostavniji tip flip – flopa i čini osnovu za realizaciju drugih bistabilnih kola koja se realno koriste. Ovaj flip – flop se naziva RS flip – flop, RS je skraćenica od Reset i Set.

RS flip – flop se sastoji od ukrštene veze dva invertorska kola, tako da je izlaz prvog spojen na ulaz drugog, a izlaz drugog na ulaz prvog. Na taj način je ostvarena pozitivna povratna sprega potrebna za kumulativni proces pri promeni stabilnih stanja. Logička struktura RS flip – flopa, realizovanog ukrštanjem dva dvoulazna NILI kola, prikazana je na slici 8.2. dok je na slici 8.3. prikazana simbolička oznaka RS flip – flopa.



Slika 8.2. RS flip – flop



Slika 8.3. Simbol RS flip – flopa

RS flip – flop spada u grupu sekvencijalnih kola, što znači da stanja na izlazima Q i \bar{Q} zavise ne samo od stanja na ulazima R i S već i od prethodnih stanja na Q i \bar{Q} .

Analiza rada RS flip – flopa se zasniva na tabeli stanja za NILI kolo. Neka su, na primer, u prethodnom stanju $Q = 1$ i $\bar{Q} = 0$ i neka se na ulaze dovedu stanja $S = 0$ i $R = 1$. U trenutku dovođenja signala na ulaze stanja su sledeća: na ulazima gornjeg NILI kola na slici 8.2. prisutna su stanja 0 i 1, kao i na ulazima donjeg NILI kola. Zbog toga se stanje na izlazu \bar{Q} u početnom trenutku ne menja, ali stanja na ulazima gornjeg NILI kola će izazvati promenu stanja na izlazu Q koje sada prelazi u stanje 0.

Kombinacija 0 i 0 koja se sada pojavljuje na ulazima donjeg NILI kola izaziva promenu stanja na izlazu \bar{Q} koje prelazi u stanje 1. Kombinacija 1 i 1 na ulazima gornjeg NILI kola ne menja stanje flip – flopa koje je sada trajno. Na sličan način se mogu ispitati i stanja za ostale kombinacije iz tabele 8.1. Kombinacija 1 i 1 na R i S ulazima bi po ovakvoj analizi dala stanje na izlazima $Q = 0$ i $\bar{Q} = 0$. To međutim, nije realna slika. Analizom elektronskih kola od kojeg su sastavljena NILI kola dolazi se do zaključka da je ovo stanje nedozvoljeno (neodređeno).

Tabela 8.1. Logička stanja RS flip – flopa u zavisnosti od prethodnih stanja na izlazima

Prethodno stanje		Ulazi		Krajnje stanje		Opis rada
Q	\bar{Q}	S	R	Q	\bar{Q}	
1	0	0	0	1	0	nepromjenjeno reset set nedozvoljeno
1	0	0	1	0	1	
1	0	1	0	1	0	
1	0	1	1	x	x	
0	1	0	0	0	1	nepromjenjeno reset set nedozvoljeno
0	1	0	1	0	1	
0	1	1	0	1	0	
0	1	1	1	x	x	

Poređenjem gornjeg i donjeg dela tabele dobija se jedinstvena tabela 8.2. koja opisuje rad flip – flopa bez obzira na prethodna stanja Q i \bar{Q} .

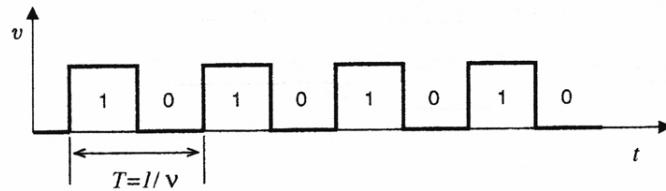
Iako RS flip – flop može da pamti stanja 0 i 1, njegov glavni nedostatak je pojava neodređenog stanja. Zbog toga se ova vrsta flip – flopa koristi samo kao osnova za realizaciju drugih vrsta bistabilnih elemenata.

Tabela 8.2. Tabela stanja RS flip – flopa

S	R	Q
0	0	nepromjenjeno
0	1	reset (0) set (0) neodređeno
1	0	
1	1	

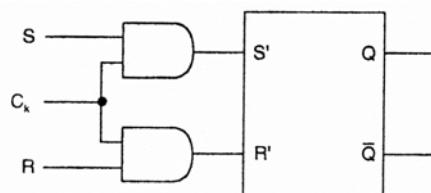
8.4.2. Taktovani RS flip – flop

Savremeni digitalni uređaji se sastoje od vrlo složenih elektronskih kola, tako da ukupan broj, na primer, tranzistora u jednom takvom uređaju dostiže cifru od nekoliko desetina miliona. Da bi tako složen sistem radio ispravno potrebno je vremenski sinhronizovati rad pojedinih delova. To se postiže uvođenjem jednog zajedničkog upravljačkog signala koji se dovodi istovremeno na sva kola. Takav signal se naziva *takt* ili *clock* signal. Uobičajeno je, mada ne po pravilu, da kada je takt signal u stanju 1 rad kola je omogućen, a kada je u stanju 0 rad kola je onemogućen. To znači da je izmena stanja pojedinih flip – flopova sprečena sve do određenog trenutka koji je diktiran takt signalom. U principu, takt signal je niz pravougaonih signala određenog perioda T (frekvencije ν), kao što je prikazano na slici 8.4.



Slika 8.4. Talasni oblik takt signala

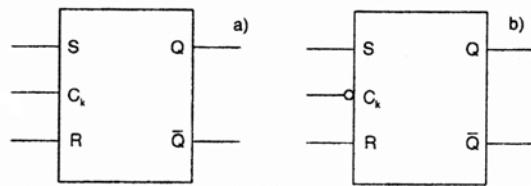
Ovakav niz signala se dobija korišćenjem različitih oscilatornih kola. Kada je u nekom delu kola potrebno skratiti vreme trajanja takt signala koristi se kolo za diferenciranje. Taktovani RS flip – flop je prikazan na slici 8.5.



Slika 8.5. Realizacija taktovanog RS flip - flopa

Na ulaze S i R se dovode signali za setovanje odnosno resetovanje flip – flopa preko dva I kola. Flip – flop je aktivran samo ako je takt signal, koji se dovodi C_k , u stanju 1. Ukoliko je C_k u stanju 0, na izlazu oba I kola je stanje 0. To znači da se stanja na Q i \bar{Q} ne menjaju bez obzira na stanja ulaza R i S. Ukoliko je C_k u stanju 1 kroz I kola se propuštaju stanja sa S i R, a Q i \bar{Q} se postavljaju u stanja koja su u skladu sa tabelom 8.2.

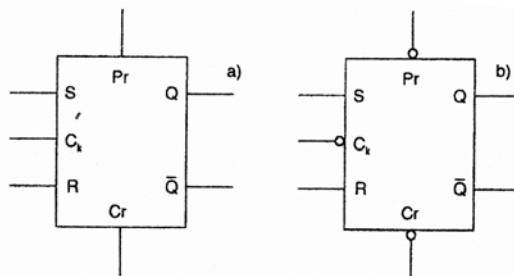
Simbol taktovanog RS flip – flopa je prikazan na slici 8.6a. Može se realizovati i obrnut slučaj tj. rad RS flip – flopa može biti omogućen i kada je $C_k = 0$, odnosno onemogućen kada je $C_k = 1$. Simbol takvog kola je prikazan na slici 8.6b.



Slika 8.6. Simboli taktovanog RS flip – flopa

Osim pomenutih priključaka flip – flop može imati još dva priključka, Preset Pr za postavljanje u setovano stanje i Clear Cr za postavljanje u resetovano stanje. Dovođenjem „1“ na Preset priključak, flip – flop se postavlja u setovano stanje u bilo kom trenutku, bez obzira na stanje takt signala, a dovođenjem „1“ na Clear, flip – flop se resetuje opet bez obzira na stanje signala.

Pomoću ovih priključaka se digitalna kola dovode u početno, poznato stanje, na primer prilikom uključivanja računara. Simbol RS flip – flopa sa Preset i Clear priključcima prikazan je na slici 8.7a. Na slici 8.7b je prikazan flip – flop kod koga se prethodno setovanje, odnosno resetovanje vrši nulom, a ne jedinicom.

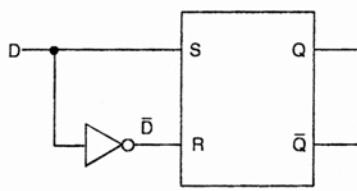


Slika 8.7. Simboli RS flip – flopa sa priključcima Preset i Clear

8.4.3. D flip – flop

RS flip – flop ima dva priključka za podatke. Da bi se setovao na ulazu S mora biti stanje 1, a na R stanje 0. Za resetovanje, na S ulaz treba dovesti 0, a na R ulaz 1. Znači potrebna su dva signala na ulazima za promenu stanja na izlazu što je uz pojavu neodređenog stanja još jedan nedostatak RS flip – flopa.

Ovi nedostaci se mogu otkloniti dodavanjem jednog NE kola na ulaz RS flip – flopa kao što je prikazano na slici 8.8. Dobijeno kolo ima samo jedan ulaz D. Signal na D ulazu direktno pobuđuje S ulaz RS flip – flopa, a \bar{D} pobuđuje ulaz R. Kada je $D = 1$ ($\bar{D} = 0$) RS flip – flop se setuje ($Q = 1$), a kada je $D = 0$ ($\bar{D} = 1$) RS flip – flop se resetuje ($Q = 0$). Znači, i D flip – flop ima dva moguća stanja, setovano i resetovano, što se može predstaviti tabelom stanja D flip – flopa (tabela 8.3.).

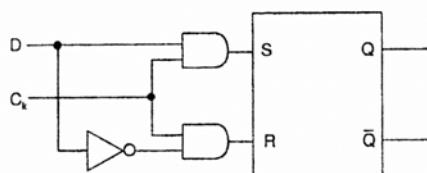


D	Q	\bar{Q}
0	0	1
1	1	0

Slika 8.8. Realizacija D flip – flop-a

Tabela 8.3. Tabela stanja D flip – flop-a

Ovako opisani D flip – flop je nesinhronizovani D flip – flop. Sinhronizovani (taktovani) D flip – flop se može realizovati na isti način kao i sinhronizovani RS flip – flop prema šemsi na slici 8.9.



Slika 8.9. Taktovan D flip flop

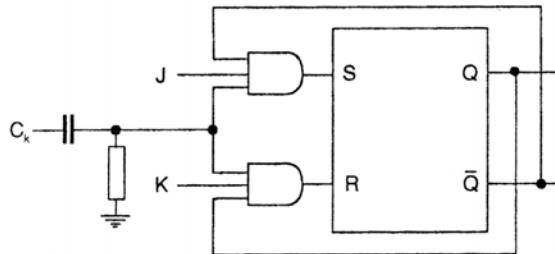
C_k	D	Q
0	x	Q_{n-1}
1	0	0
1	1	1

Tabela 8.4. Tabela stanja taktovanog D flip - flop-a

Kada je $C_k = 0$ na ulazima S i R je stanje 0, što znači da se na Q i \bar{Q} zadržava prethodno stanje. Kada je $C_k = 1$, flip – flop je aktiviran i stanja Q i \bar{Q} zadovoljavaju tabelu stanja D flip – flopa. Rad taktovanog D flip – flopa se može opisati tabelom 8.4. u kojoj x označava stanje na D ulazu koje može biti 0 ili 1.

8.4.4. JK flip – flop

Osnova za ovaj tip flip – flopa je kao i u slučaju D flip – flopa, RS flip – flop. JK flip-flop ima dva ulaza J i K i prikazan je šematski na slici 8.10. Takt signal se dovodi na ulaz flip – flop-a preko kola za diferenciranje. Rad JK flip – flopa se najjednostavnije može prikazati tabelom 8.5.



Slika 8.10. Realizacija JK flip – flopa

Tabela 8.5. Tabela stanja JK flip flop-a

<i>J</i>	<i>K</i>	<i>Q</i>	Rad kola
0	0	Q_n	prethodno stanje
0	1	0	reset
1	0	1	set
1	1	Q_{n+1}	novo stanje

Kada su ulazi J i K na nižem naponskom nivou tj. $J = K = 0$ onemogućen je rad I kolima i bez obzira na takt signal i stanja Q i \bar{Q} JK flip – flop ostaje u svom prethodnom stabilnom stanju.

Kada je $J = 0$, a $K = 1$ tada je gornjem I kolu onemogućen rad i ne postoji mogućnost da se RS flip – flop setuje. Jedina mogućnost je resetovanje flip – flop-a. Ako je poslednje stanje izlaza bilo $Q = 1$, sledeća pozitivna ivica takt signala će omogućiti otvaranje donjeg I kola i tako omogućiti resetovanje, tj. postaviti stanje $Q = 0$.

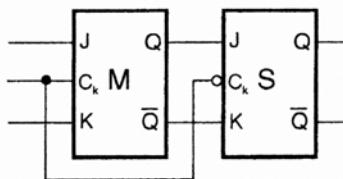
Kada je $J = 1$, a $K = 0$ tada je donjem I kolu onemogućen rad pa se flip – flop jedino može setovati. To je moguće u slučaju kada je $Q = 0$, a $\bar{Q} = 1$. Znači kada se pojavi prva pozitivna ivica takt signala flip – flop će se setovati tj. postaviti u stanje $Q = 1$.

Kada su oba ulaza na višem naponskom nivou tj. $J = 1$ i $K = 1$ flip – flop se može i setovati i resetovati što zavisi od stanja Q i \bar{Q} na izlazima. Ako je $Q = 1$ donje I kolo će propustiti prvu sledeću pozitivnu ivicu takt signala i resetovati flip – flop tj. postaviti stanje $Q = 0$. Nasuprot tome ako je $Q = 0$, tj. $\bar{Q} = 1$ tada je omogućen rad gornjem I kolu. Kada nađe prva sledeća pozitivna ivica takt signala flip – flop će biti setovan, tj. biće $Q = 1$. To znači da JK flip – flop, kada je $J = 1$ i $K = 1$, menja stanje sa svakom pozitivnom ivicom takt signala.

8.4.5. Master – Slave JK flip – flop (MS)

Za pravilan rad JK flip – flopa je potrebno da vreme trajanja pozitivnog impulsa takt signala bude kraće od vremena trajanja prenosa signala kroz flip – flop. U suprotnom bi se u flip – flopnu moglo desiti i više promena u toku vremena trajanja pozitivnog impulsa takt signala. Ovaj nedostatak se u potpunosti otklanja korišćenjem MS JK flip – flopa.

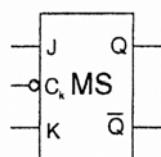
MS JK flip – flop se sastoji od dva JK flip – flopa, Master flip – flopa koji se okida prednjom ivicom takt signala i Slave flip – flopa koji se okida zadnjom ivicom takt signala. Njihova veza je prikazana na slici 8.11.



Slika 8.11. MS JK flip – flop

Ako je na ulazu J, M flip – flop, prisutno stanje 1, M flip – flop će biti setovan sa nailaskom prvog pozitivnog impulsa takt signala. Izlaz Q ($\bar{Q} = 1$), M flip – flop sada pobuđuje ulaz J, S flip – flop. S flip – flop ostaje neaktivan do pojave zadnje ivice takt signala i tek tada menja stanje u skladu sa stanjem na ulazu J. Na taj način se sadržaj M flip – flopa kopira u S flip – flop. Isto se dešava bez obzira u kojim stanjima se nalaze J i K ulazi M flip – flopa. Ovakav način rada onemogućuje više promena u toku jednog takt signala.

Simbol MS JK flip – flopa prikazan je na slici 8.12.



Slika 8.12. Simbol MS JK flip – flop

9. Eksperimentalne vežbe

9.1. Logička kola i merenje vremena propagacije signala

Da bi učenici odradili vežbe potrebno im je određeno pedznanje pa ih pre izvođenja vežbi moramo upoznati sa sledećim pojmovima:

- Tranzistor kao prekidački element
- Bulova algebra i digitalna elektronika
- Elementarna logička kola : NE kolo, I kolo, ILI kolo
- Složena logička kola : NI kolo, NILI kolo, isključivo ILI kolo (EXOR), TTL kolo, CMOS kolo

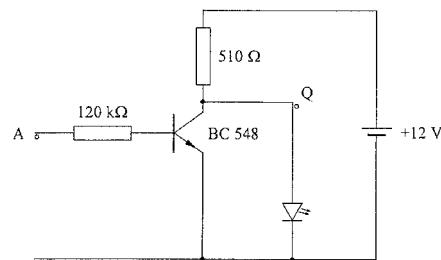
Za naredne vežbe korišćeni su:

- eksperimentalna pločica sa napajanjem
- tranzistori BC548 (NPN)
- otpornici
- svetleće diode (LED)
- žice za spajanje

Umesto eksperimentalne pločice sa napajanjem, može se koristiti i eksperimentalna pločica sa spoljašnjim napajanjem.

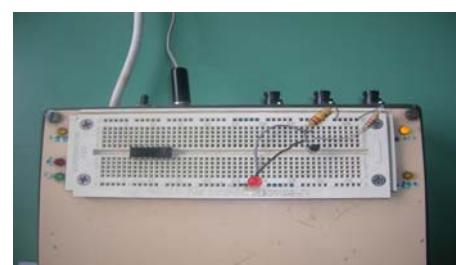
Vežba broj 1

Pomoću raspoloživih elemenata realizovati NE kolo na eksperimentalnoj pločici prema šemci:



Dovođenjem visokog ili niskog napona na ulaz A ispitati rad kola. Svetlenje LED pokazuje stanje.
Popuniti tabelu stanja na osnovu dobijenih vrednosti.

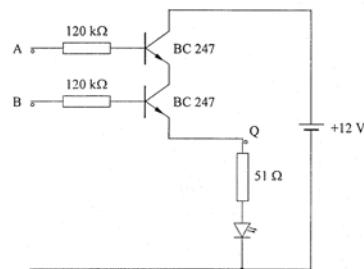
A	Q
0	1
1	0



Slike 9.1a i 9.1b. Realizacija NE kola

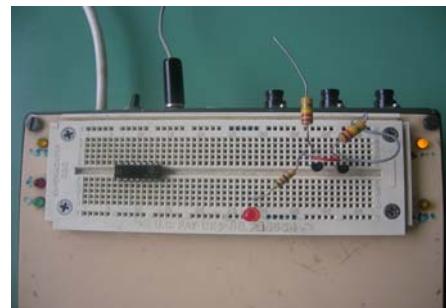
Vežba broj 2

Pomoću raspoloživih elemenata realizovati I kolo na eksperimentalnoj pločici prema šemii:



Dovođenjem visokih ili niskih vrednosti napona na ulaze A i B ispitati rad kola.
Popuniti tabelu stanja na osnovu dobijenih vrednosti.

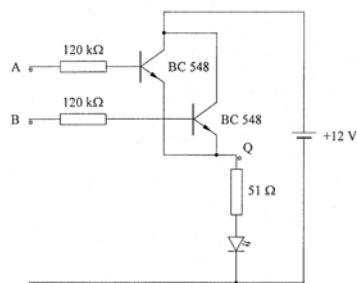
A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Slike 9.2a, 9.2b, 9.2c i 9.2d. Realizacija I kola

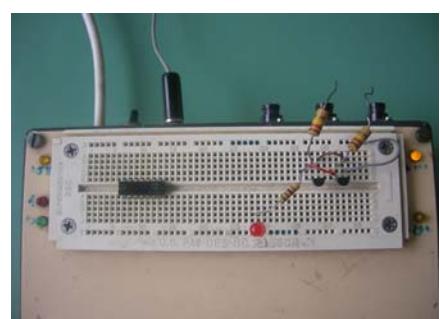
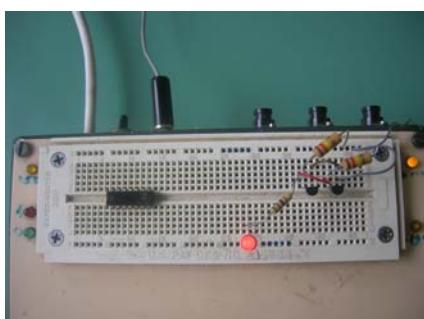
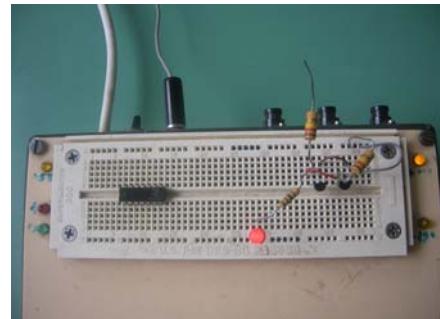
Vežba broj 3

Pomoću raspoloživih elemenata realizovati ILI kolo na eksperimentalnoj pločici prema šemii:



Dovodenjem visokih ili niskih vrednosti napona na ulaze A i B ispitati rad kola.
Popuniti tabelu stanja na osnovu dobijenih vrednosti.

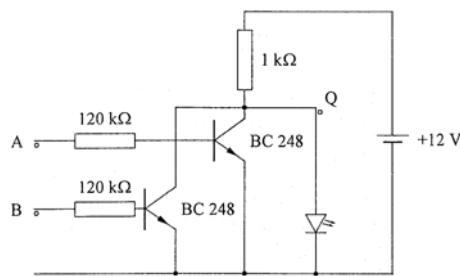
A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



Slike 9.3a, 9.3b, 9.3c i 9.3d. Realizacija ILI kola

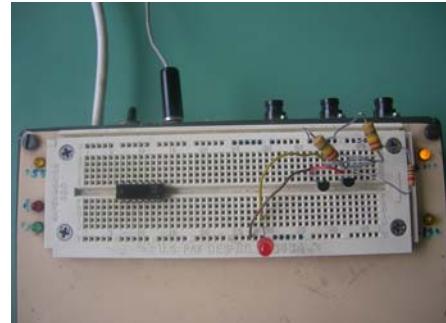
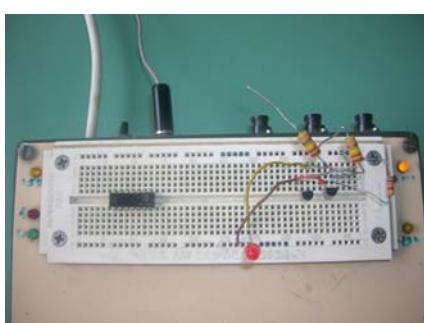
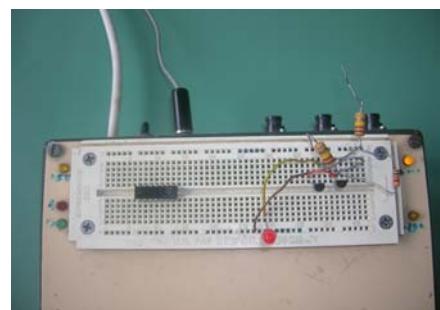
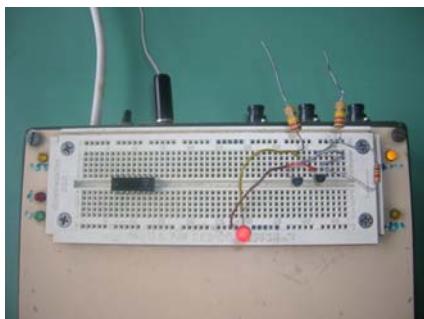
Vežba broj 4

Pomoću raspoloživih elemenata realizovati NILI kolo na eksperimentalnoj pločici prema šemii:



Dovođenjem visokih ili niskih vrednosti napona na ulaze A i B ispitati rad kola. Popuniti tabelu stanja na osnovu dobijenih vrednosti.

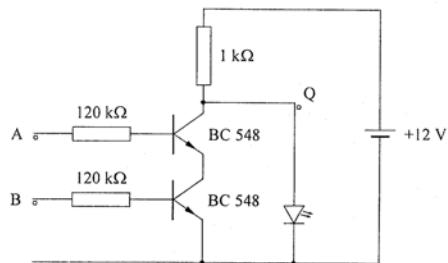
A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



Slike 9.4a, 9.4b, 9.4c i 9.4d. Realizacija NILI kola

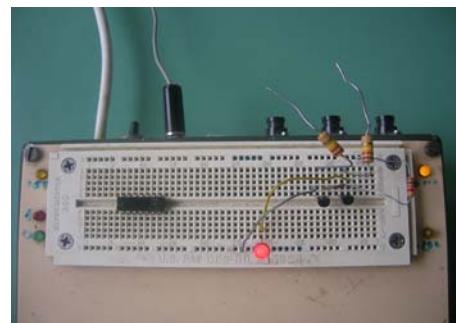
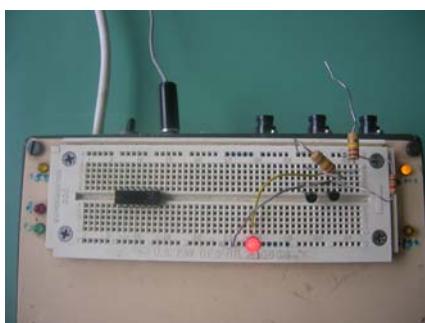
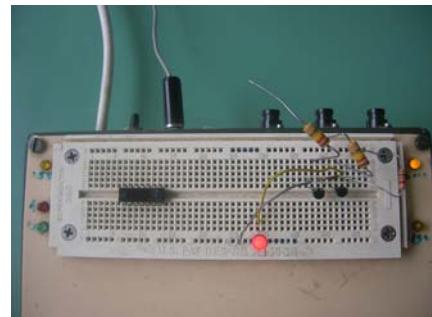
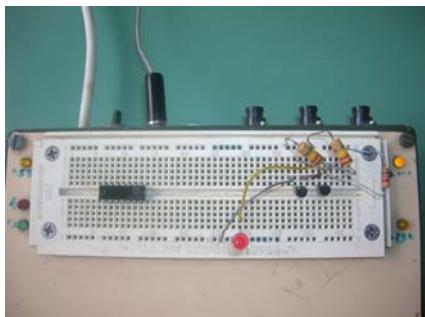
Vežba broj 5

Pomoću raspoloživih elemenata realizovati NI kolo na eksperimentalnoj pločici prema šemii:



Dovođenjem visokih ili niskih vrednosti napona na ulaze A i B ispitati rad kola. Popuniti tabelu stanja na osnovu dobijenih vrednosti.

A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Slike 9.5a, 9.5b, 9.5c i 9.5d. Realizacija NI kola

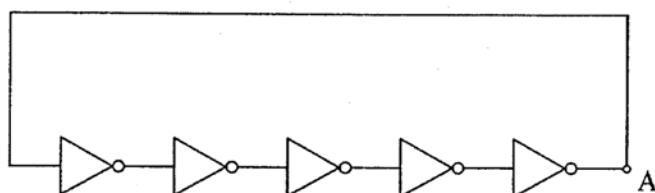
Vežba broj 6

U ovoj vežbi korišćeno je:

- TTL kolo 7404 sa šest NE kapija
- Eksperimentalna pločica sa napajanjem
- Osciloskop
- Žice za spajanje

Umesto eksperimentalne pločice sa napajanjem može se koristiti eksperimentalna pločica sa spoljašnjim napajanjem od 5 V.

Povezati neparan broj ($n = 5$) NE kola jednog integriranog TTL kola prema šemi:



Pomoću osciloskopa posmatrati signal u tački A. Izmeriti period signala i pomoću formule:

$$\tau = \frac{T}{2n}$$

odrediti vreme propagacije signala kroz jednu logičku kapiju.

Rezultati merenja:

$$3T = 21 \text{ podeok}$$

Vrednost jednog podeoka je $0,01 \mu\text{s}$

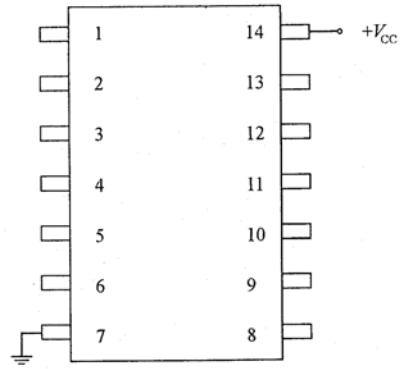
$$3T = 21 \cdot 0,01 \mu\text{s} = 0,21 \mu\text{s}$$

$$T = 0,07 \mu\text{s}$$

$$\tau = \frac{T}{2n} = \frac{0,07 \mu\text{s}}{10} = 0,007 \mu\text{s} = 7 \text{ ns}$$



Slika 9.6. Merenje vremena propagacije signalova TTL kola



Slika 9.7. Raspored izvoda kod logičkih TTL i CMOS kola

Postupak ponoviti za CMOS kolo i uporediti dobijena vremena.

Rezultati merenja:

$$3T = 16 \text{ podeoka}$$

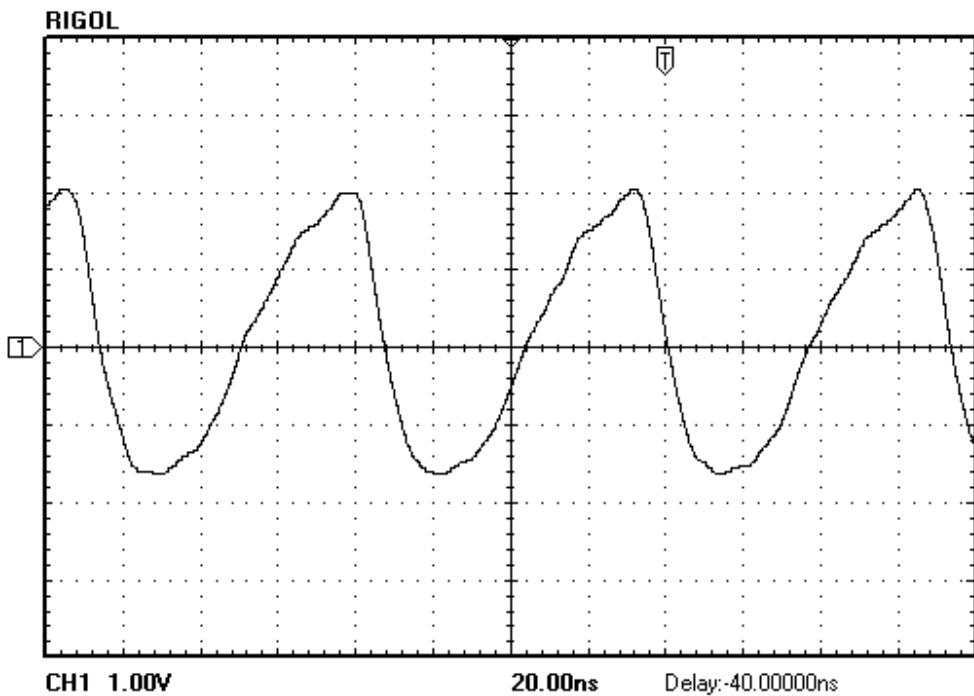
Vrednost jednog podeoka je $0,2 \mu\text{s}$

$$3T = 16 \cdot 0,2 \mu\text{s} = 3,2 \mu\text{s}$$

$$T = 1,06 \mu\text{s}$$

$$\tau = \frac{T}{2n} = \frac{1,06 \mu\text{s}}{10} = 0,106 \mu\text{s} = 106 \text{ ns}$$

Zaključak: Vreme propagacije signala TTL kola je znatno manje nego vreme propagacije signala CMOS kola



Slika 9.8. Oblik signala za uređivanje vremena propagacije signala na izlazu TTL kola

9.2. RS i D flip – flop

Da bi učenici odradili vežbe potrebno im je određeno pedznanje pa ih pre izvođenja vežbi moramo upoznati sa sledećim pojmovima:

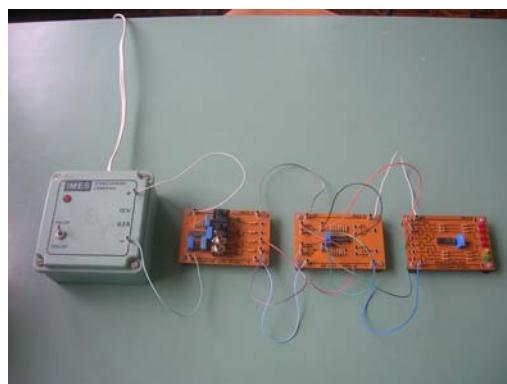
- Multivibratori
- Bistabilni multivibrator
- RS flip – flop
- Taktovan RS flip – flop
- D flip – flop
- Taktovan D flip – flop

U narednim vežbama korišćen je školski komplet za digitalnu elektroniku UKODE-1 koji se sastoji od izvora napajanja i brojnih pločica sa CMOS logičkim kapijama.

Vežba broj 1

Pomoću NILI kola realizovati RS flip – flop (slika 8.2.). R i S ulaze povezati sa davačem logičkih stanja, a izlaze sa prikazivačem logičkih stanja i ispitati tabelu stanja.

S	R	Q	\bar{Q}
0	0		
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	x	x

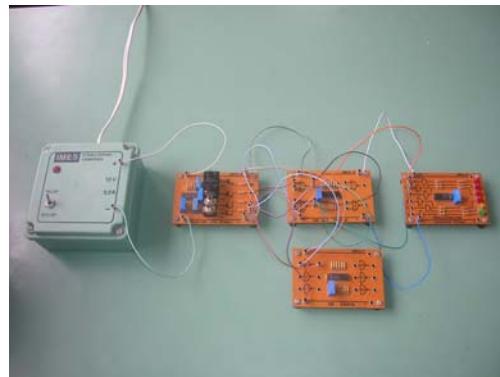


Slika 9.9. Realizacija RS flip – flopa

Vežba broj 2

Dodavanjem jednog NE kola realizovati D flip – flop (slika 8.8.) i ispitati tabelu stanja

D	Q	\bar{Q}
0	0	1
1	1	0

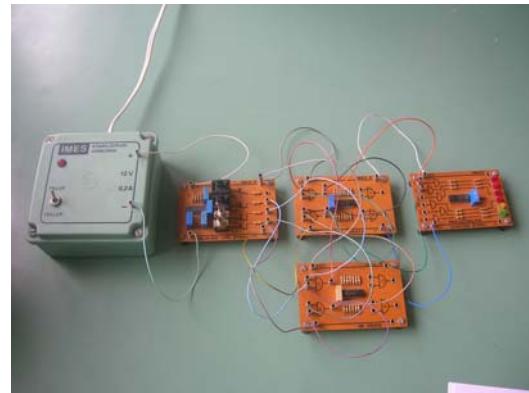


Slika 9.10. Realizacija D flip – flopa

Vežba broj 3

Realizovati taktovani RS flip – flop (slika 8.5.). Ispitati tabelu stanja u zavisnosti od stanja na priključku za takt – signal

C_k	S	R	Q	\bar{Q}
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0

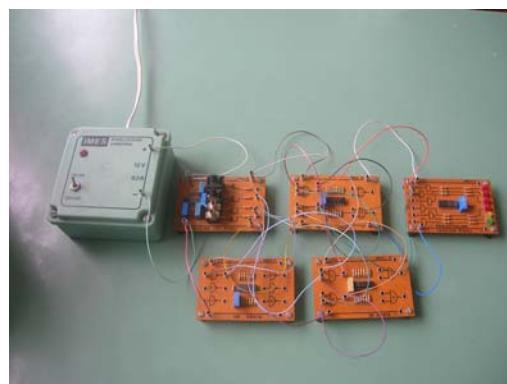


Slika 9.11. Realizacija taktovanog RS flip – flopa

Vežba broj 4

Realizovati taktovan D flip – flop (slika 8.9.) i ispitati tabelu stanja u zavisnosti od stanja na priključku za takt signal.

C_k	D	Q	\bar{Q}
0	0		
0	1		
1	0	0	1
1	1	1	0



Slika 9.12. Realizacija taktovanog D flip - flopa

Zaključak

Ovaj rad je napisan tako da može da bude osnov za pristup obradi nastavne celine „Digitalna elektronika“ kako u osnovnoj školi tako i u srednjoj školi.

Digitalna elektronika se u osnovnoj školi ne izučava na redovnoj nastavi, ali se može izučavati na časovima dodatne nastave.

Da bi se to ostvarilo, značajna je uloga nastavnika koji svojim radom motiviše učenike u želji da saznaju više nego na redovnoj nastavi fizike, da ih organizuje i podstiče u realizaciji eksperimentalnog rada.

Radi toga, nastavnik mora postepeno, logički uvoditi nove pojmove koji čine zaokruženu celinu sa prethodno stečenim znanjem.

U ovom radu je prikazana obrada nastavne celine „Digitalna elektronika“.

Podrazumeva se određeno predznanje iz oblasti poluprovodničkih elemenata: čisti poluprovodnici, primesni poluprovodnici, poluprovodnici N tipa, poluprovodnici P tipa, PN spoj, poluprovodnička dioda, fotodiода i svetleća dioda – LED.

U uvodu je dato objašnjenje pojma informacije i vrste informacija; istorijski razvoj digitalne elektronike.

Objašnjen je rad tranzistora kao prekidačkog elementa, a posebno je objašnjen bipolarni tranzistor.

U radu je poseban akcenat stavljen na logička kola, elementarna i složena i na memorijske jedinice.

Predstavljene su i eksperimentalne vežbe:

- Realizacije logičkih kola: NE kolo, I kolo, ILI kolo, NILI kolo i NI kolo
- Merenje vremena propagacije signal TTL i CMOS kola
- Realizacije RS i D flip – flopa: RS flip – flop, taktovani RS flip – flop, D flip – flop i taktovani D flip - flop

Literatura

- 1 Dr. Jovo Malešević, Mr. Svetomir Dimitrijević, Dragoljub Pećanac, Metodički priručnik za nastavnike fizike u osnovnoj školi, Pedagoški zavod Vojvodine, Novi Sad, 1990
- 2 Milan O. Raspopović, Metodika nastave fizike, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992
- 3 Dr. Tomislav Petrović, Didaktika fizike, Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu, 1994
- 4 Prof. Dr. Zoran Mijatović, Prof. Dr. Stevica Đurović, Osnovi elektronike i digitalne elektronike, Prirodno – matematički fakultet u Novom Sadu, 2005
- 5 Slobodan Zdravković, Dr. Milan Topalović, Mr. France Presetnik, Digitalna elektronika za treći razred elektrotehničke škole, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2002
- 6 Albert Paul Malvino, Elektronika digitalnih računara, Book Company, New York, 1977
- 7 www.sr.wikipedia.org

Podaci o kandidatu



Njergeš Gabrijela, rođena 18.10.1977. godine u Pančevu. Osnovnu i srednju hemijsku školu je završila u Pančevu. 1999. godine je završila Višu politehničku školu u Beogradu i stekla zvanje inženjer tehnologije za polimere.
Trenutno živi u Pančevu a fiziku predaje u Osnovnoj školi „Žarko Zrenjanin“ u Skorenovcu.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:
RBR

Identifikacioni broj:
IBR

Tip dokumentacije:
TD

Monografska dokumentacija

Tip zapisa:
TZ

Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:
VR

Diplomski rad

Autor:
AU

Njergeš Gabrijela

Mentor:
MN

Prof. Dr. Zoran Mijatović

Naslov rada:
NR

Digitalna elektronika u dodatnoj nastavi

Jezik publikacije:
JP

srpski (latinica)

Jezik izvoda:
JI

srpski/engleski

Zemlja publikovanja:
ZP

Srbija

Uže geografsko područje:
UGP

Vojvodina

Godina:
GO

2009

Izdavač:
IZ

Autorski reprint

Digitalna elektronika u dodatnoj nastavi

Mesto i adresa:
MA PMF, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Fizički opis rada
FO 9/56/20/52/1/0

Naučna oblast:
NO Fizika

Naučna disciplina:
ND Digitalna elektronika

Predmetna odrednica/ključne reči:
PO Digitalna elektronika, elementerna i složena
UDK logička kola, memorijске jedinice

Čuva se:
ČU Biblioteka departmana za fiziku, PMF, Novi Sad

Važna napomena:
VN nema

Izvod:
IZ U radu je odrđena realizacija elementarnih i
složenih logičkih kola; merenje vremena propagacije
signala TTL i CMOS kola; realizacija memorijskih
jedinica

Datum prihvatanja teme od NN veća:
DP

Datum odbrane:
DO

Članovi komisije:
KO

Predsednik: Prof. Dr. Radomir Kobilarov

Član: Prof. Dr. Zoran Mijatović

Član: Prof. Dr. Sonja Skuban

Digitalna elektronika u dodatnoj nastavi
UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:
ANO

Identification number:
INO

Document type: Monograph publication
DT

Type of record: Textual printed material
TR

Content code: Final paper
CC

Author: Njergeš Gabrijela
AU

Mentor/comentor: Prof. Dr. Zoran Mijatović
MN

Title: Digital electronics as additional subject in
TI primary school

Language of text: Serbian (Latin)
LT

Language of abstract: English
LA

Country of publication: Serbia
CP

Locality of publication: Vojvodina
LP

Publication year: 2009
PY

Publisher: Author's reprint
PU

Digitalna elektronika u dodatnoj nastavi

Publication place:	Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
Physical description:	9/56/20/52/1/0
PD	
Scientific field:	Physics
SF	
Scientific discipline:	Digital electronics
SD	
Subject/Key words:	Digital electronics, elementary and complex gates, memory units
SKW	
UC	
Holding data:	Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
HD	
Note:	none
N	
Abstract:	This paper elaborates on the realisation of elementary and complex gates, the measurement of propagation time of signals TTL and CMOS gates, the realisation of memory units
AB	
Accepted by the Scientific Board:	
ASB	
Defended on:	
DE	
Thesis defend board:	
DB	
President:	Prof. Dr. Radomir Kobilarov
Member:	Prof. Dr. Zoran Mijatović
Member:	Prof. Dr. Sonja Skuban