

UNIVERZITET U SARAJEVU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET  
ODSJEK ZA AUTOMATIKU I ELEKTRONIKU

**PRAKTIKUM IZ DIGITALNE ELEKTRONIKE**

Asistent Senad Huseinbegović, dipl.el.ing

Sarajevo, 2007.godina

## UVOD

Laboratorijske vježbe predstavljaju važan i obavezan dio nastave na predmetu "Digitalna elektronika". To zahtjeva da se pripremama i izvođenju ovih laboratorijskih vježbi priđe sa visokim stepenom ozbiljnosti. Da bi se studentima olakšao rad, pristupilo se izradi odgovarajućih pripremnih materijala, koji imaju za cilj da budu neophodna pomoć studentima u izvođenju laboratorijskih vježbi predviđenih nastavnim planom i programom, te pisanju IZVJEŠTAJ-a za obavljene laboratorijske vježbe.

Kao pomoć u pisanju ovog Praktikum koristi se identičan materijal koji je napisao asistent Hajrudin Efendić, dipl.el.ing. za predmet "Impulsna elektronika", koji su slušali studenti Odsjeka za automatiku i elektroniku i Odsjeka za telekomunikacije na trećoj godini studija. Sve tematske cjeline u cjelosti prate knjigu "Impulsna elektronika" prof.dr. Zije Pašića, koja predstavlja obaveznu literaturu studenata druge godine ETF-a na Odsjeku za automatiku i elektroniku.

Za razliku od drugih predmeta koji su koncipirani uglavnom na analizi poznatih struktura, predmet "Digitalna elektronika" je koncipiran na sintezi najčešće nepoznatih struktura, a na osnovu postavljenih zahtjeva, što predstavlja inženjerski pristup rješavanju praktičnih problema. Takav pristup zahtjeva da i ostali elementi nastave, tutorijali, laboratorijske vježbe i ispiti, budu koncipirani na sličan način.

Iz tih razloga, tematske cjeline koje slijede obuhvataju teorijske osnove problema, te uputstva za izvođenje laboratorijskih vježbi prema nastavnim planu i programu. Praktikum se sastoji od ukupno osam tematskih cjelina sa osam planiranih laboratorijskih vježbi.

U uvodnom dijelu ovog Praktikum govori se uopšteno o principima pripreme i pristupa izvođenju laboratorijske vježbe, te principima izvještavanja o provedenoj laboratorijskoj vježbi. Također, prva tematska cjelina daje pregled osnovnih elektroničkih komponenti sa kojima se studenti susreću na ovim laboratorijskim vježbama, sa posebnim osvrtom na standarde označavanja i standardne vrste i veličine tih komponenti.

Prilikom izvođenja laboratorijskih vježbi akcentat je stavljen na samostalan rad studenata u svim fazama provođenja vježbi. To znači da su studenti u obavezi, prema datim uputstvima, izvršiti proračun elektroničkog sklopa, formirati laboratorijski ispitni model, analizirati rad sklopa i popuniti odgovarajući IZVJEŠTAJ o provedenoj laboratorijskoj vježbi. Izvršenje svih navedenih faza za svaku laboratorijsku

vježbu je uslov verifikovanja obavljene laboratorijske vježbe.

Na kraju treba obratiti pozornost studenata na specifičnosti rada u laboratoriji. Rad u svim laboratorijama ETF-a zahtjeva disciplinu i pažnju. Nepažljiv rad može dovesti do brojnih neželjenih posljedica. Protivpropisno rukovanje skupom laboratorijskom opremom može dovesti do njenog kvara ili uništenja. Gore od toga, obzirom da se u laboratorijama radi sa mrežnim naponom, nepažljivo ili protivpropisno rukovanje laboratorijskim uređajima može uzrokovati fizičke povrede ili fatalan ishod. Iz tih razloga svi studenti su dužni da se strogo i bezpogovorno pridržavaju Pravilnika o radu u laboratorijama ETF-a i tehničkih i drugih uputstava za bezbjedno rukovanje laboratorijskom opremom, uvijek imajući na umu da je laboratorija mjesto za ozbiljan i odgovoran rad.

Sve primjedbe, uočene greške, sugestije, kritike i eventualne pohvale autoru slati na email [senad.huseinbegovic@etf.unsa.ba](mailto:senad.huseinbegovic@etf.unsa.ba)

## FAZE PROVOĐENJA LABORATORIJSKE VJEŽBE

Koncept izvođenja laboratorijskih vježbi na predmetu "Digitalna elektronika" je takav da je akcenat stavljen na samostalan rad studenata u svim fazama izvođenja laboratorijskih vježbi, uključujući i pripremnu fazu. To znači da se studenti samostalno angažuju na proračunu elektroničke strukture, formiranju laboratorijskog modela elektroničke strukture odgovarajućom tehnikom rada, analizi rada formiranog modela i izvještavanju o obavljenoj laboratorijskoj vježbi. Pri tome, faze rada u laboratoriji su pod nadzorom predmetnog asistenta ili demonstratora.

Iz razloga što su studenti u obavezi da samostalno provedu i pripremnu fazu laboratorijske vježbe, tematske cjeline, vezane za određene laboratorijske vježbe, pisane su sa težištem na inženjerski aspekt proračuna određenih elektroničkih struktura. Cilj ovog uvodnog dijela jeste da da osnovna pravila svih faza izvođenja laboratorijskih vježbi i da ukaže na određene specifičnosti koje se tiču samog proračuna elektroničkih struktura.

### PRORAČUN ELEKTRONIČKE STRUKTURE

Kao što je rečeno, tematske cjeline, koje obrađuju sve elektroničke strukture, a koje su predmet laboratorijskih vježbi, pisane su tako da je akcenat stavljen na praktičan proračun. U svakoj tematskoj cjelini date su osnovne informacije o strukturi i namjeni pojedinog elektroničkog sklopa, a zatim detaljan opis proračuna tog sklopa po koracima. Taj opis proračuna studenti mogu koristiti da u cjelosti proračunaju razmatranu elektroničku strukturu.

Međutim, proračun nosi određene specifičnosti. Zadatak laboratorijske vježbe obično je zadat tako da se zahtjeva ispunjenje određenog parametra elektroničke strukture, npr. vrijeme trajanja kvazistabilnog stanja multivibratora, gornji i donji napon praga Schmittovog kola, i dr. Na osnovu tako postavljenog zahtjeva, studenti odabiraju sami neophodne komponente za sklopove i na osnovu tih komponenti proračunavaju sve ostale elemente elektroničke strukture uključujući i napajanja i referentne napone (ako postoje). Također, u nekim vježbama, studenti trebaju, na osnovu objašnjenih osobina i ograničenja elektroničke strukture, odrediti i prirodu i parametre ulaznog signala, koji služi za analizu rada razmatrane elektroničke strukture.

Odabir napajanja i drugih referentnih napona (ako postoje) vrši se u skladu sa preporukama za određenu elektroničku strukturu, najvećim dozvoljenim naponima pojedinih elemenata određene elektroničke strukture i performansama laboratorijske opreme koja je na raspolaganju u Elektroničkoj laboratoriji ETF-a.

U većini elektroničkih struktura, koje su predmet laboratorijskih vježbi, koriste se tranzistori kao prekidački elementi, a u pojedinim vježbama i linearna integrisana pojačala. Obzirom da Elektronička laboratorija ETF-a nema širi izbor prekidačkih tranzistora, izbor vrste i tipa tranzistora i linearnog operacionog pojačala vrše predmetni asistenti u predpripremama prije početka laboratorijskih vježbi. Za proračun elektroničkih struktura studenti moraju detaljno znati najvažnije osobine tranzistora i linearnih integrisanih pojačala. Pojedine osobine ovih elemenata su kataloške, i biće priložene u na kraju ovog Praktikumuma. Pored toga, jedna od laboratorijskih vježbi je koncipirana tako da studenti laboratorijski ispituju i odrede određene osobine tranzistora, koje će koristiti u kasnijim proračunima drugih elektroničkih struktura.

Što se tiče pasivnih elektroničkih elemenata kao što su otpornici i kondenzatori, njihove vrijednosti su standardizirane i kao takve su dostupne izboru. U posebnom prilogu ovog uvodnog dijela dat je popis standardnih pasivnih komponenti koje su na raspolaganju u Elektroničkoj laboratoriji ETF-a. Prilikom proračuna, vrijednosti nekih pasivnih komponenti se biraju, a vrijednosti drugih se računaju. Kada se treba odlučiti koja od komponenti će biti odabrana a koja računata, da li otpornik ili kondenzator, **uvijek treba birati kondenzator a računati otpornik**. To je iz razloga što je broj standardnih vrijednosti otpornika daleko veći od istog broja kondenzatora. Ukoliko se otpornik (ili kondenzator) računaju, onda se gotovo uvijek dobije računski vrijednost koja se razlikuje od standardne vrijednosti. U tom slučaju usvaja se najbliža standardna vrijednost za određenu elektroničku komponentu. Ali tada se promjeni vrijednost parametra elektroničke strukture koji je zadan zadatkom proračuna, jer komponente čije se vrijednosti usvajaju učestvuju u tom parametru. Iz tog razloga, nakon provedenog proračuna, uvijek se treba vratiti obrnutim tokom proračuna, i izračunati vrijednost parametra sa usvojenim vrijednostima pojedinih komponenti. Na taj način se postižu dva efekta. Prvo, provjeri se odstupanje proračunske od zadane vrijednosti parametra. Ukoliko je ovo odstupanje veliko, potrebno je ponoviti proračun i usvojiti druge vrijednosti komponenti, tako da se odstupanje smanji. Drugo, dobije se stvarna (proračunska) vrijednost parametra elektroničke strukture, koju treba očekivati prilikom njene laboratorijske analize rada. Proračunsku vrijednost parametra elektroničke strukture treba koristiti prilikom računanja odstupanja i izvođenja drugih zaključaka koji se prezentiraju u IZVJEŠTAJ-u o obavljenoj laboratorijskoj vježbi.

## FORMIRANJE LABORATORIJSKOG MODELA

Prvi korak izvođenja laboratorijske vježbe jeste formiranje eksperimentalnog laboratorijskog modela. Formiranje modela studenti su dužni da obave zadatom tehnikom rada. Određene su dvije moguće tehnike rada, i to lemljenje modela na posebnoj eksperimentalnoj pločici za tu svrhu i spajanje modela na eksperimentalnoj pločici - matadoru. Ova druga tehnika će se zadavati za one laboratorijske vježbe koje uključuju korištenje integrisanih kola sa više izvoda, a u cilju olakšavanja rada i radi smanjenja mogućnosti oštećenja integrisanih kola.

## ANALIZA RADA ELEKTRONIČKE STRUKTURE

Koristeći formirani laboratorijski model elektroničke strukture, studenti su dužni da, prema zahtjevima zadatka laboratorijske vježbe, izvrše ispitivanja i analizu rada pomenute strukture. Analiza rada sastoji se od primjene odgovarajućih ulaznih signala na laboratorijski model, te snimanja vremenskih dijagrama odziva u pojedinim tačkama elektroničke strukture, odnosno izvođenja i drugih zahtjevanih eksperimenata. Također, pod analizom rada sklopa podrazumjevaju se i naknadne računске analize i proračuni koji su vezani za obrađivanu elektroničku strukturu.

## IZVJEŠTAVANJE O OBAVLJENOJ LABORATORIJSKOJ VJEŽBI

Izveštavanje o obavljenoj laboratorijskoj vježbi je obavezno. Po završetku laboratorijske vježbe studenti su dužni predati popunjene IZVJEŠTAJ-e, i na taj način oni su završili sa laboratorijskom vježbom. Prilikom izveštavanja studenti su dužni da se pridržavaju propisane forme i sadržaja IZVJEŠTAJ-a.

Na ovom mjestu treba reći nešto više o sadržaju IZVJEŠTAJ-a. **IZVJEŠTAJ o obavljenoj laboratorijskoj vježbi obavezno treba sadržavati proračun elektroničke strukture koja je predmet laboratorijske vježbe.** Također, **IZVJEŠTAJ treba da sadrži šemu te elektroničke strukture sa upisanim oznakama i vrijednostima pojedinih elektroničkih komponenti**, a koje su dobijene u fazi proračuna. Nadalje, **IZVJEŠTAJ obavezno mora sadržavati sve vremenske dijagrame koji su zahtjevani zadatom laboratorijske vježbe** i koji su snimljeni na laboratorijskom modelu strukture. Svi dijagrami moraju se crtati na odgovarajućim graficima koji su priloženi u obrascu IZVJEŠTAJ za odgovarajuću laboratorijsku vježbu. Svi vremenski dijagrami crtaju se u odnosu na ulazni signal elektroničke strukture (ako se takav signal koristi). Sva mjerenja i numerički pokazatelji dobijeni laboratorijskim ispitivanjem modela također trebaju biti sastavni dio IZVJEŠTAJ-a uz neophodna pojašnjenja. Također, svi naknadni

proračuni, koji se zahtjevaju zadatom laboratorijske vježbe, trebaju obavezno biti navedeni u IZVJEŠTAJ-u. Takvi naknadni proračuni mogu biti proračuni odstupanja, greške, proračuni neke karakteristične veličine u elektroničkom sklopu (struje, napona, snage, disipacije, ...) i dr.

Na kraju, **obavezan dio IZVJEŠTAJ-a o obavljenoj laboratorijskoj vježbi su zaključci.** Zaključci treba da budu sublimirani skup zapažanja o ponašanju elektroničke strukture tretirane vježbom. Kao takvi, trebaju biti kratki, koncizni i jasni, i ne smiju ostavljati mjesta bilo kakvoj dvojbi.

Studenti trebaju imati na umu da se laboratorijske vježbe obavljaju iz dva razloga. Prvi razlog je da se na praktičnom laboratorijskom modelu uoči način funkcionisanja elektroničkih struktura koje se prethodno teoretski razmatraju u nastavi. Drugi razlog je da se studenti potaknu na inženjerski pristup analizi elektroničkih struktura. Iz tih razloga, zaključivanje igra presudnu ulogu u formiranju stava o razmatranoj elektroničkoj strukturi i o daljim koracima u cilju njenog poboljšanja ili izmjena. Zato je neophodno da IZVJEŠTAJ o obavljenoj laboratorijskoj vježbi sadrži odgovarajuće zaključke. IZVJEŠTAJ bez odgovarajućih zaključaka smatraće se nepotpunim i neprihvatljivim.

Na kraju, treba generalno napomenuti da je neophodno potpuno provesti sva četiri navedena koraka u obavljanju laboratorijske vježbe da bi ta laboratorijska vježba bila verifikovana. Ovdje ćemo napomenuti, da studenti za uredno obavljene laboratorijske vježbe dobijaju odgovarajuće bodove, koji ulaze u sastav konačne ocjene iz ovog predmeta. Sa studentima koji ne zaokruže uspješno bilo koji predviđeni korak neke laboratorijske vježbe ili laboratorijsku vježbu u cjelini, biće postupano u skladu sa Pravilnikom o radu u laboratorijama ETF-a.

# ELEKTRONIČKE KOMPONENTE

## UOPŠTE O ELEKTRONIČKIM KOMPONENTAMA

Izvođenje laboratorijskih vježbi iz predmeta "Digitalna elektronika" zahtjeva proračun, a zatim i formiranje laboratorijskih modela različitih elektroničkih struktura. Proračun elektroničkih struktura izvodi se sa ciljem odabira odgovarajućih diskretnih elektroničkih komponenti da bi se zadovoljile zahtjevane performanse cijele elektroničke strukture.

Proračun i rad sa elektroničkim komponentama zahtjeva poznavanje osnovnih osobina elektroničkih komponenti i načina njihovog označavanja. Najvažnije osobine neke elektroničke komponente obično su transparentno prikazane kroz njenu oznaku. Označavanje elektroničkih komponenti propisano je nacionalnim i internacionalnim standardima. Pa ipak, određene razlike u označavanju postoje između evropskog i američkog kontinenta, prvenstveno u označavanju poluprovodničkih komponenti.

Neophodno je najprije ukazati na osnovnu podjelu, osobine i označavanje elektroničkih komponenti. Pri tome treba napomenuti da će se ovdje razmatrati samo one elektroničke komponente koje se koriste za formiranje elektroničkih struktura razmatranih u sklopu predmeta "Digitalna elektronika".

Osnovna podjela elektroničkih komponenti (elemenata) je na linearne i nelinearne. Linearni elektronički elementi imaju parametre koji ne zavise od promjene napona i/ili struja, odnosno njihova karakteristika  $I = f(U)$  je linearna. Kod nelinearnih elektroničkih komponenti njihova karakteristika je nelinearna, odnosno njihovi parametri zavise od promjena napona i struja.

Od linearnih elektroničkih komponenti, u ovoj Zbirci biće obrađeni otpornici i kondenzatori, a od nelinearnih poluprovodničke diode, Zenerove diode i bipolarni tranzistori.

Obzirom da se u pojedinim laboratorijskim vježbama koriste linearna integrisana pojačala, to će ovdje biti dat opis i najvažnije osobine linearnog integrisanog pojačala LM741. Za sve navedene elektroničke komponente, na kraju ovog Praktikumua biće dodati katalogi.

## OTPORNICI

Otpornici su elementi koji se u određenoj mjeri suprotstavljaju proticanju električne struje, a mjera tog suprotstavljanja je otpornost. Otpornost

predstavlja odnos napona na krajevima otpornika i struje koja protiče kroz otpornik i izražava se u omima (ohm,  $\Omega$ ).

Osnovni parametri otpornika navedeni su kako slijedi.

**Nominalna vrijednost otpornosti** je oznaka koja označava otpornik. Otpornici se izrađuju u širokom dijapazonu otpornosti, od 0,01  $\Omega$  do 100 M $\Omega$  i više.

Otpornici se grupiraju u Renardove nizove određene tolerancijom. Oznaka otporničkog Renardovog niza sastoji se od slova E i broja koji pokazuje koliko se nominalnih vrijednosti sadrži u dekadi. Tako imamo nizove otpornika za opštu namjenu E6 (50 %), E12 (20%) i E24 (10%), i nizove tačnih otpornika E48 (5%), E96 (2%) i E92 (1%). Postotci u zagradi označavaju razliku između uzastopnih nominalnih vrijednosti otpornosti u dekadi. Vrijednosti otpornosti u nizu iz jedne dekade pojavljuju se u ostalim dekadama sa faktorom  $10^n$ . Prethodno navedeno jasno se može uočiti na primjeru otporničkog niza E12 (20%):

12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82 100  
120 150 180 220 270 330 390 470 560 680 820 1000  
1K2 1K5 1K8 2K2 2K7 3K3 3K9 4K7 5K6 6K8 8K2 10K ..

**Tolerancija nominalne vrijednosti otpornosti** je dozvoljeno odstupanje stvarne od nominalne vrijednosti otpornosti. Izražava se u procentima i odnosi se na ukupnu promjenu otpornosti u radnom temperaturnom području.

Otpornici u jednom nizu imaju toleranciju za red nižu od razlike uzastopnih nominalnih vrijednosti otpornosti (na primjer, za niz E12 - 20 %, tolerancija iznosi  $\pm 10$  %).

Prema toleranciji otpornici se svrstavaju u klase:

II - tolerancije 20 %, 10 % i 5 %;

I<sub>b</sub> - tolerancije 5 %, 2 %, 1 % i 0,5 %;

I<sub>a</sub> - tolerancije 1 %, 0,5 %, 0,2 % i 0,1 %.

**Maksimalna dozvoljena snaga disipacije** je ona snaga koja se razvija na otporniku i ne smije biti prekoračena (pri određenoj temperaturi okoline). Izražava se u vatima (Watt, W).

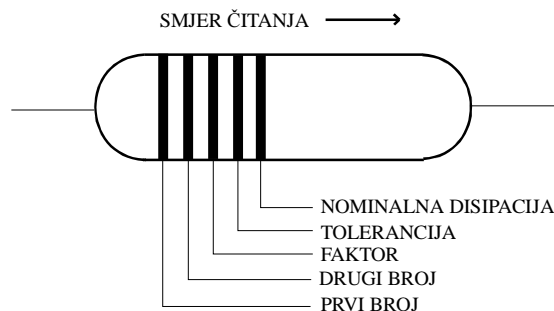
**Temperaturni koeficijent** predstavlja relativnu promjenu otpornosti na nekoj temperaturi u odnosu na otpornost pri nominalnoj temperaturi (20°C). Obično se izražava u %/°C ili ppm/°C (pars per million).

**Dozvoljeni maksimalni priključni napon** je napon koji se smije trajno priključiti na krajeve otpornika a da pri tome ne dođe do proboja.

Razlikujemo stalne i promjenjive otpornike. Stalni otpornici se, prema vrsti izrade, dijele na slojne, metalizirane, žičane i otpornike od specijalne mase. Promjenjivi otpornici nazivaju se i potenciometri.

Njihova vrijednost može se mijenjati u određenim granicama. Prema konstrukciji mogu biti žičani i slojni. Prema promjeni otpornosti u zavisnosti od ugla zakretanja klizača potencijometra postoje linearni i logaritamski potencijometri.

Otpornici se označavaju bojama. Oznaka se sastoji od boje tijela otpornika i pet paralelnih pruga u boji, prema Slici 1. i Tabeli 1.



Slika 1.

Tabela 1.

Boja	1.pruga 1.broj	2.pruga 2.broj	3.pruga faktor	4.pruga toleran cija	5.pruga nom.dis ip.
srebrna			$10^{-2}$	$\pm 10\%$	
zlatna			$10^{-1}$	$\pm 5\%$	
crna		0	1		0,25 W
smeđa	1	1	10		1 W
crvena	2	2	$10^2$		2 W
narandžasta	3	3	$10^3$		
žuta	4	4	$10^4$		
zeleno	5	5	$10^5$		0,5 W
plava	6	6	$10^6$		
ljubičasta	7	7	$10^7$		
siva	8	8	$10^8$		
bijela	9	9	$10^9$		

Prema njemačkim standardima (DIN), otpornici nizova E6, E12 i E24 označavaju se sa četiri pruge, sa redoslijedom:

**prva cifra - druga cifra - faktor - tolerancija.**

Otpornici nizova E48 i E96 označavaju se sa pet pruga, sa redoslijedom:

**prva cifra - druga cifra - treća cifra - faktor - tolerancija.**

Za označavanje manjih tolerancija rezervisane su tri boje, i to: crvena ( $\pm 2\%$ ), smeđa ( $\pm 1\%$ ) i zelena ( $\pm 0,5\%$ ).

## KONDENZATORI

Kondenzatori su pasivni elektronički elementi sa sposobnošću konzervacije energije. Uopšte, kondenzator se sastoji od metalnih obloga između

kojih se nalazi dielektrik. Osnovni parametar kondenzatora je kapacitivnost.

**Kapacitivnost** kondenzatora računa se prema obrascu:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d},$$

gdje su:

S - površina obloga kondenzatora;

d - razmak obloga kondenzatora;

$\epsilon_0$  - dielektrična konstanta vakuumu;

$\epsilon_r$  - relativna dielektrična konstanta dielektrika.

Relativna dielektrična konstanta dielektrika je bezdimenzionalna veličina koja govori o odnosu stvarne dielektrične konstante materijala i dielektrične konstante vakuumu koja iznosi  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12}$  F/m.

Osnovni parametri kondenzatora navedeni su kako slijedi.

**Ugao gubitaka** nastaje zbog nesavršenosti dielektrika usljed čega se u kondenzatoru gubi dio energije. Iz tog razloga fazor izmjenične struje kroz kondenzator u odnosu na fazor izmjeničnog napona na kondenzatoru pomjeren je za ugao koji se razlikuje od  $90^\circ$  za ugao gubitaka  $\delta$ . Kvalitet kondenzatora mjeri se tangensom ugla gubitaka  $\text{tg}\delta$ , a također i radno temperaturno područje kondenzatora zavisi od temperaturne zavisnosti  $\text{tg}\delta$ .

**Nominalni radni napon** je napon pri kome kondenzator mora raditi onoliko vremena koliko je propisano kataloškim podacima, a najmanje 10.000 sati na temperaturi od  $40^\circ\text{C}$ .

**Ispitni napon** je napon kojim se kondenzator ispituje na izdržljivost od proboja. Ispitni napon iznosi 110 - 130 % nominalnog napona, a ispitno vrijeme iznosi 1 minuta.

**Probojni napon** je napon pri kome nastupa proboj kondenzatora.

**Dielektrična čvrstoća** predstavlja odnos između probojnog napona i debljine dielektrika. Izražava se u kV/mm.

**Izolaciona otpornost** je otpornost izolacije kondenzatora pri prolazu istosmjerne struje pri maksimalnom radnom naponu. Izražava se u  $\text{M}\Omega$ .

Postoje stalni i promjenjivi kondenzatori. Stalni kondenzatori imaju nepromjenjivu vrijednost kapaciteta. Prema vrsti korištenog dielektrika razlikujemo: liskunske, keramičke, papirne (blok), folijske (metal-film), polistirolske, polipropilenske, polikarbonatske, poliesterske, teflonske, elektrolitičke, tantalove, uljne, i dr. kondenzatore. Promjenivi kondenzatori imaju kapacitivnost čija se veličina može mijenjati. Sastoje se iz nepokretnog dijela - statora, i

pokretnog dijela - rotora. Međusobna površina prekrivanja nepomične i pomične obloge određuje kapacitivnost promjenjivog kondenzatora.

Kondenzatori se označavaju oznakom na tijelu. Oznaka se obično sastoji od oznake vrijednosti kapacitivnosti, oznake vrijednosti maksimalnog radnog napona i oznake radnog temperaturnog opsega. Kod elektrolitskih i blok kondenzatora broj na njihovom kućištu se odnosi na vrijednost kapaciteta izraženu u  $\mu\text{F}$  (ako nije drugačije navedeno), dok kod keramičkih kondenzatora postoji oznaka od tri cifre: prve dvije cifre su dvocifreni broj, a treća cifra predstavlja broj nula iza dvocifrenog broja. Broj koji se dobija predstavlja vrijednost kapaciteta u pF.

Kondenzatori se, slično kao i otpornici, grupiraju u nizove nominalnih vrijednosti, a vrijednosti susjednih dekada razlikuju se za red veličine ( $10^n$ ). U praksi se najčešće susreću slijedeći nizovi:

220 % ( $\mu\text{F}$ )		
1	2,2	4,7
10	22	47 ...

50 % ( $\mu\text{F}$ )					
0,1	0,15	0,22	0,33	0,47	0,68
1	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8 ...

## POLUVODIČKE DIODE

Dioda je neupravljivi ventil koja se u elektroničkom sklopu ponaša kao nelinearna aktivna otpornost, čija veličina zavisi od polariteta i veličine priključenog napona. Teorija rada diode zasniva se na teoriji PN prelaza.

Diode, prema osnovnom materijalu od koga su izrađene, mogu biti germanijumske ili silicijumske, a prema obliku PN prelaza mogu biti tačkaste ili slojne.

Osnovni parametri dioda navedeni su kako slijedi:

**Nominalna propusna (direktna) struja -  $I_F$**  je maksimalna dozvoljena trajna struja diode pri kojoj se ne prekorači dozvoljeno zagrijavanje pri nominalnim uslovima hlađenja.

**Nominalni propusni (direktni) napon -  $U_F$**  je pad napona na propusno polariziranoj diodi pri nominalnoj propusnoj struji.

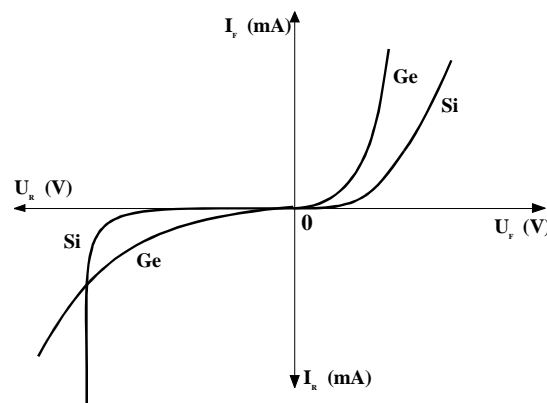
**Nominalni nepropusni (zaporni) napon -  $U_R$**  je maksimalna vrijednost napona kojeg nepropusno polarizirana dioda može podnijeti trajno bez opasnosti da će nastupiti proboj.

**Nominalna nepropusna (zaporna) struja -  $I_R$**  je struja koja teče kroz diodu pri nominalnom zapornom naponu  $U_R$ .

Statičke karakteristike tipičnih silicijskih i germanijskih dioda prikazane su na Slici 2.

Može se reći da su osnovni parametri silicijskih dioda:

- nominalna propusna struja  $I_F$  do 1000 A;
- nominalni propusni napon  $U_F = (0,7 \div 1)$  V;
- nominalni zaporni napon do 2000 V.



Slika 2.

S druge strane, kao osnovne parametre germanijskih dioda možemo navesti:

- nominalna propusna struja  $I_F$  manja od 1000 A;
- nominalni propusni napon  $U_F = (0,3 \div 0,6)$  V;
- nominalni zaporni napon znatno manji od 2000 V.

Poluprovodničke diode primjenjuju se u različitim elektroničkim strukturama, a najčešće za ispravljanje, ograničavanje i zaštitu. Za sklopove koji će se analizirati interesantne su diode 1N4148.

## ZENER (CENER) DIODE

Zener diode, slično kao i druge poluvodičke diode, imaju nelinearnu naponsko-strujnu karakteristiku. Rad Zener diode se ne razlikuje od rada obične diode u propusnom području. Međutim, u zapornom području rad Zener diode se bitno razlikuje od rada obične diode i možemo reći da Zener diode praktično rade u zapornom području.

U zapornom području, pri naponima većim od Zenerovog napona, dolazi do 'proboja' Zener diode, što se manifestuje konstantnim padom napona na Zener diodi (taj pad napona približno je jednak Zenerovom naponu i vrlo malo se mijenja sa porastom vanjskog napona narinutog na Zener diodu) i veoma velikim promjenama struje kroz Zener diodu.

Osnovni parametri Zener dioda su slijedeći:

**Zenerov napon -  $Z_D$**  je napon 'proboja' Zener diode u zapornom području, pri nekoj srednjoj vrijednosti struje Zener diode.

**Dinamička otpornost Zener diode -  $R_D$**  jednaka je nagibu naponsko-strujne karakteristike u zapornom području, i može se izraziti kao:

$$R_D = \frac{\Delta U_{ZD}}{\Delta I_{ZD}},$$

gdje je:  $\Delta U_{ZD}$  - prirast probojnog napona;  
 $\Delta I_{ZD}$  - prirast probojne struje.

**Snaga disipacije Zener diode -  $P_{ZD}$**  je veličina dozvoljene disipacije PN prelaza Zener diode na temperaturi od  $+25^\circ\text{C}$ .

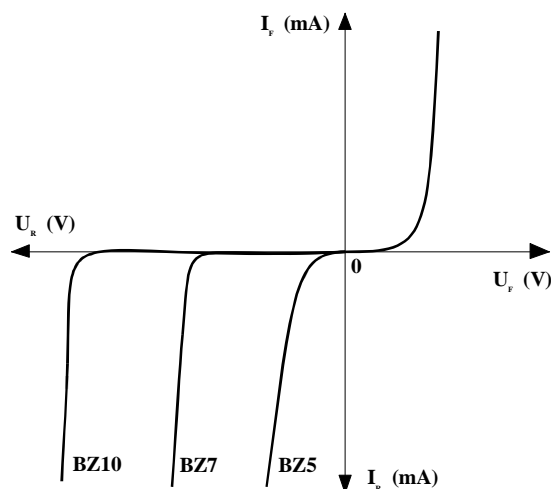
**Temperaturni koeficijent Zenerovog napona -  $\alpha_{ZD}$**  je koeficijent zavisnosti Zenerovog napona od promjene temperature. Temperaturni koeficijent Zenerovog napona dat je izrazom:

$$\alpha_{ZD} = \frac{\Delta U_{ZD}}{U_{ZD}} \frac{1}{T},$$

gdje su:  $\Delta U_{ZD}$  - prirast Zenerovog napona;  
 $U_{ZD}$  - Zenerov napon;  
 $T$  - temperatura.

**Statička otpornost -  $R_S$**  je odnos napona proboja i struje proboja Zener diode.

**Kapacitivnost PN prelaza Zener diode** zavisi od mnogih faktora, kao što su dimenzije PN prelaza, specifične otpornosti materijala određene količinom primjesa, i dr. Kapacitivnost PN prelaza zavisi od veličine zapornog napona, tako da je kapacitivnost maksimalna pri nultom naponu, a minimalna pri zapornom naponu nešto nižem od probojnog. Kapacitivnost PN prelaza igra značajnu ulogu pri upotrebi Zener dioda u visokofrekventnim impulsnim sklopovima.



**Slika 3.**

Na Slici 3. prikazana je tipična familija statičkih karakteristika Zener dioda. Zener diode primjenjuju se u elektroničkim strukturama najčešće u svrhu naponske stabilizacije, naponskog ograničavanja i zaštite.

## TRANZISTORI

Tranzistori (transfer - resistor) su troizvodne elektroničke komponente. Rad tranzistora, kao i ostalih poluprovodničkih komponenti, bazira se na teoriji PN prelaza. U principu, razlikujemo tri vrste tranzistora: bipolarne tranzistore, unipolarne tranzistore (tranzistore sa efektom polja, FET) i jednoprelazne (unijunction) tranzistore.

Kod bipolarnih tranzistora, u nastajanju tranzistorskog efekta, učestvuju dva tipa nosilaca - elektroni i šupljine. Ovi tranzistori mogu biti PNP ili NPN tipa. Kod unipolarnih tranzistora, u stvaranju tranzistorskog efekta učestvuje samo jedan tip nosilaca - elektroni. Kod ovih tranzistora protok struje se upravlja vanjskim poljem. Jednoprelazni (unijunction) tranzistori imaju tri izvoda i samo jedan PN prelaz. U radnom području ovi tranzistori se ponašaju kao negativna otpornost, a kao prekidački elementi odlikuju se veoma stabilnim okidnim naponom.

Obzirom da se prema programu nastave predmeta "Digitalna elektronika" koriste uglavnom bipolarni tranzistori, u daljem tekstu će biti posvećena posebna pažnja osobinama bipolarnih tranzistora.

Bipolarni tranzistori mogu se koristiti u elektroničkim strukturama u spojevima sa zajedničkom bazom (ZB), sa zajedničkim emiterom (ZE) ili sa zajedničkim kolektorom (ZC). Ipak, najčešća primjena tranzistora je u spoju sa zajedničkim emiterom (ZE). Također, bipolarni tranzistori mogu raditi u linearnom ili prekidačkom režimu. Kada rade u linearnom režimu, obično imaju funkciju pojačavača. U sklopovima koji su predmet proučavanja na predmetu 'Digitalna elektronika', tranzistori se koriste uglavnom kao brzi bezkontaktni prekidači, što znači da tranzistori u takvim strukturama rade u prekidačkom režimu rada.

Karakteristike tranzistora dijele se na statičke i dinamičke karakteristike. Osnovne statičke karakteristike bipolarnih tranzistora (u spoju sa ZE) su:

**Ulazna statička karakteristika** predstavlja zavisnost struje baze od napona između baze i emitera pri konstantnom naponu između kolektora i emitera ili konstantnoj struji kolektora. Tipične ulazne statičke karakteristike bipolarnih tranzistora  $I_B=f(U_{BE})$  pri  $U_{CE}=\text{const}$ . prikazane su na Slici 4.

**Izlazna statička karakteristika** predstavlja zavisnost struje kolektora od napona između kolektora i emitera



pri konstantnoj struji baze ili konstantnom naponu između baze i emitera. Na Slici 5. prikazana je tipična familija izlaznih statičkih karakteristika  $I_C=f(U_{CE})$  pri  $I_B=const.$ , koje imaju najveću praktičnu primjenu.

**Statičko strujno pojačanje tranzistora u spoju sa ZB**,  $\alpha$  predstavlja odnos između kolektorske struje i bazne struje tranzistora u spoju sa ZB, i definiše se kao:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_B + I_C},$$

gdje su:  $I_B$  - bazna struja tranzistora;  
 $I_C$  - kolektorska struja tranzistora.

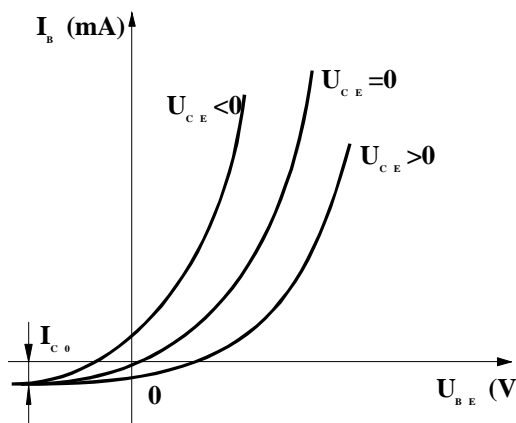
Koeficijent  $\alpha$  kreće se u granicama  $\alpha=(0,9 \div 0,99)$ .

**Koeficijent statičkog strujnog pojačanja tranzistora u spoju sa ZE**  $\beta$  (često se označava i sa  $h_{FE}$ ) predstavlja odnos kolektorske i bazne struje tranzistora u spoju sa ZE. Može se definisati preko koeficijenta  $\alpha$  kao:

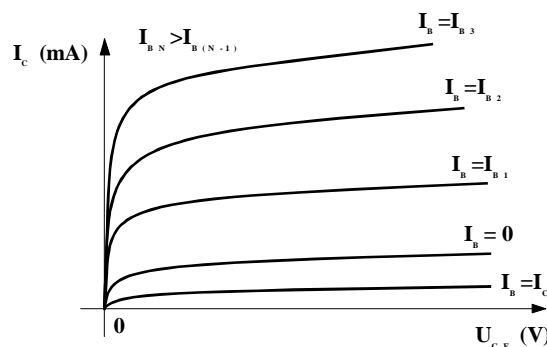
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}.$$

Koeficijent  $\beta$  može se odrediti iz familije statičkih izlaznih karakteristika tranzistora u spoju sa ZE kao:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}.$$



Slika 4.



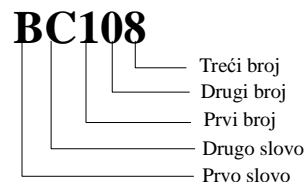
Slika 5.

Obzirom da je statičkim i dinamičkim osobinama tranzistora, sa posebnim akcentom na tip tranzistora koji se koristi u izvođenju laboratorijskih vježbi, posvećena posebna tematska cjelina, te da je predviđeno izvođenje posebne laboratorijske vježbe na tu temu, to karakteristike tranzistora ovdje neće biti dalje razmatrane. Jedino ćemo još napomenuti da će se svi sklopovi realizovati na bazi tranzistora BC107 i BC177.

### OZNAČAVANJE POLUVODIČKIH KOMPONENATA

Poluvodičke strukture imaju jedinstven način označavanja, ali tako da je iz oznake jasno o kojoj komponenti se radi. Dva su različita pristupa označavanju poluvodičkih struktura, onaj koji se koristi u Evropi i onaj koji je koristi u Americi.

U evropskom sistemu označavanja, oznaka poluvodičke strukture sastoji se od dva slova i tri broja, a komponente za industrijsku i vojnu primjenu imaju oznake sa tri slova i dva broja. Oznaka izgleda kao na Slici 6.



Slika 6.

**Prvo slovo** u oznaci označava materijal izrade poluvodičke komponente, i to:

- A - germanijum;
- B - silicijum;
- C - ostali poluvodički materijali.

**Drugo slovo** u oznaci označava vrstu poluvodičke komponente, odnosno njenu primjenu, i to:

- A - dioda kao detektor i varikap dioda;
- C - niskofrekventni tranzistor ( $R_{th} > 15 \text{ K/W}$ );
- D - niskofrekventni tranzistor snage ( $R_{th} \leq 15 \text{ K/W}$ );
- E - tunnel-dioda;
- F - visokofrekventni tranzistor ( $R_{th} \geq 15 \text{ K/W}$ );

**G** - razna kola;  
**H** - magnetno osjetljiva dioda;  
**L** - visokofrekventni tranzistor snage ( $R_{th} \geq 15 \text{ K/W}$ );  
**N** - optokapler;  
**P** - foto-poluprovodnik (foto-dioda ili fototranzistor);  
**R** - četveroslojna dioda;  
**S** - tranzistor - prekidač (za rad u impulsnim kolima);  
**U** - tranzistor - prekidač snage;  
**T** - tiristor;  
**Y** - dioda kao ispravljač;  
**Z** - zener dioda;  
**X** - množačka dioda (varaktor).  
 (\*  $R_{th}$  označava termički otpor kućišta komponente)

Posebne vrste poluvodičkih komponenti imaju i treće slovo (**Z** ili **Y**), koje ukazuje na činjenicu da su te komponente posebne vrste.

**Prvi broj** u oznaci poluvodičke komponente ima različita značenja zavisno o kojoj vrsti komponente se radi:

- kod niskofrekventnih tranzistora označava način izrade, i to:
  - 1 - u staklu;
  - 2 - u metalnom kućištu;
  - 3 - minijaturna izrada.
- kod visokofrekventnih tranzistora označava tehniku izrade, i to:
  - 1 - tranzistori proizvedeni utapanjem;
  - 2 - drift-tranzistori;
  - 3 - tranzistori proizvedeni dvostrukom difuzijom;
  - 4 - mezatranzistori.
- kod tranzistora snage označava disipaciju, i to:
  - 1 -  $0,1 \div 0,3 \text{ W}$ ;
  - 2 -  $0,3 \div 3 \text{ W}$ ;
  - 3 -  $3 \div 10 \text{ W}$ ;
  - 4 -  $10 \div 30 \text{ W}$ .
- kod dioda označava način izrade, i to:
  - 1 - normalna izrada;
  - 2 - minijaturna izrada;
  - 3 - subminijaturna izrada.

**Drugi broj** u oznaci poluvodičke komponente također ima različito značenje zavisno o kojoj se komponenti radi:

- kod niskofrekventnih tranzistora označava  $1/10 h_{21}$  (strujnog pojačanja u spoju sa ZE);
- kod visokofrekventnih tranzistora označava minimalnu graničnu frekvenciju, i to:
  - 1 - 3 MHz;
  - 2 - 7 MHz;
  - 3 - 15 MHz;
  - 4 - 30 MHz;
  - 5 - 100 MHz;
  - 6 - 300 MHz.

c) kod tranzistora snage označava neku karakterističnu veličinu;

d) kod dioda označava maksimalni inverzni napon, i to:

- 1 - 25 V;
- 2 - 50 V;
- 3 - 100 V;
- 4 - 140 V.

**Treći broj** u oznaci poluvodičke komponente ima značenje koje zavisi da li je u pitanju tranzistor ili dioda:

- kod tranzistora označava neku specifičnost;
- kod dioda veći broj na trećem mjestu znači da dioda ima veću struju u propusnom smjeru, što znači da je sama dioda kvalitetnija.

Također, oznaka tranzistora može sadržavati i brojni ili slovni sufiks (iza standardne oznake). Oba i brojni i slovni sufiks odnose se na strujno pojačanje tranzistora u emitorskom spoju. Brojčani sufiks označava  $1/10$  strujnog pojačanja u spoju sa ZE, dok slovni sufiks mogu biti slova **A**, **B** ili **C**, koja znače:

- A** - manji koeficijent strujnog pojačanja;
- B** - srednji koeficijent strujnog pojačanja;
- C** - veći koeficijent strujnog pojačanja.

Također, potrebno je fizički obilježiti pojedine izvode elektroničke komponente, tako da se oni mogu jednoznačno razlikovati. Katoda diode obično se označava bijelim, crnim ili crvenim prstenom, a nije rijetko da pojedini proizvođači označavaju katodu ili anodu sa tačkom. Kod tranzistora, kolektor se označava sa crvenom tačkom, a emiter ispustom.

Način označavanja poluvodičkih elemenata koji se uobičava u Americi je bitno različit od evropskog. Oznaka se sastoji redosljedom od broja, slovne oznake i broja.

**Prvi broj** označava vrstu poluvodičkog elementa, i to:

- 1 - dioda;
- 2 - bipolarni i unipolarni tranzistori i druge višeslojne strukture.

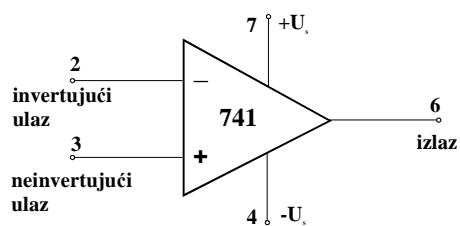
**Slovna oznaka** je slovo **N** za sve poluvodičke elemente.

**Drugi broj** predstavlja redni broj konstrukcije poluvodičkog elementa u dotičnoj tvornici i nema značenje vezano za vrstu, strukturu ili način izrade poluvodičkog elementa. Naravno, drugi broj u oznaci može se sastojati iz više cifara.

## LINEARNO INTEGRISANO POJAČALO LM741

Linearni integrisani krugovi su elektronički sklopovi kojima se izlazni signal mijenja kontinuirano. Za određeni opseg ulaznih signala, aktivni elementi linearnih integrisanih krugova rade u linearnom području, pa je i odnos između ulaznog i izlaznog signala linearan.

U izvodenju pojedinih laboratorijskih vježbi iz predmeta "Digitalna elektronika" koristi se linearno integrisano pojačalo LM741. Na Slici 7. prikazana je shematska oznaka za LM741. Integrisani krugovi se smještaju u metalna ili plastična kućišta. Linearni integrisani krug LM741, kakav se koristi u laboratorijama ETF-a, je smješten u plastično kućište DIP-8. Na Slici 8. prikazan je raspored izvoda za LM741 u kućištu DIP-8.



Slika 7.

Posebna podgrupa linearnih integrisanih pojačala su operaciona pojačala. Operaciono pojačalo je linearno integrisano istosmjerno pojačalo velikog pojačanja, obuhvaćeno mrežom operacione povratne sprege. Idealno operaciono pojačalo ima slijedeće osobine:

- naponsko pojačanje u praznom hodu  $A_{U0} \rightarrow \infty$ ;
- ulazna otpornost  $R_{ul} \rightarrow \infty$ ;
- izlazna otpornost  $R_{izl} \rightarrow 0$ ;
- ulazni napon ratdešenosti  $U_N \rightarrow 0$ ;
- frekventni propusni opseg  $\Delta f = 0 \sim \infty$ .

Navedene osobine omogućavaju da se u proračunu sklopova sa linearnim integrisanim pojačalima koriste slijedeća dva pravila, koja taj proračun olakšavaju:

1. Obzirom da je ulazna otpornost beskonačna, struje u ulazne stezaljke pojačala se mogu zanemariti;
2. Kada je pojačalo obuhvaćeno sa negativnom povratnom spregom, pojačanje pojačala teži ka beskonačnom, pa se napon između ulaznih stezaljki pojačala može zanemariti.

# NASTAVNI PLAN

laboratorijskih vježbi iz predmeta "Digitalna elektronika"  
za školsku 2006/07.godinu

LV	Naziv vježbe	Priprema	Tehnika rada	Izveštaj
1	RC krugovi za diferenciranje i integriranje	proračun sklopa	lemljenje	DA
2	Snimanje statičkih i dinamičkih karakteristika tranzistora kao prekidača	nije potreban proračun sklopa	lemljenje	DA
3	Bistabilni multivibrator	proračun sklopa	lemljenje	DA
4	Monostabilni multivibrator	proračun sklopa	lemljenje	DA
5	Astabilni multivibrator	proračun sklopa	lemljenje	DA
6	Schmittovo kolo sa tranzistorima u prekidačkom režimu rada	proračun sklopa	lemljenje	DA
7	Schmittovo kolo na bazi linearnog integrisanog pojačala	proračun sklopa	eksperimentalna pločica (matador)	DA
	Astabilni multivibrator na bazi linearnog integrisanog pojačala	proračun sklopa	eksperimentalna pločica (matador)	DA
8	8-bitni D/A konvertor	proračun sklopa	eksperimentalna pločica (matador)	DA

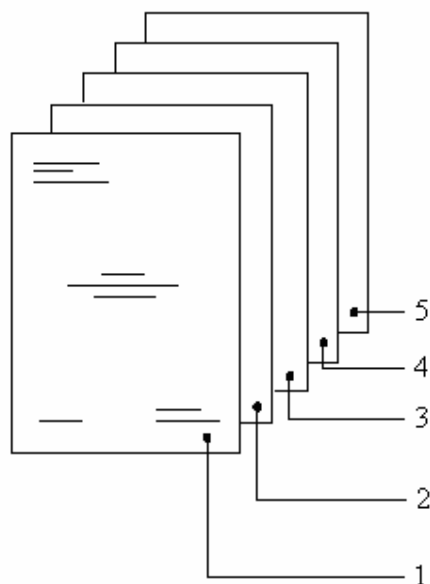
## UPUTSTVO O OBAVEZNOJ FORMI I SADRŽAJU IZVJEŠTAJA O OBAVLJENOJ LABORATORIJSKOJ VJEŽBI

U cilju uniformnosti, preglednosti i efikasnosti izvještavanja o obavljenim laboratorijskim vježbama, sačinjeni su obrasci IZVJEŠTAJ-a, koje je student dužan popuniti na laboratorijskoj vježbi, čime će njegova vježba biti završena. IZVJEŠTAJ o obavljenoj laboratorijskoj vježbi se obavezno sastoji iz slijedećih dijelova (prema Slici 1.):

1. Naslovna strana IZVJEŠTAJ-a;
2. Postavka zadatka za laboratorijsku vježbu
3. Proračun elektroničkog sklopa ;
4. Dijagrami koji su rezultat mjerenja i ispitivanja laboratorijskog modela elektroničkog sklopa;
5. Ostali rezultati mjerenja i zaključci.

Svi navedeni dijelovi sastavljaju se u IZVJEŠTAJ prema datom redosljedu.

**IZVJEŠTAJ se piše ručno štampanim slovima na bijelom papiru, formata A4. Papir se ispisuje samo sa jedne strane.** Ukoliko je to potrebno, svi dijelovi IZVJEŠTAJ-a, osim naslovne strane, mogu imati više stranica.



**Slika 1.**

Naslovna strana IZVJEŠTAJ-a mora sadržavati: mjesto i datum izvođenja laboratorijske vježbe, ime i prezime studenta, te broj INDEX-a

studenta. Svi navedeni elementi naslovne strane ispisuju se štampanim slovima.

Ukoliko se zahtjeva proračun elektroničkog sklopa, tada je **šemu elektroničkog sklopa dovoljno nacrtati jednom, ali sa označenim vrijednostima elektroničkih komponenti koje ga sačinjavaju**, a što je izlazni rezultat proračuna.

**Signali, koji su rezultat mjerenja i ispitivanja laboratorijskog modela, obavezno se crtaju u odgovarajuće dijagrame koji predstavljaju izgled ekrana osciloskopa. Obavezno se u gornjoj polovini crta ulazni signal (ako postoji), dok u donjoj polovini odgovarajući postavkom vježbe traženi signal.**

Rezultati mjerenja i ispitivanja sistematiziraju se onako kako je to zahtjevano postavkom zadatka za laboratorijsku vježbu (obično tabelarno ili na drugi zahtjevani način). Na kraju IZVJEŠTAJ-a, obavezno je navesti zaključke o provedenoj laboratorijskoj vježbi, odnosno o ispitivanoj elektroničkoj strukturi.

## OPIS ELEKTRONIČKE LABORATORIJE ETF-a

Elektronička laboratorija Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu raspolaže sa deset radnih mjesta. To znači da jednu laboratorijsku grupu može sačinjavati najviše deset studenata.

Sva laboratorijska radna mjesta opremljena su na identičan način, sa istom laboratorijskom opremom. Svako radno mjesto raspolaže sa osciloskopom, generatorom funkcija, napojnom jedinicom, digitalnim multimetrom, lemlicom, te odgovarajućim mjernim sondama, kablovima za povezivanje, eksperimentalnim pločicama (matadorima) i drugom sitnom opremom i materijalom neophodnim za izvođenje laboratorijskih vježbi.

## POPIS ELEKTRONIČKIH KOMPONENTI\*

Za izvođenje laboratorijskih vježbi iz predmeta "Digitalna elektronika", elektronička laboratorija raspolaže sa slijedećim elektroničkim komponentama:

### 1. Tranzistori

- pojačavački tranzistori BC107(NPN) i BC177 (PNP).

### 2. Otpornici

- otpornici reda E12, tolerancije  $\pm 5\%$ , sa nazivnim vrijednostima:

E	12	15	18	22	27
	33	39	47	56	68
	82	100			
E	120	150	180	220	270
	330	390	470	560	680
	820	1000			
K	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7
	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8
	8,2	10			
K	12	15	18	22	27
	33	39	47	56	68
	82	100			
K	120	150	180	220	270
	330	390	470	560	680
	820	1000			

## 3. Kondenzatori

- folijski kondenzatori za montažu na eksperimentalnu pločicu, tip MKS3, raster 7,5 mm, tolerancije  $\pm 20\%$ , maksimalno dozvoljenog napona 100 V = / 63 V~, temperaturnog opsega -55°C ÷ +100°C, nominalnih vrijednosti:

$\mu\text{F}$	0,01	0,015	0,022	0,033	0,047
	0,068	0,1	0,15		

- folijski kondenzatori za montažu na eksperimentalnu pločicu, tip MKS4, raster 10 mm, tolerancije  $\pm 20\%$ , maksimalno dozvoljenog napona 100 V = / 63 V~, temperaturnog opsega -55°C ÷ +100°C, nominalnih vrijednosti:

$\mu\text{F}$	0,22
---------------	------

- folijski kondenzatori za montažu na eksperimentalnu pločicu, tip MKS4, raster 15 mm, tolerancije  $\pm 20\%$ , maksimalno dozvoljenog napona 100 V = / 63 V~, temperaturnog opsega -55°C ÷ +100°C, nominalnih vrijednosti:

$\mu\text{F}$	0,33	0,47	0,68	1,0
---------------	------	------	------	-----

- keramički kondenzatori, tip KDPU, raster 5,08 mm, tolerancije  $\pm 20\%$ , maksimalno dozvoljenog napona 100 V =, nominalnih vrijednosti:

$\mu\text{F}$	0,01	0,022	0,047	0,1	0,22
	0,47	1,0			

## 4. Linearna integrisana pojačala

- Linearno integrisano pojačalo LM741 u kućištu DIP-8.

\* Popis elektroničkih komponenti može biti predmet promjena, u smislu promjene stanja raspoloživosti pojedine komponente (ili pojedinih komponenti. O svakoj promjeni studenti će biti blagovremeno obavješteni od strane asistenata .

## LABORATORIJSKA VJEŽBA BR.1.

### KOLA ZA DIFERENCIRANJE I INTEGRIRANJE

Elementarna kola za diferenciranje i integriranje su kondenzator i induktivitet.

Ukoliko se, prema Slici 1, kao ulazni signal posmatra napon na kondenzatoru, a kao izlazni signal struja kroz kondenzator, tada je struja kroz kondenzator određena kao:

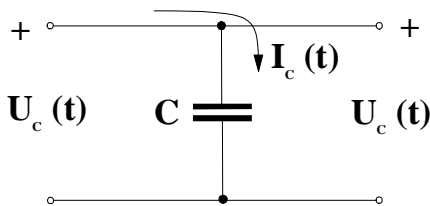
$$i_C(t) = C \frac{du_C(t)}{dt},$$

odnosno, izlazni signal je izvod ulaznog signala.

Obrnuto, ukoliko se kao ulazni signal posmatra struja kroz kondenzator, a kao izlazni signal napon na kondenzatoru, tada je napon na kondenzatoru određen kao:

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt,$$

odnosno, izlazni signal je integral ulaznog signala.



Slika 1.

Ukoliko se, prema Slici 2, kao ulazni signal u induktivitet posmatra struja, a kao izlazni signal napon na induktivitetu, tada je napon na induktivitetu određen sa relacijom:

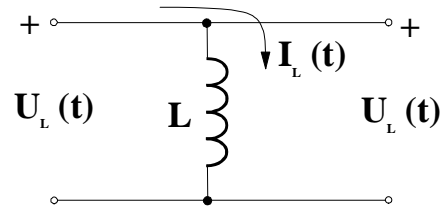
$$u_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt},$$

što znači da je izlazni signal izvod ulaznog signala.

Obrnuto, ako se kao ulazni signal posmatra napon na induktivitetu, a kao izlazni signal struja kroz induktivitet, onda je struja kroz induktivitet određena sa relacijom:

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int u_L(t) dt,$$

što znači da je izlazni signal integral ulaznog signala.



Slika 2.

U svim navedenim slučajevima ulazni i izlazni signal su različite vrste, ili je ulazni signal napon, a izlazni struja, ili je obrnuto. U praksi se obično zahtjeva da i ulazni i izlazni signal bude napon. Taj zahtjev moguće je ostvariti upotrebom RC ili RL kola za diferenciranje i integriranje.

### RC kola

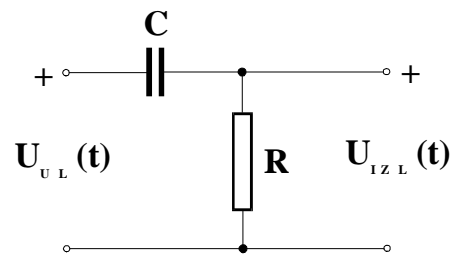
Ukoliko se, prema Slici 3, kao izlazni signal iz RC kola uzima napon na otporu, tada je veza između ulaznog i izlaznog napona data sa:

$$u_{izl}(t) = RC \frac{d[u_{ul}(t) - u_{izl}(t)]}{dt}.$$

Ukoliko su elementi RC kola izabrani tako da je  $u_{ul} \gg u_{izl}$ , tada se može približno uzeti da je:

$$u_{izl}(t) \approx RC \frac{du_{ul}(t)}{dt},$$

odnosno, da je izlazni napon približno derivacija ulaznog napona.

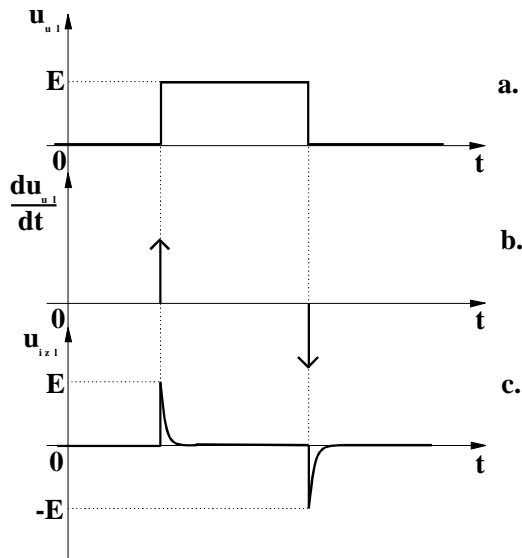


Slika 3.

Da bi se ostvario uslov da je  $u_{ul} \gg u_{izl}$ , vremenska konstanta  $\tau=RC$  teoretski treba biti jednaka nuli, a praktično treba biti što je moguće manja.

U svakom slučaju, postoji razlika između idealnog i realnog odziva RC kola za diferenciranje. Na Slici 4 prikazan je odziv idealnog i realnog RC kola za diferenciranje, pri čemu je ulazni signal pravougaonog oblika. Treba napomenuti da odziv i neidealnog RC kola za diferenciranje, kakav je

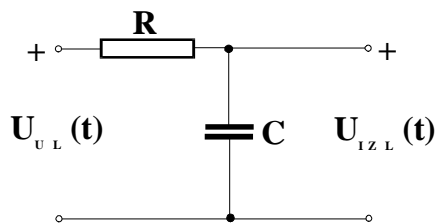
prikazan na Slici 4.c, postoji samo u idealnim uslovima. U realnim uslovima na oblik izlaznog signala utiču neidealnost ulaznog signala (ulazni signal nikada nije idealna četvrtka), uticaj unutarnjeg otpora generatora ulaznog signala i paraziti kapaciteti RC kola za diferenciranje. Kao rezultat navedenih uticaja, dolazi do izobličenja izlaznog signala.



Slika 4.

Ukoliko se, prema Slici 5, izlazni signal iz RC kola uzima sa kondenzatora, tada je veza između ulaznog i izlaznog napona data sa:

$$u_{izl}(t) = \frac{1}{RC} \int [u_{ul}(t) - u_{izl}(t)] dt.$$



Slika 5.

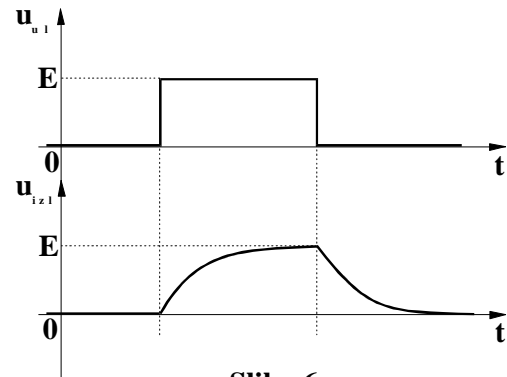
Ukoliko je zadržan uslov da je  $u_{ul} \gg u_{izl}$ , tada je odnos ulaznog i izlaznog napona približno dat sa:

$$u_{izl}(t) \approx \frac{1}{RC} \int u_{ul}(t) dt,$$

što znači da je izlazni napon približno integral ulaznog napona.

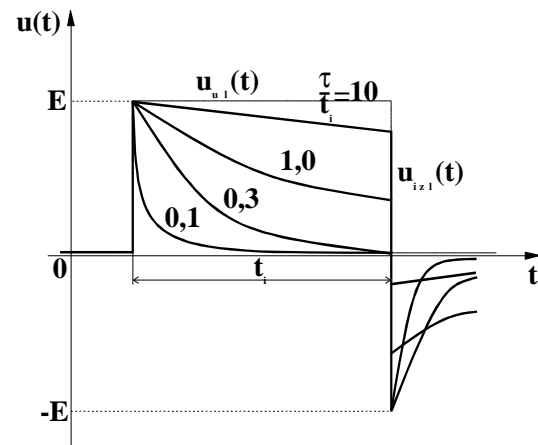
Na Slici 6 prikazan je odziv RC kola kao integratora na ulazni signal pravougaonog oblika. Da

bi izlazni signal bio što linearniji, vremenska konstanta kola  $\tau=RC$  mora biti što je moguće veća.

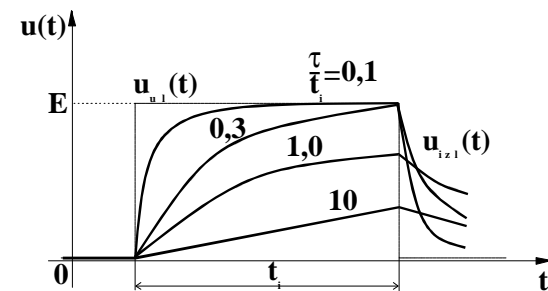


Slika 6.

Na kraju, za RC kola kojima se na ulaz dovode impulsi pravougaonog oblika, treba naglasiti da njihov odziv zavisi od odnosa vremenske konstante  $\tau$  kola i vremena trajanja ulaznog impulsa  $t_i$ . Na slikama 7 i 8 prikazani su oblici izlaznih signala za ulazni signal pravougaonog oblika trajanja  $t_i$ , uz različite odnose  $\tau/t_i$ . Slika 7 prikazuje valne oblike izlaznog signala za RC kolo kao diferencijator, a Slika 8 prikazuje valne oblike izlaznog signala za RC kolo kao integrator.



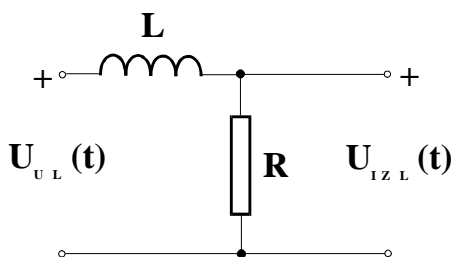
Slika 7.



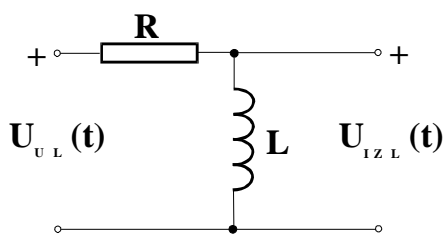
Slika 8.

RL kola

Kao kola za diferenciranje i integriranje mogu se koristiti i RL kola. Na Slici 9 prikazano je RL kolo kao integrator, a na Slici 10 prikazano je RL kolo kao diferencijator.



Slika 9.



Slika 10.

RL kola se rijetko koriste. U praksi se gotovo uvijek koriste RC kola za uobličavanje signala. Jedan od razloga za to jeste da je lakše proizvesti kondenzatore potrebnih veličina nego što je to slučaj sa zavojnicama. Iz razloga što se rijetko susreću u praksi, RL kola za uobličavanje signala neće biti dalje razmatrana.

## LABORATORIJSKA VJEŽBA BR.2.

### STATIČKE I DINAMIČKE KARAKTERISTIKE TRANZISTORA KAO PREKIDAČA

Impulsna kola zahtjevaju elemente koji imaju sposobnost da vrše prekidanje - elektronske prekidače.

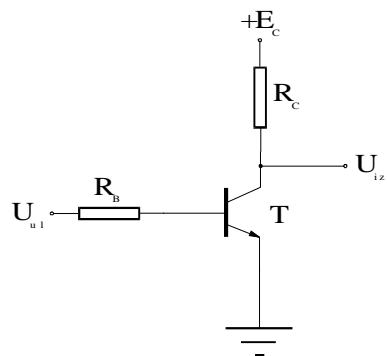
Kao elektronski prekidači mogu se upotrijebiti sve vrste poluvodičkih komponenti koje posjeduju nelinearnu strujno-naponsku karakteristiku. Prema tome, svi tipovi dioda i tranzistora mogu da se koriste kao prekidački elementi.

Nesumnjivo najznačajniji prekidački element u savremenim impulsnim kolima jeste tranzistor. Tranzistorski prekidač ima niz prednosti u odnosu na cijevne ili mehaničke prekidače, od kojih su najvažnije visoka frekvencija prekidanja, dug vijek trajanja, izolovanost ulaza od izlaza, i dr.

Kao i svi prekidački elementi, tranzistor koji se koristi kao prekidač ima dva stacionarna stanja: **stanje vodenja** (zasićenje tranzistora) i **stanje nevodenja** (zakočenje tranzistora).

Kao prekidački elementi mogu se koristiti i bipolarni i unipolarni tranzistori. S obzirom na koncepciju laboratorijskih vježbi na predmetu "Digitalna elektronika", biće razmatrani samo bipolarni tranistori.

Iako se tranzistori koriste u različitim spojevima, najčešće se koriste u spoju sa zajedničkim emiterom (ZE). Tranzistor kao prekidač je obično u spoju sa zajedničkim emiterom (ZE). Na Slici 1. Prikazano je tipično tranzistorsko prekidačko kolo sa tranzistorom u spoju sa zajedničkim emiterom (ZE).



Slika 1.

Pri proračunu impulsnih kola neophodno je poznavati neke karakteristike (parametre) tranzistora koji se koriste kao prekidački elementi.



Parametri tranzistora obično se dijele na statičke i dinamičke parametre. Pojam statičnosti, i dinamičnosti usko je povezan sa karakterom ulaznog signala u tranzistor, odnosno da li je ulazni signal u tranzistor vremenski nepromjenjiv ili promjenjiv.

Za projektovanje sklopova koji sadrže tranzistore potrebno je poznavati određeni broj statičkih karakteristika, koje su obično date u katalozima proizvođača. Takve karakteristike su :

- $U_{CES}$ , napon između kolektora i emitera pri kratko spojenom baznom krugu ( $U_{BE} = 0$ );
- $U_{CE0}$ , napon između kolektora i emitera pri otvorenom baznom krugu ( $I_B = 0$ );
- $V_{CEZ}$ , napon između kolektora i emitera tranzistora u zasićenju;
- $I_{CM}$ , najveća dozvoljena vrijednost kolektorske struje tranzistora;
- $U_{BEM}$ , najveća dozvoljena vrijednost napona između baze i emitera tranzistora;
- $I_{CB0}$ , inverzna struja spoja kolektor - baza;
- $P_{dmax}$ , najveća ukupna disipacija tranzistora;
- $T_{max}$ , najveća dozvoljena temperatura p-n spoja;
- $R_{TK}$ , termička otpornost između zapornog sloja i kućišta tranzistora.

Obzirom da se u impulsnim sklopovima tranzistori koriste na specifičan način - kao prekidački elementi, neki od navedenih parametara su značajni u neprovodnom, a neki u provodnom stanju tranzistora.

U neprovodnom stanju, značajna karakteristika tranzistora jeste inverzna kolektorska struja zasićenja  $I_{CB0}$ . Značajno je pomenuti da je ova struja temperaturno osjetljiva. U praktičnim proračunima može se uzeti da se struja  $I_{CB0}$  udvostruči za promjenu temperature od 8 do 10 °C.

U provodnom stanju, značajni parametri tranzistora su koeficijent strujnog pojačanja tranzistora u spoju sa zajedničkom bazom  $\alpha$  ( $h_{FB}$ ) i koeficijent strujnog pojačanja tranzistora u spoju sa zajedničkim emiterom  $\beta$  ( $h_{FE}$ ). Kako je već rečeno da je tranzistor kao prekidač obično u spoju sa ZE, ovdje je od interesa koeficijent strujnog pojačanja  $\beta$ . Kolektorska i bazna struja tranzistora u spoju sa ZE, koji je u zasićenju, vezane su relacijom:

$$I_{BZ} = \frac{I_{CZ}}{\beta} = \frac{I_{CZ}}{h_{FE}}$$

Ovdje jednakost simbolizira granični slučaj zasićenja ( $S = 1$ ). Bazna struja tranzistora koji je u zasićenju mora biti veća ili u krajnjem slučaju jednaka graničnoj baznoj struji zasićenja, odnosno:

$$I_B = I_{BZ}$$

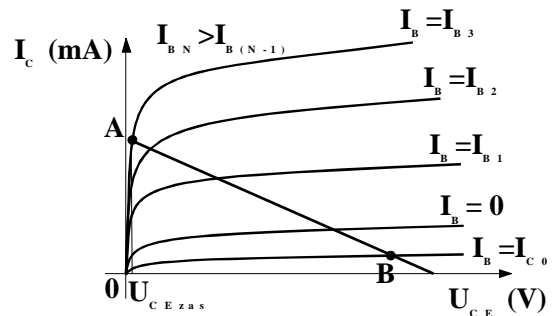
Kod tipičnih prekidačkih tranzistora, koeficijent strujnog pojačanja  $\beta$  ( $h_{FE}$ ) kreće se u granicama od 10 do 150. Tolerancije ovoga koeficijenta često su veoma široke, pa kod istog tipa tranzistora vrijednost ovoga koeficijenta može da varira u odnosu 3:1.

Statički parametri koji određuju kvalitet tranzistora kao prekidača su otpornost tranzistora u neprovodnom stanju ( $R_0$ ) i otpornost tranzistora u provodnom stanju ( $R_S$ ). Odnos

$$K = \frac{R_0}{R_S}$$

uzima se kao mjerilo kvaliteta tranzistora kao prekidača. Za dobre prekidačke tranzistore, ovaj odnos je reda  $10^6$  i više.

Statičke karakteristike tranzistora se snimaju laboratorijski. Obično se snimaju ulazne i izlazne karakteristike tranzistora. Ulazne karakteristike tranzistora u spoju sa ZE predstavljaju zavisnost struje baze tranzistora  $I_B$  od napona između baze i emitera tranzistora  $U_{BE}$ . Izlazne karakteristike tranzistora u spoju sa ZE predstavljaju zavisnost kolektorske struje tranzistora  $I_C$  od napona između kolektora i emitera  $U_{CE}$ . Na Slici 2. prikazan je izgled tipičnih izlaznih (kolektorskih) karakteristika tranzistora.

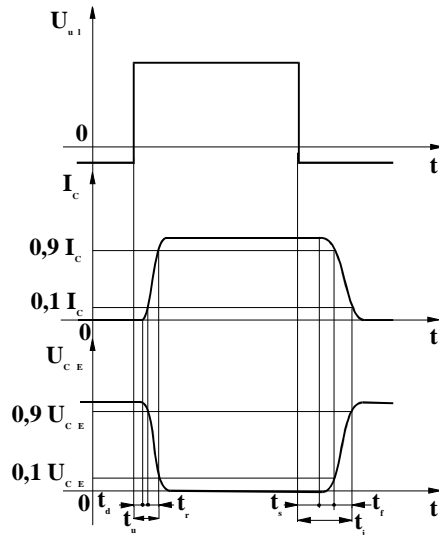


Slika 2.

Na osnovu izlaznih statičkih karakteristika tranzistora, prikazanih na Slici 2., moguće je uočiti određene režime rada tranzistora: zakočenje (ispod karakterisrike koja sadrži tačku B), zasićenje (lijevo od karakteristike koja sadrži tačku A) te linearni režim rada (na pravcu između tačaka A i B). Napon  $U_{CEzas}$  je napon koji odgovara struji  $I_{Czas}$  kada tranistor ulazi u područje zasićenja. Sa slike se vidi da ukoliko je ova struja manja, to je i napon  $U_{CEzas}$  manji.

Dinamički parametri određuju vremena uključjenja i isključenja tranzistora kao prekidača. Na

Slici 3. predstavljen je odziv tranzistora u spoju sa ZE na ulazni signal pravougaonog oblika.



**Slika 3.**

Kako se vidi na Slici 3., razlikujemo slijedeća vremena:

- $t_d$  (delay time - vrijeme kašnjenja) je vrijeme za koje, nakon porasta ulaznog signala koji prevede tranzistor, izlazni signal zadržava svoju prethodnu vrijednost;
- $t_r$  (rise time - vrijeme porasta) je vrijeme za koje izlazni signal poraste od 10 % do 90 % svoje konačne vrijednosti;
- $t_s$  (storage time - vrijeme održanja) je vrijeme za koje, nakon pada ulaznog signala koji koči tranzistor, izlazni signal zadržava prethodno stanje;
- $t_f$  (fall time - vrijeme pada) je vrijeme za koje izlazni signal opadne od 90 % do 10 % svoje maksimalne vrijednosti.

Vrijeme kašnjenja i vrijeme porasta zajedno daju vrijeme uključenja tranzistora:

$$T_u = t_d + t_r.$$

Vrijeme održanja i vrijeme pada zajedno daju vrijeme isključenja tranzistora:

$$T_i = t_s + t_f.$$

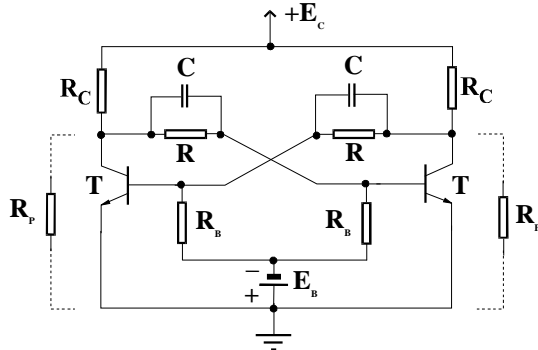
Od dinamičkih parametara od interesa je i granična frekvencija tranzistora,  $f_{gr}$ . Granična frekvencija tranzistora je ona frekvencija ulaznog signala pri kojoj amplituda izlaznog signala padne ispod 70,7 % ( $\sqrt{2}/2$ ) najveće vrijednosti amplitude.

Na kraju treba napomenuti da se značajan broj parametara tranzistora može odrediti i analitički. Metodi analitičkog proračuna tranzistora mogu se pronaći u obaveznoj literaturi za predmet "Digitalna elektronika", te u drugoj literaturi koja se bavi poluvodičima i impulsnim kolima.

## LABORATORIJSKA VJEŽBA BR.3

### BISTABILNI MULTIVIBRATOR

Bistabilni multivibrator je elektronički sklop koji na izlazu daje relaksacioni signal. Kako kaže njegovo ime, bistabilni multivibrator ima dva stabilna stanja. Promjena stanja izlaza bistabilnog multivibratora vrši se dovođenjem vanjskih impulsa. Na Slici 1. prikazana je realizacija bistabilnog multivibratora sa NPN tranzistorima.



Slika 1.

Kondenzatori u sklopu bistabilnog multivibratora (prema Slici 1.) nazivaju se komutirajući kondenzatori. Oni nisu neophodni za rad bistabilnog multivibratora, ali se koriste da povećaju brzinu prebacivanja bistabilnog multivibratora iz jednog stanja u drugo.

Promjena stanja bistabilnog multivibratora može se ostvariti dovođenjem vanjskog impulsa bilo u kolektore tranzistora bilo u baze tranzistora. "Okidanje" bistabilnih multivibratora, može biti simetrično ili nesimetrično. Kod simetričnog okidanja vanjski signali za promjenu stanja dovode se u oba tranzistora istovremeno. Kod nesimetričnog okidanja, vanjski okidni signal djeluje samo na jedan tranzistor.

Proračun bistabilnog multivibratora sastoji se od određivanja vrijednosti elemenata koji sačinjavaju elektronički sklop bistabilnog multivibratora (prema Slici 1.).

U proračunu se polazi od pretpostavke poznavanja osnovnih osobina tranzistora koji se koriste unutar sklopa. Osnovni parametri tranzistora, koje treba poznavati, su: dozvoljeni najveći napon između kolektora i emitera, koeficijent strujnog pojačanja  $\beta$  tranzistora (u spoju sa ZE), najveću dozvoljenu kolektorsku struju  $I_{Cmax}$ , inverznu kolektorsku struju zasićenja  $I_{C0max}$ , te graničnu frekvenciju tranzistora  $f_\alpha$ .

Na osnovu zadate amplitude izlaznog signala  $U_m$ , bira se napon napajanja  $E_C$ :

$$E_C = (1.1 - 1.4)U_m.$$

Pri tome napon napajanja  $E_C$  mora biti manji od najvećeg dozvoljenog napona kolektor-emiter tranzistora,  $U_{CEmax}$ . Treba napomenuti da iznos  $E_C = U_m$  obično zadovoljava zahtjeve postavljene zadatkom.

Najveća frekvencija ulaznih vanjskih impulsa koji okidaju bistabilni multivibrator određuje se na osnovu granične frekvencije tranzistora kao:

$$f_{max} = 0,7 f_\alpha \text{ (za slučaj nesimetričnog okidanja);}$$
$$f_{max} = 0,35 f_\alpha \text{ (za slučaj simetričnog okidanja).}$$

Napon izvora kočenja  $E_B$  obično se bira u granicama

$$E_B = (1 - 2)V$$

Naponi veći od  $E_B = 2 V$ , negativno utiču na brzinu rada bistabilnog multivibratora.

Otpor kolektora  $R_C$  bira se na osnovu najveće dozvoljene struje kolektora, čime je otpor  $R_C$  ograničen sa donje strane. Istovremeno, otpor  $R_C$  je ograničen sa gornje strane uslovom da ambijentalna temperatura ne utiče na amplitudu izlaznog signala. Tako se otpor  $R_C$  bira u granicama:

$$\frac{E_C}{I_{Cmax}} \leq R_C \leq \frac{E_C}{I_{C0max}}.$$

Vrijednost komutirajućih kapaciteta  $C$  bira se tako da bude zadovoljeno:

$$R_C C \approx 1,5\tau_\alpha, \text{ pri nesimetričnom okidanju, odnosno}$$

$$R_C C \approx 3\tau_\alpha, \text{ pri simetričnom okidanju, pri čemu je:}$$

$$\tau_\alpha = \frac{1}{\omega_\alpha} = \frac{1}{2\pi \cdot f_\alpha}.$$

Otpor u bazi,  $R_B$ , bira se tako da bude zadovoljeno:

$$R_B \leq \frac{E_B}{I_{C0max}}.$$

Na kraju se, na osnovu odabranih  $E_C$ ,  $E_B$ ,  $R_C$  i  $R_B$ , te poznavanjem koeficijenta strujnog pojačanja tranzistora (u spoju sa ZE)  $\beta$ , određuje otpor  $R$ , kao:

## LABORATORIJSKA VJEŽBA BR.4

### MONOSTABILNI MULTIVIBRATOR

Monostabilni multivibrator je relaksacioni sklop koji ima samo jedno stabilno stanje. Vanjski (okidni) impuls na ulazu uzrokuje promjenu stanja na izlazu monostabilnog multivibratora, ali se novo stanje na izlazu monostabilnog multivibratora zadržava samo određeno vrijeme. Iz tog razloga, novo stanje na izlazu monostabilnog multivibratora naziva se kvazistabilno stanje (ponegdje se može susresti i naziv nestabilno stanje). Nakon određenog vremena, napon na izlazu ponovo poprima prvobitnu vrijednost, odnosno monostabilni multivibrator se vraća u stabilno stanje. Vrijeme zadržavanja kvazistabilnog stanja određeno je vrijednostima elektroničkih komponenti samog monostabilnog multivibratora.

Na Slici 1. prikazano je osnovno elektroničko kolo monostabilnog multivibratora. U praksi se susreću i različite modifikacije elektroničkog kola prikazanog na Slici 1.

$$R \leq R_{\max} = \left( \frac{\beta_{\min}}{1 + \beta_{\min} \frac{E_B R_C}{E_C R_B}} - 1 \right) R_C.$$

Ukoliko je bistabilni multivibrator simetrično opterećen sa opterećenjem  $R_p$ , tada se gornja granica otpora  $R$  određuje kao:

$$R \leq R_{\max} = \frac{R_C R_{p\min}}{R_C + R_{p\min}} \left( \frac{\beta_{\min}}{1 + \beta_{\min} \frac{E_B R_C}{E_C R_B}} - 1 \right)$$

pri čemu je  $R_{p\min}$  najmanja vrijednost opterećenja sa kojom je bistabilni multivibrator opterećen.

Određena fiksna vrijednost za otpor  $R$  može se dobiti iz približnog obrasca za amplitudu izlaznog signala:

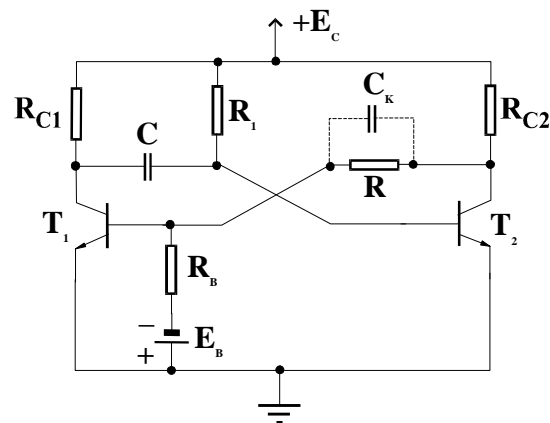
$$U_{\max} \approx \frac{R}{R + R_C} E_C,$$

odakle je:

$$R \approx \frac{U_{\max}}{E_C - U_{\max}} R_C.$$

Vrijednost dobivena posljednjim obrascem mora biti manja od najveće vrijednosti otpora  $R$ , odnosno:

$$R \leq R_{\max}.$$



Slika 1.

Kondenzator  $C_K$  naziva se komutirajući kondenzator, i služi za poboljšanje valnog oblika odziva monostabilnog multivibratora.

“Okidanje” monostabilnog multivibratora, čija je struktura prikazana na Slici 1., može se izvršiti dovođenjem bilo pozitivnog impulsa u bazu tranzistora  $T_1$ , bilo dovođenjem negativnog impulsa u bazu tranzistora  $T_2$ . Djelovanjem vanjskog okidnog impulsa, uspostavlja se kvazistabilno stanje, čija dužina trajanja zavisi od vrijednosti otpora  $R_1$  i kondenzatora  $C$ . Nakon prestanka trajanja kvazistabilnog stanja, monostabilni multivibrator se vraća u stabilno stanje, u kome se zadržava do nailaska narednog vanjskog okidnog impulsa. Odavde je jasno da, ukoliko je vrijeme trajanja vanjskog okidnog impulsa duže od vremena trajanja

kvazistabilnog stanja, tada se monostabilni multivibrator nikada neće vratiti u stabilno stanje.

Proračun monostabilnog multivibratora sastoji se u određivanju vrijednosti pojedinih električnih komponenti koje čine njegovu strukturu. Kao polazni podaci, obično su dati tip korištenih tranzistora i zahtjevano vrijeme trajanja kvazistabilnog stanja monostabilnog multivibratora. Pri tome je potrebno poznavati iste parametre tranzistora kao i kod proračuna bistabilnog multivibratora, a to su: dozvoljeni najveći napon između kolektora i emitera, koeficijent strujnog pojačanja  $\beta$  tranzistora (u spoju sa ZE), najveću dozvoljenu kolektorsku struju  $I_{Cmax}$ , inverznu kolektorsku struju zasićenja  $I_{C0max}$ , te graničnu frekvenciju tranzistora  $f_{\alpha}$ .

Naponi  $E_B$ ,  $E_C$ , te otpori  $R_{C2}$ ,  $R_B$  i  $R$  biraju se prema istim kriterijima kao i kod proračuna bistabilnog multivibratora.

Trajanje kvazistabilnog stanja monostabilnog multivibratora određuje se na osnovu približnog obrasca:

$$T_i \approx R_1 C \ln 2.$$

Otpor  $R_1$  je ograničen sa gornje strane na dva načina: prvo, uslovom da tranzistor  $T_2$  bude u zasićenju:

$$R_1 \leq \beta R_{C2},$$

i drugo, uslovom temperaturene neosjetljivosti:

$$R_1 \ll \frac{E_C}{I_{C0max}}.$$

Nakon biranja vrijednosti otpora  $R_1$ , kapacitet kondenzatora se računa kao:

$$C \approx \frac{T_i}{R_1 \cdot \ln 2}.$$

Otpor  $R_{C1}$  treba da ograniči struju kolektora tranzistora, pa je:

$$R_{C1} \geq \frac{E_C}{I_{Cmax}}.$$

Sa druge strane, period ponavljanja okidnih impulsa mora zadovoljiti relaciju:

$$T \geq T_i + (3 \div 5) R_{C1} C,$$

gdje je sa  $T$  označen period ponavljanja okidnih impulsa. Odavde je:

$$R_{C1} \leq \frac{T - T_i}{5C}.$$

Dakle, otpor  $R_{C1}$  je ograničen sa obje strane:

$$\frac{E_C}{I_{Cmax}} \leq R_{C1} \leq \frac{T - T_i}{5C}.$$

Na kraju, treba napomenuti da dozvoljeni napon baza - kolektor tranzistora treba da bude:

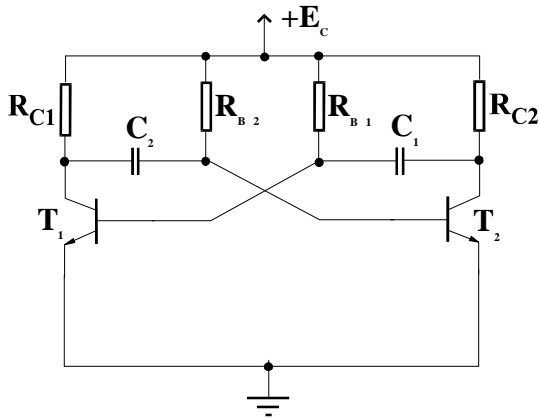
$$U_{BC} \geq 2E_C.$$

Ovu činjenicu treba uzeti u obzir prilikom izbora tranzistora za monostabilni multivibrator, odnosno ako je tip tranzistora zadat, onda pri izboru napona napajanja  $E_C$ .

## LABORATORIJSKA VJEŽBA BR.5

### ASTABILNI MULTIVIBRATOR

Astabilni multivibrator je elektronički sklop koji nema niti jedno stabilno stanje. U suštini, astabilni multivibrator je oscilator koji na izlazu daje niz pravougaonih impulsa različite frekvencije. Na Slici 1. prikazana je struktura jedne izvedbe astabilnog multivibratora sa NPN tranzistorima.



Slika 1.

Astabilni multivibratori najčešće nalaze primjenu kao generatori valnog oblika, bilo u laboratorijskim uređajima, bilo u digitalnim uređajima za upotrebu van laboratorije. Također, veliku primjenu nalaze u mjernoj tehnici za mjerenje neelektričnih veličina, gdje se koriste kao konvertori ili kao mjerni mostovi, najčešće kao naponsko-frekventni konvertori.

Osnovna osobina astabilnog multivibratora je da ne zahtijeva nikakav ulazni signal za promjenu stanja, već za normalan rad zahtijeva samo napajanje.

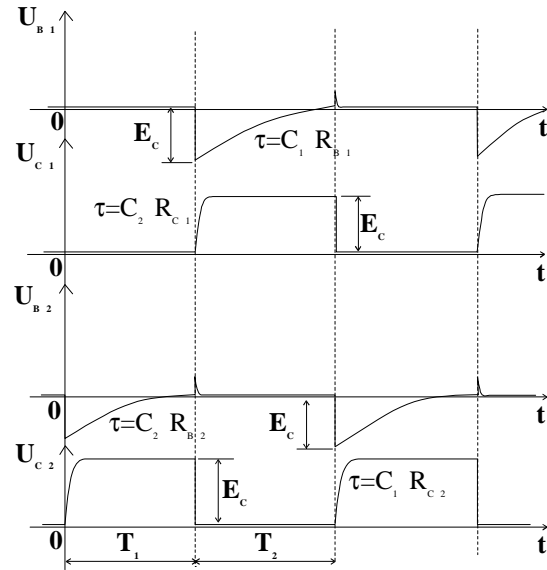
Na Slici 2. prikazani su vremenski dijagrami signala u karakterističnim tačkama astabilnog multivibratora.

Period sopstvenih oscilacija astabilnog multivibratora sastoji se od dva poluperioda, određena otpornicima  $R_{B1}$  i  $R_{B2}$ , te kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$ :

$$T = T_1 + T_2 \approx R_{B1}C_1 \ln 2 + R_{B2}C_2 \ln 2.$$

Pri proračunu astabilnog multivibratora, kolektorski otpori se biraju iz uslova ograničenja kolektorske struje zasićenja:

$$R_C \geq \frac{E_C}{I_{C\max}}.$$



Slika 2.

Istovremeno, otpor  $R_C$  je ograničen i sa gornje strane:

$$R_C \leq \frac{E_C}{I_{C0\max}}.$$

Otpori  $R_{B1}$  i  $R_{B2}$  biraju se iz uslova zasićenja tranzistora:

$$R_B \leq \beta_{\min} R_C.$$

Da bi krug astabilnog multivibratora bio temperaturno stabilan, treba da bude zadovoljeno:

$$R_B I_{C0\max} \ll E_C.$$

Otpor  $R_B$ , dakle, trebalo bi da bude što manji. Obično se vrijednost otpora  $R_B$  uzima u granicama  $10 \div 20 \text{ k}\Omega$ .

Nakon izbora vrijednosti otpora  $R_{B1}$  i  $R_{B2}$ , vrijednosti kondenzatora  $C_1$  i  $C_2$  se računaju i usvajaju iz uslova trajanja kvazistabilnih stanja.

Na kraju treba napomenuti slijedeće. Pri kočenju tranzistora, odnosno pri uspostavi kvazistabilnih stanja, naponi na kolektorima tranzistora uspostavljaju se sa slijedećim vremenskim konstantama:

$$\tau_1 = R_{C1} \cdot C_2 \text{ (tranzistor } T_1), \text{ i}$$

$$\tau_2 = R_{C2} \cdot C_1 \text{ (tranzistor } T_2).$$

Pun nivo signala se dobija nakon  $(3 \div 5) \tau_1$  (odnosno  $\tau_2$ ). Ako je od interesa da izlazni signali budu što bliži

idealnom nizu četvrtki, to vremenske konstante  $\tau_1$  i  $\tau_2$  trebaju biti što manje, odnosno otpori  $R_{C1}$  i  $R_{C2}$  trebaju biti što manji. Također, za ispravan rad astabilnog multivibratora treba biti ispunjen uslov :

$$(3 \div 5)R_{C1}C_2 \leq R_{B1}C_1 \ln 2 ,$$

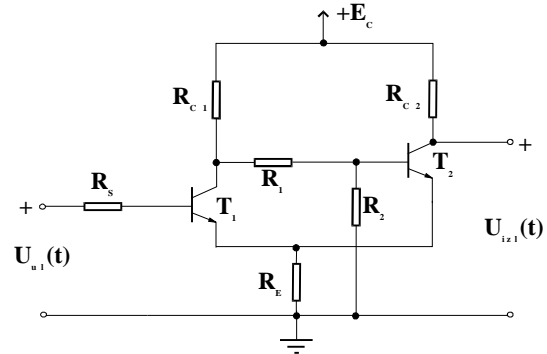
$$(3 \div 5)R_{C2}C_1 \leq R_{B2}C_2 \ln 2 .$$

Iz gornjih nejednakosti mogu se odrediti odnosi između vrijednosti kondenzatora  $C_1$  i  $C_2$  (uz fiksne vrijednosti otpora  $R_{C1}$  i  $R_{B1}$  za prvu nejednakost, odnosno  $R_{C2}$  i  $R_{B2}$  za drugu nejednakost). Također, ukoliko se fiksiraju vrijednosti kondenzatora  $C_1$  i  $C_2$ , tada je moguće odrediti odnose između vrijednosti otpora  $R_{C1}$  i  $R_{B1}$  u prvoj nejednakosti, odnosno  $R_{C2}$  i  $R_{B2}$  u drugoj nejednakosti.

## LABORATORIJSKA VJEŽBA BR.6

### SCHMITTOV TRIGER

Schmittov trigler je regenerativno kolo sa dva stabilna stanja. Na Slici 1. prikazana je električna shema kola Schmittovog trigerera.

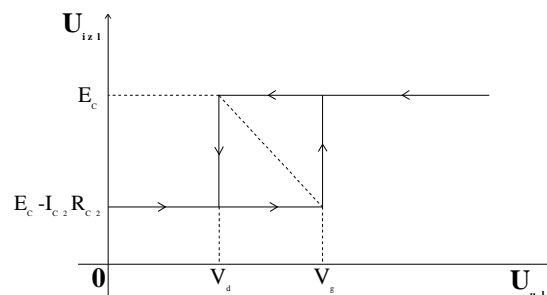


Slika 1.

U principu, Schmittov trigler se razlikuje od bistabilnog multivibratora u tome što ne postoji povratna sprega sa kolektora drugog tranzistora sklopa na prvi. Tranzistori unutar sklopa Schmittovog trigerera mogu raditi bilo u linearnom ili u prekidačkom režimu. Ovdje ćemo se usmjeriti na Schmittov trigler sa tranzistorima u prekidačkom režimu rada.

Na Slici 2. prikazana je zavisnost izlaznog signala Schmittovog trigerera od signala na njegovom ulazu. Najznačajnija pojava koja se uočava kod Schmittovog trigerera je pojava histereze. Pod histerezom Schmittovog trigerera podrazumijeva se razlika između naponskih nivoa okidnih pragova  $V_g$  i  $V_d$ , prema Slici 2., što se izražava kao:

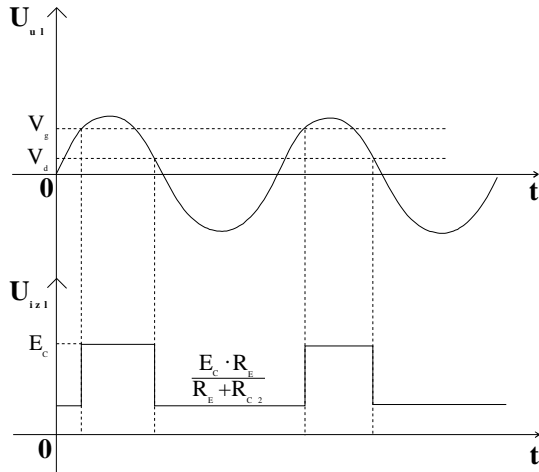
$$H = \Delta V = V_g - V_d .$$



Slika 2.

Na Slici 3. prikazan je odziv Schmittovog trigerera na ulazni signal oblika sinusoide. Da bi Schmittov trigler proradio, amplituda ulaznog signala mora biti veća od histereze Schmittovog trigerera. U protivnom, pod uticajem ulaznog signala, na izlazu

Schmittovog trigeru će se pojaviti jedno stanje koje će se trajno zadržati.



Slika 3.

Schmittov triger se najčešće koristi u komparatorskoj tehnici i tehnici uobličavanja signala. Praktično signal proizvoljnog oblika, uz uslov da mu je amplituda veća od histereze Schmittovog trigeru, može se konvertovati u signal pravougaonog oblika. Kada se Schmittov triger koristi kao komparator, tada je značajan samo jedan prag provođenja Schmittovog trigeru. Obično se kao prag komparacije uzima gornji (viši) prag provođenja Schmittovog trigeru. Također, za dobar komparator presudna su dva elementa: stabilnost praga komparacije i osjetljivost komparatora. Schmittov triger ima stabilan gornji prag provođenja koji ne zavisi od parametara aktivnih komponenti, ali je osjetljivost komparacije Schmittovog trigeru reda nekoliko stotina mV. Slično kao i bistabilni multivibrator, Schmittov triger se može koristiti i kao flip-flop, međutim ovakva primjena Schmittovog trigeru je rijetka.

Obično se kao polazni elementi za proračun Schmittovog trigeru zadaju amplituda izlaznog signala  $U_m$  i naponi gornjeg i donjeg praga  $V_g$  i  $V_d$ . Također, potrebno je poznavati osnovne karakteristike tranzistora koji se koriste unutar sklopa Schmittovog trigeru: najveći dozvoljeni napon između kolektora i emitera tranzistora, koeficijent strujnog pojačanja  $\beta$  tranzistora (u spoju sa ZE), najveću dozvoljenu kolektorsku struju tranzistora  $I_{Cmax}$ , inverznu kolektorsku struju zasićenja tranzistora  $I_{C0max}$ , te napon provođenja tranzistora (napon između baze i emitera tranzistora)  $V_\gamma$ . Na osnovu ovih elemenata moguće je izvršiti proračun električnog kola Schmittovog trigeru.

Napon zasićenja tranzistora  $T_2$  računa se kao:

$$U_{C2z} \approx V_g - V_{\gamma 1},$$

te se na osnovu tako izračunatog  $U_{C2z}$  bira napon napajanja  $E_C$ :

$$E_C \approx U_{C2z} + U_m.$$

Kolektorsku struju zasićenja tranzistora  $T_2$  biramo kao:

$$I_{C0} \ll I_{C2z} < I_{C2max}.$$

Na osnovu usvojenih vrijednosti za  $U_{C2z}$  i  $I_{C2z}$ , emitterski otpor  $R_E$  računa se kao:

$$R_E \approx \frac{U_{C2z}}{I_{C2z}}.$$

Otpor u kolektoru tranzistora  $T_2$  računa se kao:

$$R_{C2} \approx \frac{E_C - I_{C2z} R_E}{I_{C2z}}.$$

Napon donjeg praga Schmittovog trigeru iznosi:

$$V_d \approx E_C \frac{R_E}{R_{C1} + R_E} \left( 1 + \frac{R_S}{\beta R_E} \right).$$

Kako vrijedi da je:  $\frac{R_S}{\beta R_E} \ll 1$ , to je napon donjeg praga Schmittovog trigeru približno određen kao:

$$V_d \approx E_C \frac{R_E}{R_{C1} + R_E},$$

odakle se može izračunati otpor u kolektoru tranzistora  $T_1$  kao:

$$R_{C1} \approx R_E \frac{E_C - V_d}{V_d}.$$

Otpori  $R_1$  i  $R_2$  biraju se iz slijedećih nejednakosti:

$$R_1 \leq \beta_2 R_{C2} - R_{C1};$$

$$R_2 \geq \frac{U_{C2z}}{E_C - U_{C2z}} (R_{C1} + R_1).$$



Na kraju, otpor  $R_S$  može se približno odrediti iz zahtjeva za širinom petlje histereze:

$$V_H = V_g - V_d.$$

Napon gornjeg praga približno je određen kao:

$$V_g \approx E_C \frac{R_E}{R_{C2} + R_E} + V_{\gamma 1},$$

dok je približna relacija za napon donjeg praga  $V_d$  data ranije.

Ovdje treba napomenuti da u ranije datom obrascu za približnu vrijednost napona donjeg praga ne treba zanemariti član koji sadrži  $R_S$ , a za sve druge članove u obrascima i za  $V_g$  i za  $V_d$  treba uzimati vrijednosti koje su usvojene u procesu proračuna.

Obično se pri projektovanju električnog sklopa Schmittovog trigeru koriste oba ista tranzistora, pa se u prethodnim relacijama indexi uz parametre  $\beta$ ,  $V_\gamma$  i  $I_{Cmax}$  mogu izostaviti.

## LABORATORIJSKA VJEŽBA BR.7.

### SKLOPOVI NA BAZI LINEARNIH INTEGRISANIH POJAČALA

Relaksacioni sklopovi koji su obrađeni u prethodnim tematskim cjelinama također mogu biti realizovani upotrebom linearnih integrisanih pojačala.

Linearni integrisani krugovi su elektronički sklopovi kojima se izlazni signal mijenja kontinuirano. Za određeni opseg ulaznih signala, aktivni elementi linearnih integrisanih krugova rade u linearnom području, pa je i odnos između ulaznog i izlaznog signala linearan.

Posebna podgrupa linearnih integrisanih krugova predstavljaju linearna integrisana pojačala. Linearno integrisano istosmjerno pojačalo velikog pojačanja, obuhvaćeno mrežom negativne povratne sprege, naziva se operacionim pojačalom.

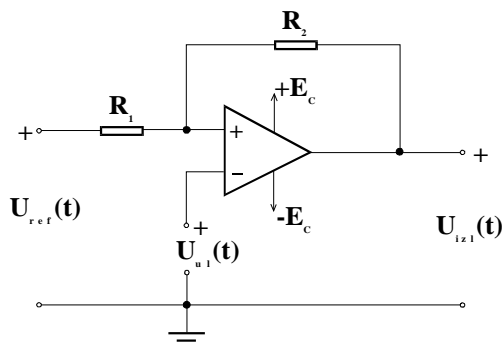
Glavne osobine linearnih integrisanih pojačala su veliko naponsko pojačanje direktne grane, velika ulazna otpornost, mala izlazna otpornost i širok frekventni propusni opseg.

Kod svih relaksacionih sklopova koji su formirani na bazi linearnih integrisanih pojačala povratna sprega je pozitivna. Zajednička osobina svih ovih sklopova jeste da su njihove karakteristike određene samo elementima povratne sprege, a ne i osobinama linearnog integrisanog pojačala.

U daljem tekstu obrađena su RC kola za diferenciranje i integriranje, Schmittov triger, astabilni multivibrator i monostabilni multivibrator, svi realizovani na bazi linearnog integrisanog pojačala.

## SCHMITTOVO KOLO NA BAZI LINEARNOG INTEGRISANOG POJAČALA

Na Slici 3. Prikazano je Schmittovo kolo formirano pomoću linearnog integrisanog pojačala.



Slika 3.

Vidi se da je u ovome slučaju povratna sprega pozitivna. Gornji i donji prag Schmittovog kola sa Slike 3., dati su sljedećim izrazima:

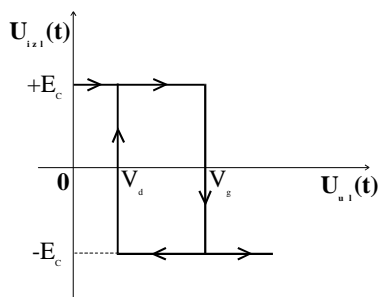
$$V_g = U_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_{izl} \frac{R_1}{R_1 + R_2};$$

$$V_d = U_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_{izl} \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Treba napomenuti da, ukoliko se hoće postići simetričnost gornjeg i donjeg praga provođenja Schmittovog kola, to se može postići uzimajući da je  $U_{ref} = 0$ . Iz navedenih jednakosti za gornji i donji prag Schmittovog kola može se izračunati odnos između otpora  $R_1$  i  $R_2$ .

Amplituda izlaznog signala ovako formiranog Schmittovog trigera iznosi približno  $2E_c$ .

Na Slici 4. prikazana je zavisnost izlaznog od ulaznog signala za Schmittov triger sa Slike 3.

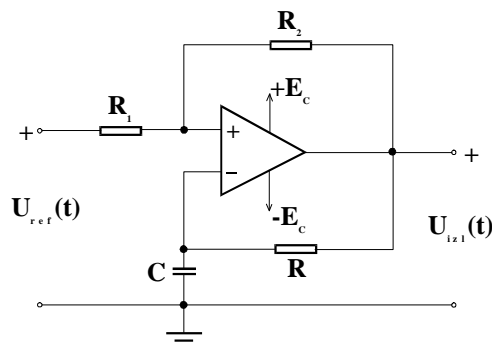


Slika 4.

Vidi se da se oblik petlje histerize razlikuje od onog za Schmittovo kolo realizovano u diskretnoj tehnici.

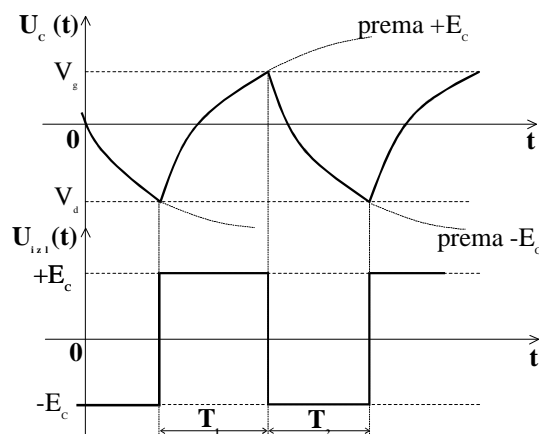
## ASTABILNI MULTIVIBRATOR NA BAZI LINEARNOG INTEGRISANOG POJAČALA

Astabilni multivibrator, formiran na bazi linearnog integrisanog pojačala, prikazan je na Slici 5. Sa slike se vidi da je povratna sprega pozitivna.



Slika 5.

Dijagrami izlaznog napona i napona na kondenzatoru sklopa astabilnog multivibratora sa Slike 5., prikazani su na Slici 6.



Slika 6.

Vremena trajanja pozitivnog i negativnog dijela izlaznog signala prema Slici 6. računaju se prema sljedećim izrazima (vodeći računa o znaku  $V_g$  i  $V_d$ ):

$$T_1 = RC \ln \frac{E_c - V_d}{E_c - V_g};$$

$$T_2 = RC \ln \frac{E_c + V_d}{E_c + V_g}.$$

Naponi gornjeg i donjeg praga  $V_g$  i  $V_d$  računaju se na identičan način kao i kod Schmittovog

kola formiranog na bazi linearnog integrisanog pojačala.

Naponi gornjeg i donjeg praga  $V_g$  i  $V_d$  zavise od referentnog napona  $U_{ref}$ . (Kada je  $U_{ref} \neq 0$  naponi  $V_g$  i  $V_d$  su nesimetrični u odnosu na apscisu.) Izborom referentnog napona  $U_{ref}$  moguće je uticati na odnos vremena trajanja  $T_1$  i  $T_2$  pozitivne i negativne četvrtke izlaznog signala astabilnog multivibratora. Na vremena trajanja  $T_1$  i  $T_2$  utiče se vremenskom konstantom  $\tau = RC$ . Međutim, promjenom vremenske konstante  $\tau$  vremena  $T_1$  i  $T_2$  se linearno povećavaju ili smanjuju, a pri tome se ne može uticati na odnos vremena  $T_1$  i  $T_2$ .

Vrijednosti otpora  $R_1$  i  $R_2$  usvajaju se na osnovu njihovog odnosa koji se može izračunati iz jednačina za napone  $V_g$  i  $V_d$ , na isti način kao i kod Schmittovog kola.

## LABORATORIJSKA VJEŽBA BR.8

### ANALOGNO - DIGITALNA I DIGITALNO - ANALOGNA KONVERZIJA

U uslovima rasprostranjenog korištenja mikroprocesora i mikroprocesorski baziranih sistema, javlja se potreba pretvaranja analognih signala u njihove digitalne ekvivalente. Taj posao obavljaju analogno - digitalni (A/D) konvertori. Isto tako, ponekad se javlja potreba da se digitalni signal, koji dolazi npr. iz mikroprocesora, pretvori u njegov analogni ekvivalent. Takvu vrstu pretvaranja signala obavljaju digitalno - analogni (D/A) konvertori.

U oba slučaja, pretvaranje signala obavlja se sa određenom rezolucijom, koja određuje tačnost konvertora. Podatak o rezoluciji A/D konverzije daje informaciju koliki je najmanji korak izlaznog napona A/D pretvarača. Rezolucija zavisi od broja bita u sekvenci izlaznog binarnog signala. Kod D/A konverzije, izlazni analogni signal mijenja se stepenasto, pa je rezolucija D/A konvertora praktično jednaka rezoluciji ulaznog digitalnog signala.

Postoje brojne izvedbe A/D i D/A konvertora. A/D konvertori se mogu principijelno podijeliti u dvije grupe: konverzioni A/D konvertori i poredbeni A/D konvertori.

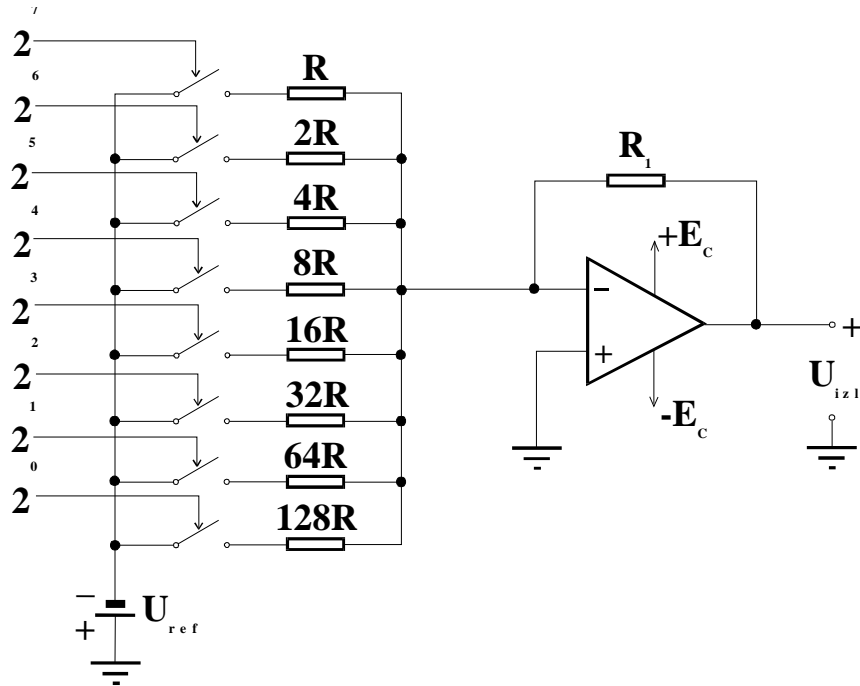
Kod konverzionih A/D konvertora, ulazni analogni signal se pretvara u niz impulsa koji ima period ponavljanja proporcionalan ulaznom naponu. Prema tome, broj impulsa u jedinici vremena je proporcionalan ulaznom naponu, tako da se informacija sa brojača impulsa može koristiti kao digitalni ekvivalent analognog signala.

Kod poredbenih A/D konvertora, ulazni analogni signal poredi se sa nekim referentnim signalom. Nakon izjednačavanja, referentni signal jednak je ulaznom signalu. Obzirom da se koriste veoma tačni izvori referentnih signala, tačnost ovakvih A/D konvertora je veoma velika.

Konstrukcija D/A konvertora zavisi od tipa digitalnog signala koji se u njega uvodi.

U literaturi [1] i [2] detaljno je predstavljena konstrukcija i opis A/D i D/A konvertora koji koriste binarno kodirani decimalni kod (BCD). BCD kodiranje znači da se svaka decimalna cifra kodira sa četiri binarne znamenke.

Na ovom mjestu, kao primjer biće naveden 8 - bitni D/A konvertor koji koristi binarno kodiranje. Na Slici 1. prikazana je struktura takvog D/A konvertora.



Slika 1.

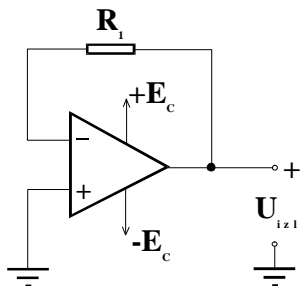
Na ulaz D/A konvertora sa Slike 1., dovode se 8 - bitne sekvence binarnih brojeva. To znači da rezolucija D/A konverzije iznosi:

$$\frac{1}{2^8} = \frac{1}{256} \approx 0,004,$$

odnosno oko 0,4 % opsega izlaznog signala  $U_{izl}$ .

Svaki prekidač D/A konvertora sa Slike 1., odgovara određenom težinskom bitu u 8 - bitnom binarnom zapisu. Otvoren prekidač ukazuje da je odgovarajući bit u binarnom zapisu jednak nuli, a zatvoren prekidač da je taj bit jednak jedinici.

Ukoliko je na ulazu D/A konvertora prisutna binarna kombinacija 00000000, tada imamo ekvivalentno kolo prikazano na Slici 2.

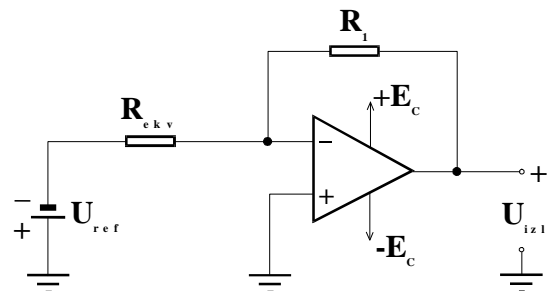


Slika 2.

Vrijednost izlaznog napona u ovom slučaju iznosi:

$$U_{izl} = 0.$$

Za svaku drugu binarnu kombinaciju na ulazu, koja je različita od kombinacije 00000000, imamo ekvivalentno kolo prikazano na Slici 3.



Slika 3.

Ekvivalentna otpornost  $R_{ekv}$  može imati vrijednosti, zavisno od ulazne binarne kombinacije, od najmanje:

$$R_{ekvmin} = \frac{128}{255} R,$$

pa do najveće:

$$R_{ekv\max} = 128R.$$

Ulazna binarna kombinacija *11111111* odnosi se na najveći izlazni napon, a u tom slučaju je ekvivalentna otpornost  $R_{ekv}$  najmanja. Najveći izlazni napon iznosi:

$$U_{izl\max} = U_{ref} \frac{R_1}{R_{ekv\min}} = U_{ref} \frac{255 \cdot R_1}{128 \cdot R}.$$

Obzirom da je najveća vrijednost izlaznog napona  $U_{izl\max}$  poznata, da se vrijednosti napona  $U_{ref}$  i otpora  $R$  biraju, otpor  $R_1$  se može izračunati iz prethodne jednakosti kao:

$$R_1 = R \frac{128 \cdot U_{izl\max}}{255 \cdot U_{ref}}.$$

Na kraju, potrebno je navesti osnovne definicije po kojima se računa greška D/A konvertora. Greška D/A konvertora može se određivati u odnosu na trenutnu vrijednost (očitanje), ili u odnosu na puni opseg. Obje greške se obično izražavaju u procentima.

Greška u odnosu na očitavanje računa se prema obrascu:

$$G_o(\%) = \frac{X_m - X_o}{X_m} \cdot 100,$$

gdje su:  $X_m$  - izmjerena trenutna vrijednost (očitanje) analognog signala;

$X_o$  - očekivana (izračunata) vrijednost analognog signala.

Greška u odnosu na puni opseg računa se prema obrascu:

$$G_s(\%) = \frac{X_m - X_o}{PO} \cdot 100,$$

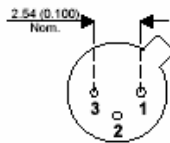
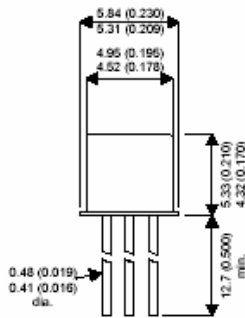
gdje je  $PO$  - puni opseg očekivanog analognog signala.



BC107  
BC108  
BC109

**MECHANICAL DATA**

Dimensions in mm (inches)



**TO-18 METAL PACKAGE**

**Underside View**

PIN 1 – Emitter    PIN 2 – Base    PIN 3 – Collector

**GENERAL PURPOSE  
SMALL SIGNAL  
NPN BIPOLAR TRANSISTOR**

**FEATURES**

- SILICON NPN
- HERMETICALLY SEALED TO18
- SCREENING OPTIONS AVAILABLE

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise stated)

$V_{CBO}$	Collector – Base Continuous Voltage	<b>BC017</b>	50V
		<b>BC108, BC109</b>	30V
$V_{CEO}$	Collector – Emitter Continuous Voltage With Zero Base Current	<b>BC107</b>	45V
		<b>BC108, BC109</b>	20V
$V_{CES}$	Collector – Emitter Continuous Voltage With Base Shortcircuited to Emitter	<b>BC107</b>	50V
		<b>BC108, BC109</b>	30V
$V_{EBO}$	Emitter – Base Continuous Voltage Reverse Voltage	<b>BC107</b>	6V
		<b>BC108, BC109</b>	5V
$I_C$	Continuous Collector Current		100mA
$I_{CM}$	Peak Collector Current		200mA
$P_{tot}$	Power Dissipation @ $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$		300mW
$T_{amb}$	Ambient Operating Temperature Range		-65 to +175°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range		-65 to +175°C



BC107  
BC108  
BC109

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise stated)

Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{CBO(1)}$ Collector-Base Leakage Current	$V_{CB} = 45\text{V}$ <b>BC107</b> $V_{CB} = 25\text{V}$ <b>BC108, BC109</b>			15 15	nA
$I_{CBO(1)}$ Collector-Emitter Leakage Current @ $T_{amb} = 125^\circ\text{C}$	$V_{CB} = 45\text{V}$ <b>BC107</b> $V_{CB} = 25\text{V}$ <b>BC108, BC109</b>			4 4	$\mu\text{A}$
$I_{EBO}$ Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 4\text{V}$ $I_C = 0$			1	$\mu\text{A}$
$h_{21E}$ Static Forward Current Transfer Ratio	$V_{CE} = 5\text{V}$ $I_C = 2\text{mA}$ <b>Group A BC107, BC108</b>	110		220	
	<b>Group B All Types</b>	180		460	
	<b>Group C BC108, BC109</b>	380		800	
	<b>BC107</b>	110		460	
	<b>BC108</b>	110		800	
<b>BC109</b>	180		800		
$V_{BE}$ Base – Emitter Breakdown	$V_{CE} = 5\text{V}$ $I_C = 2\text{mA}$			0.7	V
$V_{BE(sat)(1)}$ Base – Emitter Saturation Voltage	$I_B = 0.5\text{mA}$ $I_C = 10\text{mA}$			0.83	V
$V_{CE(sat)(1)}$ Collector – Emitter Saturation Voltage	$I_B = 0.5\text{mA}$ $I_C = 10\text{mA}$			0.25	V
$f_T$ Transition Frequency	$V_{CE} = 5\text{V}$ $I_C = 10\text{mA}$ $f = 100\text{MHz}$	150			MHz
F Noise Factor	$V_{CE} = 5\text{V}$ $I_C = 0.2\text{mA}$ $R = 2\text{k}\Omega$ $f = 1\text{kHz}$ $\Delta F = 200\text{Hz}$ <b>BC109</b>			4	dB
	<b>BC107, BC108</b>			10	
$h_{21e}$ Small Signal Forward Current Transfer Ratio	$V_{CE} = 5\text{V}$ $I_C = 2\text{mA}$ $f = 100\text{kHz}$ <b>Group A BC107, BC108</b>	125		260	
	<b>Group B All Types</b>	240		500	
	<b>Group C BC108, BC109</b>	450		900	
	<b>BC107</b>	125		500	
	<b>BC108</b>	125		900	
<b>BC109</b>	240		900		
$h_{11e}$ Common Emitter Input Impedance	$V_{CE} = 5\text{V}$ $I_C = 2\text{mA}$ $f = 1\text{kHz}$ <b>Group A BC107, BC108</b>	1.6		4.5	k $\Omega$
	<b>Group B All Types</b>	3.2		8.5	
	<b>Group C BC108, BC109</b>	6.0		15	
$h_{22e}$ Common Emitter Output Admittance	$V_{CE} = 5\text{V}$ $I_C = 2\text{mA}$ $f = 1\text{kHz}$ <b>Group A BC107, BC108</b>			30	$\mu\text{S}$
	<b>Group B All Types</b>			60	
	<b>Group C BC108, BC109</b>			110	
$C_{22b}$ Common Base Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{V}$ $f = 1\text{MHz}$			6	pF
$R_{th(j-amb)}$ Thermal Resistance: Junction to Ambient				500	$^\circ\text{C/W}$



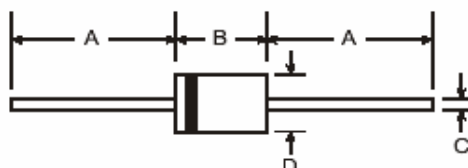
# 1N4148 / 1N4448

FAST SWITCHING DIODE

SPICE MODEL: 1N4148

## Features

- Fast Switching Speed
- General Purpose Rectification
- Silicon Epitaxial Planar Construction



## Mechanical Data

- Case: DO-35
- Leads: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Marking: Type Number
- Weight: 0.13 grams (approx.)

DO-35		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00
All Dimensions in mm		

## Maximum Ratings @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

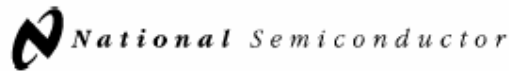
Characteristic	Symbol	1N4148	1N4448	Unit
Non-Repitative Peak Reverse Voltage	$V_{RM}$	100		V
Peak Repetitive Reverse Voltage	$V_{RRM}$	75		V
Working Peak Reverse Voltage	$V_{RWM}$	75		V
DC Blocking Voltage	$V_R$	75		V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	53		V
Forward Continuous Current (Note 1)	$I_{FM}$	300	500	mA
Average Rectified Output Current (Note 1)	$I_O$	150		mA
Non-Repitative Peak Forward Surge Current @ $t = 1.0\text{s}$ @ $t = 1.0\mu\text{s}$	$I_{FSM}$	1.0 2.0		A
Power Dissipation (Note 1) Derate Above $25^\circ\text{C}$	$P_d$	500	1.68	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	$R_{\theta JA}$	300		K/W
Operating and Storage Temperature Range	$T_j, T_{STG}$	-65 to +175		$^\circ\text{C}$

## Electrical Characteristics @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
Maximum Forward Voltage	$V_{FM}$	—	1.0 0.72 1.0	V	$I_F = 10\text{mA}$ $I_F = 5.0\text{mA}$ $I_F = 100\text{mA}$
Maximum Peak Reverse Current	$I_{RM}$	—	5.0 50 30 25	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$ $\text{nA}$	$V_R = 75\text{V}$ $V_R = 70\text{V}, T_j = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 20\text{V}, T_j = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 20\text{V}$
Capacitance	$C_j$	—	4.0	pF	$V_R = 0, f = 1.0\text{MHz}$
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	—	4.0	ns	$I_F = 10\text{mA}$ to $I_R = 1.0\text{mA}$ $V_R = 6.0\text{V}, R_L = 100\Omega$

Notes: 1. Valid provided that device terminals are kept at ambient temperature.





November 1984

LM741 Operational Amplifier

## LM741 Operational Amplifier

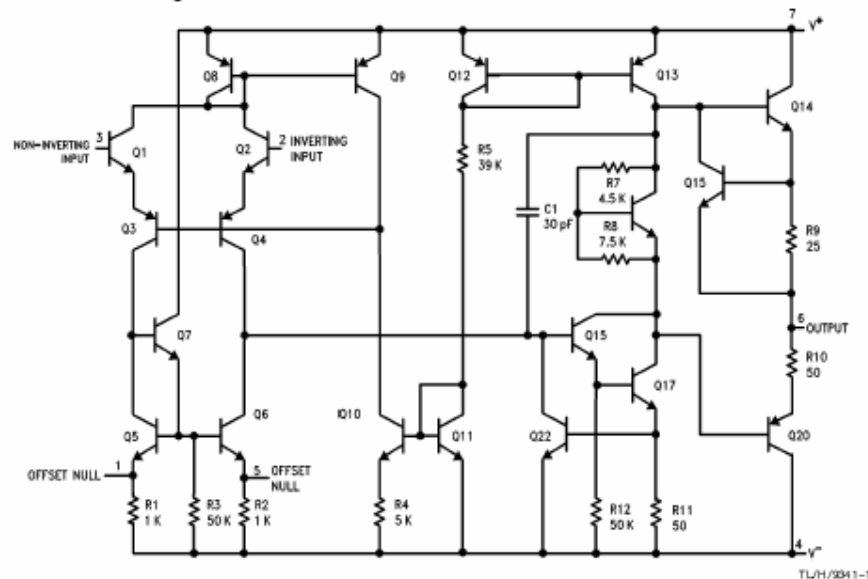
### General Description

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

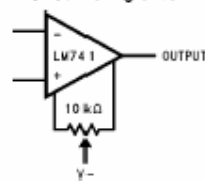
output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

### Schematic Diagram



Offset Nulling Circuit



## Dodatak – Katalog operacionog pojačala LM741

<b>Absolute Maximum Ratings</b>											
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications. (Note 5)											
	<b>LM741A</b>	<b>LM741E</b>	<b>LM741</b>	<b>LM741C</b>							
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V							
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW							
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V							
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V							
Output Short-Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous							
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C							
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C							
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C							
Soldering Information											
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C							
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C							
M-Package											
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C							
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C							
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.											
ESD Tolerance (Note 6)	400V	400V	400V	400V							
<b>Electrical Characteristics</b> (Note 3)											
Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_G \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV mV
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_G \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$			0.210			1.5			0.8	$\mu\text{A}$
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M $\Omega$
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$ $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									M $\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$				±12	±13					V
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}, V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV

## Dodatak – Katalog operacionog pojačala LM741

<b>Electrical Characteristics</b> (Note 3) (Continued)											
Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$\pm 16$									V V
	$V_S = \pm 15V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10	25	35		25			25		mA mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12V$ $R_S \leq 50\Omega$ , $V_{CM} = \pm 12V$	80	95		70	90		70	90		dB dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	86	96								dB dB
	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain		0.25 6.0	0.8 20		0.3 5			0.3 5		$\mu\text{s}$ %
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ $\mu\text{s}$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		80	150							mW mW
	LM741A $V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165 135		50 85			50 85		mW mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150 150							mW mW
	LM741 $V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60 45	100 75				mW mW

**Note 1:** For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and  $T_J$  max. (listed under "Absolute Maximum Ratings").  $T_J = T_A + (\theta_{JA} P_D)$ .

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (M)	HO8 (H)	SO-8 (M)
$\theta_{JA}$ (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
$\theta_{JC}$ (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

**Note 2:** For supply voltages less than  $\pm 15V$ , the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

**Note 3:** Unless otherwise specified, these specifications apply for  $V_S = \pm 15V$ ,  $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$  (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to  $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$ .

**Note 4:** Calculated value from:  $BW$  (MHz) =  $0.35/\text{Rise Time}(\mu\text{s})$ .

**Note 5:** For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

**Note 6:** Human body model, 1.5 k $\Omega$  in series with 100 pF.

# Dodatak – Katalog operacionog pojačala LM741

