FAKULTET ELEKTROTEHNIKE RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

SVEUČILIŠTE J. J. STROSSMAYERA U OSIJEKU

ELEKTRONIKA I

Priručnik za laboratorijske vježbe

Ime i prezime

Laboratorijska grupa

Osijek, 2022.

Izdavač
SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Za izdavača
prof. dr. sc. Tomislav Matić

Autori
Izv. prof. dr. sc. Davor Vinko
Luka Filipović, mag. ing. el.

Recenzenti
Izv. prof. dr. sc. Marijan Herceg
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Izv. prof. dr. sc. Marko Koričić
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu

Lektor
doc. dr. sc. Dragana Božić Lenard
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Travanj, 2022. godine

© Sva prava pridržana. Ni jedan dio ove knjige ne može biti objavljen ili pretisnut bez prethodne suglasnosti nakladnika ili vlasnika autorskih prava.

ISBN: 978-953-8184-04-08

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku



Suglasnost za izdavanje ovog sveučilišnog udžbenika donio je Senat Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na sjednici održanoj 29. lipnja 2022. godine pod brojem 3/22

SVEUČILIŠTE J. J. STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

izv. prof. dr. sc. Davor Vinko i Luka Filipović, mag. ing.

ELEKTRONIKA I

Priručnik za laboratorijske vježbe

SADRŽAJ

Pravila i upute za rad u laboratoriju 8

1. MJERENJE KARAKTERISTIKE POLUVODIČKE DIODE 9

2. ISPRAVLJAČKA SVOJSTVA DIODE 17

3. BIPOLARNI SPOJNI TRANZISTOR - POJAČALO 26

4. TRANZISTOR S EFEKTOM POLJA - SKLOPKA 33

5. OPTOELEKTRONIKA - FOTOTRANZISTOR 41

6. CMOS SKLOPOVI 47

Literatura 54

PRILOZI 55

P.1. Osciloskop 55

P.2. Generator signala – funkcijski generator 59

P.3. Digitalni multimetar (DMM) 64

P.4. Izvor napajanja 65

P.5. Eksperimentalna pločica 69

P.6. Osnovni spojni kablovi 71

P.7. Osnovni elektronički simboli 79

P.8. Označavanje otpornika 80

EVIDENCIJA RADA NA LABORATORIJSKIM VJEŽBAMA 81

Learn by doing

PREDGOVOR I OPĆE UPUTE ZA OBAVLJANJE LABORATORIJSKIH VJEŽBI

Većina se studenata na laboratorijskim vježbama prvi puta susreće s elektroničkim komponentama te im se tako pruža prigoda da, u kontroliranim uvjetima, provjere neka od znanja stečenih na predavanjima i auditornim vježbama. Cilj je laboratorijskih vježbi pružiti studentima osnovna praktična znanja koja će im omogućiti uvid u svu složenost svijeta elektroničkih komponenti, ali i stjecanja početne sigurnosti, smjelosti i samopouzdanja potrebnog za rješavanje problema u inženjerskoj praksi.

Student na vježbe treba dolaziti redovito, prema utvrđenom rasporedu, i obaviti sve predviđene laboratorijske vježbe. Da bi mogao pristupiti izvođenju vježbe, student se treba pripremiti, što se provjerava prije izvođenja svake vježbe. Priprema se sastoji od rješavanja zadataka iz pripreme za vježbu, kao i proučavanja općih teorijskih načela vezanih uz pojedinu vježbu. Student treba izvesti vježbe kako je opisano u uputama, zapisujući i obrađujući pri tom dobivene rezultate. Nakon obavljanja svih vježbi, student predaje voditelju vježbi ovaj priručnik. Uspješno obavljene i kolokvirane laboratorijske vježbe preduvjet su pristupanja ispitu.

Autori

PRAVILA I UPUTE ZA RAD U LABORATORIJU

1. Za svaku vježbu potrebno je proučiti zadani teorijski dio i riješiti sve pripremne zadatke.

2. Prije početka rada potrebno je pažljivo proučiti sve instrumente, mjerne uređaje, pomoćni alat i pribor predviđen za izvođenje vježbe. Posebnu pozornost treba dati oznakama i mjernim opsezima instrumenata.

3. Mjernu opremu treba rasporediti na radnoj površini kako bi osigurali preglednost, jednostavnu sljedivost sheme spajanja i preglednost čitanja izmjerenih vrijednosti.

4. Sva spajanja i rastavljanja moraju se obavljati bez priključenog izvora napajanja!!!

5. Vodiče za spajanje elemenata treba što manje ispreplitati. Krajevi vodiča koji se spajaju na stezaljke moraju se pažljivo spojiti, a stezaljke **umjereno** pritegnuti. Spajanje (ožičavanje) treba izvesti uredno radi jednostavnijeg otklanjanja moguće neispravnosti.

6. Ako u uputama nije naveden mjerni opseg, pri uporabi univerzalnih mjernih instrumenata koji imaju više mjernih opsega treba odabrati najveći mjerni opseg. Nakon priključivanja izvora napajanja treba **postupno birati niže mjerne opsege** sve dok se ne ostvari optimalno očitanje na instrumentu.

7. Prije uključivanja elektroničkog sklopa na izvor napajanja, kada to omogućuje način izvođenja vježbe, potenciometri za regulaciju napona moraju se postaviti u nulti položaj. Po uključenju izvora, napon postupno povećavati, neprestano nadzirući pokazivanje instrumenata. Do zadane vrijednosti napona izvora ići postupno, a ako se na mjernim instrumentima pojavljuje veće odstupanje od očekivanog, vratiti potenciometre za regulaciju u nulti položaj, isključiti izvor napajanja, provjeriti spajanje sklopa i otkloniti eventualne pogreške.

8. S instrumentima treba postupati pažljivo, čuvajući ih od mehaničkih i električkih oštećenja.

9. Nakon završenog spajanja, demonstrator ili laborant pregledava spoj. Napon se smije priključiti tek nakon odobrenja voditelja vježbi, laboranta ili demonstratora.

10. Uočeni kvarovi ili greške na instrumentima i ostaloj opremi moraju se odmah prijaviti voditelju vježbi ili laborantu. **STUDENTI NE SMIJU OBAVLJATI NIKAKVE POPRAVKE NA INSTRUMENTIMA ILI OPREMI!**

11. Ako postoje nejasnoće u vezi s načinom rukovanja instrumentima i opremom, zatražiti savjet i upute od voditelja vježbi, laboranta ili demonstratora.

12. Instrumenti smiju biti uključeni samo za vrijeme mjerenja. Kada se mjerenja ne obavljaju, obavezno isključiti instrumente.

13. Računala u laboratoriju koriste se uz dopuštenje voditelja vježbi. Nije dopušteno dodavati ili brisati datoteke izvan direktorija koji je studentu dodijeljen, kao ni instalirati bilo kakve programe bez znanja voditelja vježbi.

ZA SVA OŠTEĆENJA KOJA NASTANU ZBOG NEPRIDRŽAVANJA UPUTA, STUDENT SNOSI POTPUNU ODGOVORNOST.

1. MJERENJE KARAKTERISTIKE POLUVODIČKE DIODE

Zadaća je prve laboratorijske vježbe upoznavanje s laboratorijem i laboratorijskom opremom koja će se koristiti kroz laboratorijske vježbe iz kolegija *Elektronika I*. Tijekom vježbe studenti se upoznaju s osnovnim pravilima ponašanja, osnovnim mjerenjima i organizacijom Laboratorija za elektroniku i mikroelektroniku.

U prvom dijelu vježbe studenti će se upoznati s očitavanjem vrijednosti otpornika te mjerenjem otpora korištenjem univerzalnog multimetra. U drugom dijelu vježbu studenti uče raditi s generatorom signala i osciloskopom, dok se u trećemu dijelu vježbe snima strujno-naponska karakteristika diode primjenom X-Y načina rada osciloskopa. Cilj je ovoga dijela vježbe savladavanje rukovanja osciloskopom te upoznavanje s osnovnom poluvodičkom komponentom - diodom. Na kraju vježbe potrebno je analizirati vježbu te, u sklopu analize, odgovoriti na postavljena pitanja.

Potrebna laboratorijska oprema

- Eksperimentalna pločica – 1 kom.
- Žice za spajanje na eksperimentalnoj pločici – 1 komplet
- Digitalni multimetar – 2 kom.
- Priključni kabel s krokodilskim stezaljkama – 4 kom.
- Otpornik 1 kΩ – 1 kom.
- Svjetleća dioda (LED) – 1 kom.
- Generator signala – 1 kom.
- Osciloskop – 1 kom.
- Kabel s BNC-priključcima – 1kom.
- Mjerne sonde – 2 kom.
- Spojni kabel s banana-priključnicama – 2 kom.

Priprema za vježbu

a) Proučiti Pravila i upute za rad u laboratoriju te opis mjernih instrumenata i pripadajuće opreme (u prilogu). Proučiti elektroničke simbole.

b) Objasnite Ohmov zakon (definicija).

_____
_____
_____
_____

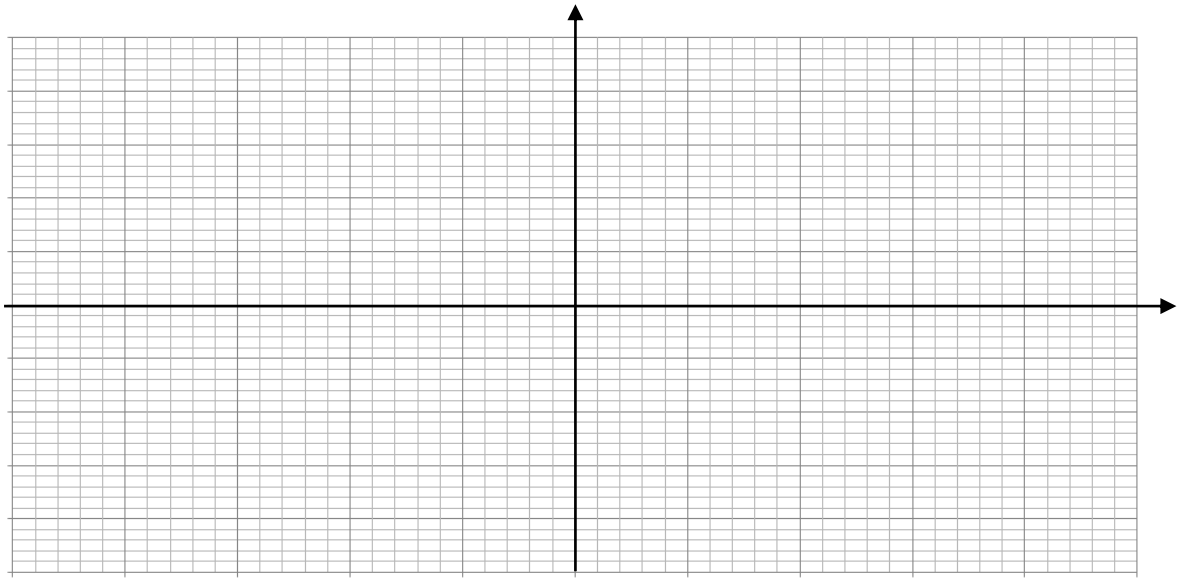
c) Što su poluvodiči?

_____
_____
_____
_____

d) Koja se jednadžba koristi za izračunavanje struje poluvodičke diode?

_____
_____
_____
_____

e) Nacrtajte strujno-naponsku karakteristiku PN-diode te označite napon koljena i napon proboja. Na dijagramu označite osi i mjerne jedinice.



Slika 1.1. Strujno-naponska karakteristika PN-diode

f) Navedite barem 3 vrste diode.

_____
_____
_____
_____

g) Nacrtajte pripadajuće simbole za gore navedene diode.

Rad u laboratoriju

Zadatak 1.1. Izravno mjerenje otpora

Za otpornik dobiven od voditelja vježbi odrediti vrijednost otpora koristeći se tablicom označavanja otpornika iz Priloga P.7.

1. Boja:_____
2. Boja:_____
3. Boja:_____
4. Boja:_____

R = _____ Ω, tolerancija: _____ %

Koristeći digitalni multimetar, izmjeriti vrijednost otpora istog otpornika.

R = _____ Ω

Izračunajte razliku u postotcima između očitane i izmjerene vrijednosti otpora i provjerite odgovara li navedenoj toleranciji.

Odgovor:

_____
_____
_____
_____

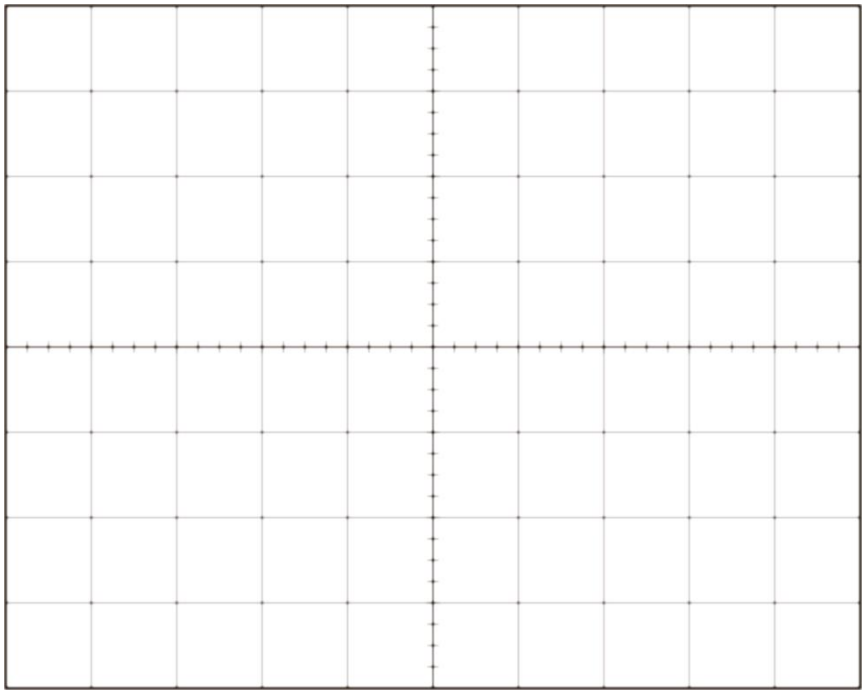
Zadatak 1.2. Generator signala i osciloskop

Spojite generator signala i osciloskop na sljedeći način. Kabel s BNC-priključkom spojite na izlaz generatora signala. Mjernu sondu spojite na ulaz osciloskopa. Spojite kabel s BNC-priključkom i mjernu sondu – mase se spajaju zajedno. Uključite generator signala i osciloskop. Na generatoru signala mijenjajte valni oblik signala (sinus, trokut, pravokutni), frekvenciju signala i amplitudu signala. Promatrajte kako se mijenja prikaz na osciloskopu za svaku promjenu na generatoru signala. Osciloskop ima mogućnost mjerenja (automatskog i ručnog) amplitude i frekvencije signala koji prikazuje. Koristeći mjerne funkcije (automatske i ručne) osciloskopa, izmjerite amplitudu i frekvenciju signala te dobivene vrijednosti usporedite s onima koje su postavljene na generatoru signala.

Za proizvoljno odabrane postavke funkcijskog generatora, precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa na sliku 1.2. Označite vremensku podjelu (T/div) i naponsku podjelu (V/div) kanala osciloskopa. Obavezno označite gdje se nalazi masa (nulti potencijal) na zaslonu osciloskopa.

Postavke funkcijskog generatora:

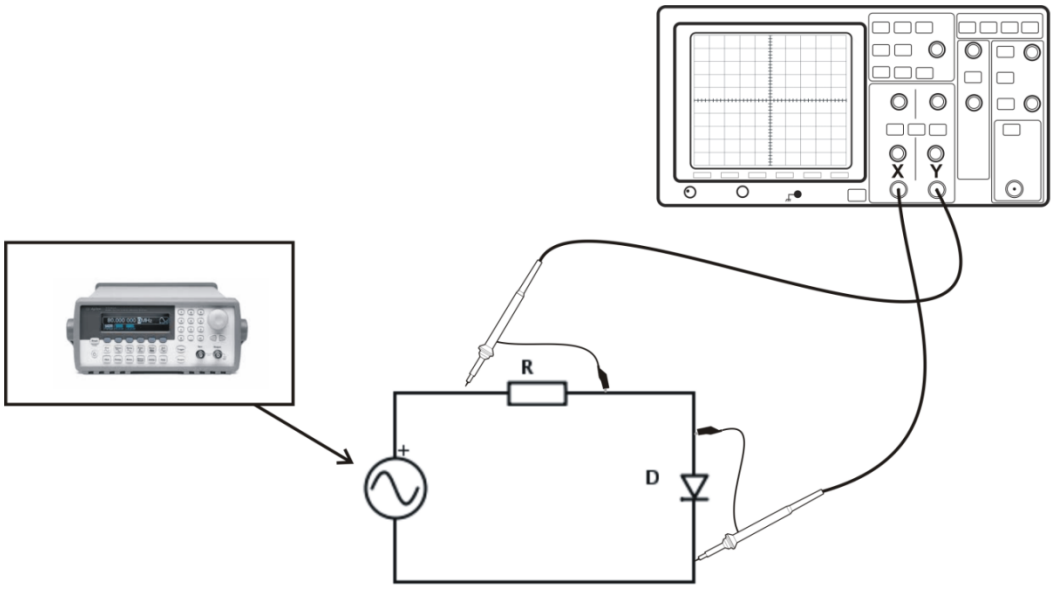
Amplituda:_____ Frekvencija:_____ Valni oblik:_____



Naponska os: _____ V/podioku Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 1.2. Valni oblik na izlazu iz generatora signala

Zadatak 1.3. Mjerenje karakteristike diode



Slika 1.3. Spoj za mjerenje strujno-naponske karakteristike diode korištenjem X-Y načina rada osciloskopa

Spojite mjerni krug prema slici 1.3. Posebnu pažnju obratite na način spajanja mjernih sondi osciloskopa. Za prikaz strujno-naponske karakteristike diode, pomoću X-Y-načina rada osciloskopa, slijedite korake.

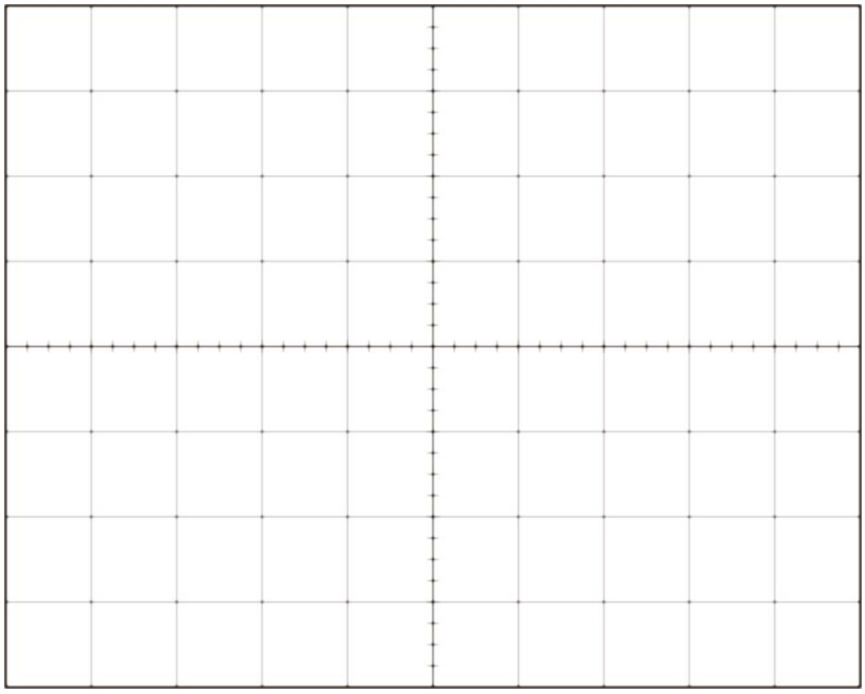
Generator signala:

- postaviti sinusni valni oblik na generatoru signala, amplitude od -10 V do 10 V, frekvencije 100 Hz;
- uključiti izlaz generatora signala: <OUTPUT>.

Osciloskop:

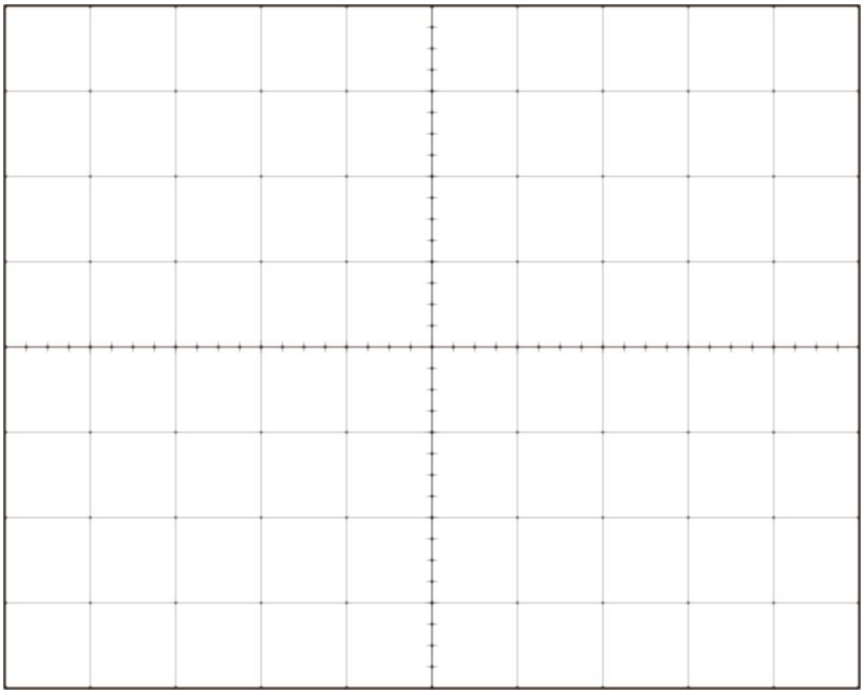
- na X-os osciloskopa potrebno je dovesti pad napona na diodi dok je na Y-os potrebno dovesti pad napona na otporniku *R*. Budući da je otpor otpornika konstantan, pad napona na otporniku predstavljat će iznos struje koja protječe kroz strujni krug (neizravno mjerenje struje pomoću pada napona na otporniku!). Taj će spoj na osciloskopu prikazati strujno-naponske karakteristike diode za propusnu i nepropusnu polarizaciju (I. i III. kvadrant);
- budući da mase obaju kanala osciloskopa moraju biti spojene u istu točku, sonda spojena na X-os mjeri napon $-U_D$ (napon U_{KA} umjesto napona U_{AK}, slika 1.3). Zbog toga je potrebno invertirati X-os pomoću opcija osciloskopa;
- na osciloskopu potenciometrima „*Position*“ namjestiti vrijednost 0 V za oba kanala;
- podesiti podjelu po X i Y-osi na 2 V/div;
- postaviti vremensku os na način da su prikazane (približno) 2 periode signala.

Na sliku 1.4. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite vremensku podjelu (T/div) i naponske podjele (V/div) za svaki kanal osciloskopa. Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal) za oba kanala.



Naponska os (kanal 1): _____ V/podioku Naponska os (kanal 2): _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 1.4. Valni oblici padova napona diode *D* i otpornika *R*



Kanal 1: _____ V/podioku Kanal 2: _____ V/podioku
Naponska (X) os: _____ V/podioku Strujna (Y) os: _____ mA/podioku

Slika 1.5. Strujno-naponska karakteristika PN-diode snimana X-Y načinom rada osciloskopa

U standardnom modu rada, osciloskop prikazuje valne oblike napona u ovisnosti o vremenu. U X-Y načinu rada, osciloskop prikazuje signal kanala 2 u ovisnosti o signalu kanala 1. Uključite X-Y način rada osciloskopa.

Na sliku 1.5. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite naponske podjele (V/div) za svaki kanal osciloskopa. Masu (nulti potencijal) za oba kanala postaviti u nulu.

Napomena: vrijednost strujne osi dobije se na način da se naponska podjela kanala 2 podijeli s vrijednošću korištenog otpornika. Budući da osciloskop (na kanalu 2) prikazuje pad napona na otporniku *R*, vrijednost struje dobijemo dijeljenjem mjerenog napona s otporom na kojem se taj napon mjeri.

Promijenite frekvenciju generatora signala na 100 mHz (0,1 Hz) i zabilježite svoja zapažanja.

_____
_____
_____
_____

Analiza vježbe

a) Opišite na koji je način provedeno mjerenje.

b) Opišite što će biti prikazano na zaslonu osciloskopa ukoliko je njegova sonda spojena na funkcijski generator (sinusni valni oblik, 50 Hz, 30 Vpp). Pri tome je na osciloskopu odabrano: vremenska os (5 ms/podioku), naponska os (100 mV/podioku). Koji je uzrok takvog prikaza?

c) Na koji se način određuje napon praga (napon koljena) kod diode?

d) Odredite koji napon praga ima dioda korištena tijekom izvođenja vježbe.

2. ISPRAVLJAČKA SVOJSTVA DIODE

Zadaća je ove vježbe upoznavanje ispravljačkih svojstava PN-diode. Studenti će se u prvome dijelu vježbe upoznati s poluvalnim ispravljačem, dok će se u drugomu dijelu vježbe obraditi princip rada punovalnog ispravljača.

Poluvalni ispravljač izveden je pomoću jedne PN-diode koja ispravlja sinusni napon generiran pomoću funkcijskog generatora. Nakon snimanja valnog oblika korištenjem osciloskopa, pristupa se dodavanju kondenzatora paralelno trošilu. Cilj je uočiti razliku između dvaju valnih oblika. Nakon poluvalnog ispravljača, studenti trebaju spojiti punovalni ispravljač s 4 diodama (Gretzov spoj). I kod ovog tipa ispravljača promatraju se valni oblici s i bez kondenzatora paralelno spojenog trošilu. U oba se zadatka valovitost izmjerenog izlaznog napona ispravljača uspoređuje s izračunatom vrijednosti.

Sinusni signal i idealno ispravljeni signal prikazani su slikom (sl. 2.1.).



a) b)

Slika 2.1. Izmjenični sinusni (a) i istosmjerni (b) valni oblik napona

Potrebna laboratorijska oprema

- Eksperimentalna pločica – 1 kom.
- Žice za spajanje na eksperimentalnoj pločici – 1 komplet
- Osciloskop – 1 kom.
- Mjerna sonda – 2 kom.
- Generator signala – 1 kom.
- Kabel s BNC-priključcima
- Otpornik 1 kΩ – 1 kom.
- 1N4007 dioda – 4 kom.
- Kondenzator 10 uF – 1 kom
- Kabel s banana-priključnicom – 4 kom.

Priprema za vježbu

a) Što je ispravljač i čemu služi?

_____
_____
_____
_____

b) Navedite barem 3 uređaja u kojima se može pronaći poluvalni/punovalni ispravljač.

_____
_____
_____
_____

c) Na internetu pronađite tehničke specifikacije (eng. *datasheet*) za diodu 1N4007 [1]. Ispišite na pisaču naslovnu stranicu dokumenta. Što predstavlja *Average Rectified Output Current*? Kolika je ta vrijednost za navedenu diodu?

_____
_____
_____
_____

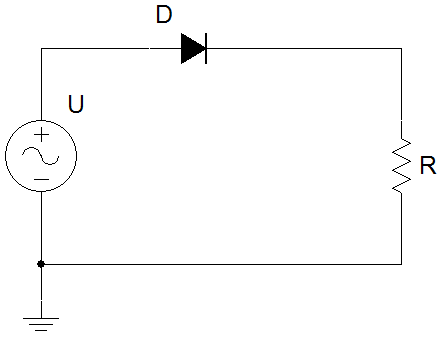
d) Nacrtati simbole navedenih dioda.

Silicijska PN-dioda	Varaktorska dioda	Shottkyjeva dioda

Rad u laboratoriju

Zadatak 2.1. Poluvalni ispravljač

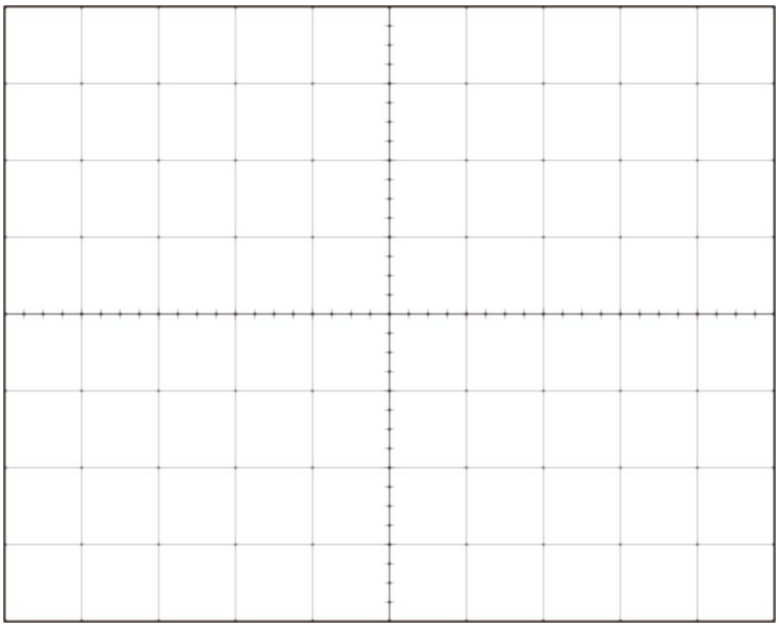
Na slici 2.2. prikazana je shema spoja poluvalnog ispravljača. Ispravljač je sklop koji izmjenični napon ispravlja u istosmjerni, slika 2.1.



Slika 2.2. Shema poluvalnog ispravljača

Na eksperimentalnoj pločici spojite shemu prikazanu na slici 2.2. Na generatoru signala postavite sinusni valni oblik, amplitude 10 V i frekvencije 1 kHz. Osciloskopom snimite valni oblik napona naponskog izvora *U* i valni oblik napona na otporniku *R*.

Na sliku 2.3. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite vremensku podjelu (T/div) i naponske podjele (V/div) za svaki kanal osciloskopa. Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal) za oba kanala.



Naponska os (kanal 1): _____ V/podioku Naponska os (kanal 2): _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/podioku

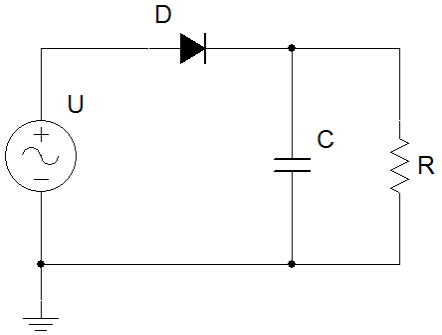
Slika 2.3. Valni oblik napona naponskog izvora i napona na otporu *R*

Kako bismo dobili konstantnu (vremenski nepromjenjivu) vrijednost istosmjernog napona na otporu *R*, potrebno je u shemi dodati kondenzator *C* (slika 2.4.) koji će, tijekom negativnih poluperioda napona izvora *U*, osigurati istosmjerni napon na otporu *R*. Potrebna vrijednost kapaciteta kondenzatora *C* ovisi o frekvenciji ulaznog signala, struji otpora *R* i željenoj valovitosti napona. Naime, uvijek će postojati određena valovitost napona na otporu jer se naboj na kondenzatoru troši tijekom negativne poluperiode ulaznog napona *U* te se i napon na kondenzatoru (tj. napon na otporu *R*) smanjuje.

Izračunajte potrebnu vrijednost kapaciteta *C* ako je zadana valovitost napona 10 %. Približnu vrijednost kapaciteta možete odrediti prema izrazu:

$$C = \frac{T}{valovitost * R},$$

gdje je *T* perioda izmjeničnog napona *U*, *R* otpor trošila, a valovitost se unosi na način: 10 % = 0,1.

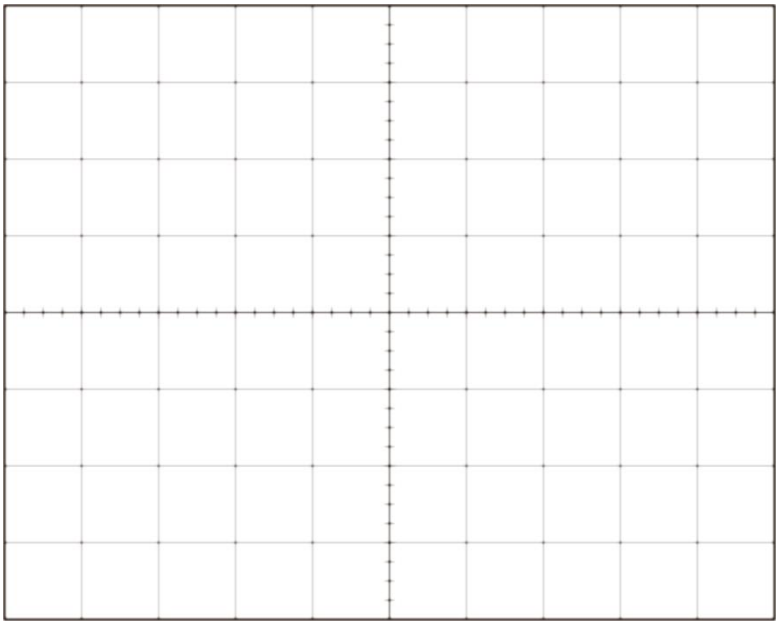


Slika 2.4. Shema ispravljača s izlaznim kondenzatorom

Potrebna vrijednost kapaciteta kondenzatora *C* = _____

Dodajte kondenzator na eksperimentalnu pločicu te osciloskopom snimite valni oblik napona naponskog izvora *U* i valni oblik napona na otporniku *R*.

Na sliku 2.5. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite vremensku podjelu (T/div) i naponske podjele (V/div) za svaki kanal osciloskopa. Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal) za oba kanala.



Naponska os (kanal 1): _____ V/podioku Naponska os (kanal 2): _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 2.5. Valni oblik napona naponskog izvora i napona na otporu *R* s dodanim izlaznim kondenzatorom

Korištenjem mjernih opcija (kursori) na osciloskopu izmjerite minimalnu i maksimalnu vrijednost napona na otporu *R* i izračunajte valovitost.

$$valovitost = \frac{U_{Rmax} - U_{Rmin}}{\left(\frac{U_{Rmax} + U_{Rmin}}{2}\right)} = _____$$

Usporedite dobivenu valovitost s očekivanom:

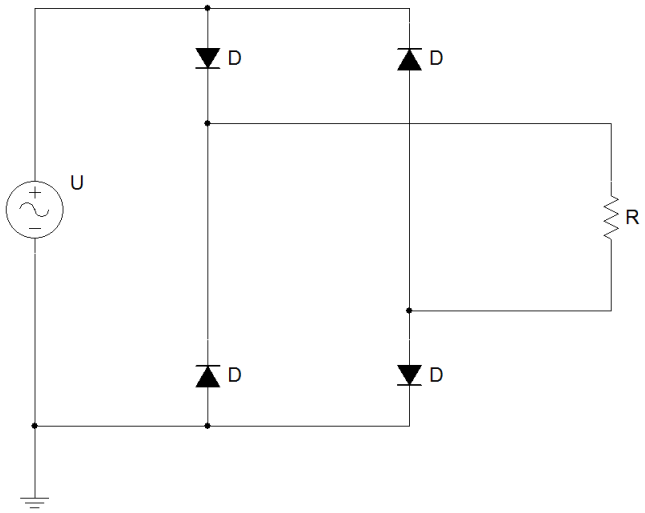
_____
_____
_____
_____

Za sinusni valni oblik, izmjerite valovitost izlaznog signala osciloskopa za frekvenciju od 100 Hz i 10 kHz.

$valovitost(@\ 100\ Hz)$_____

$valovitost(@\ 10\ kHz)$_____

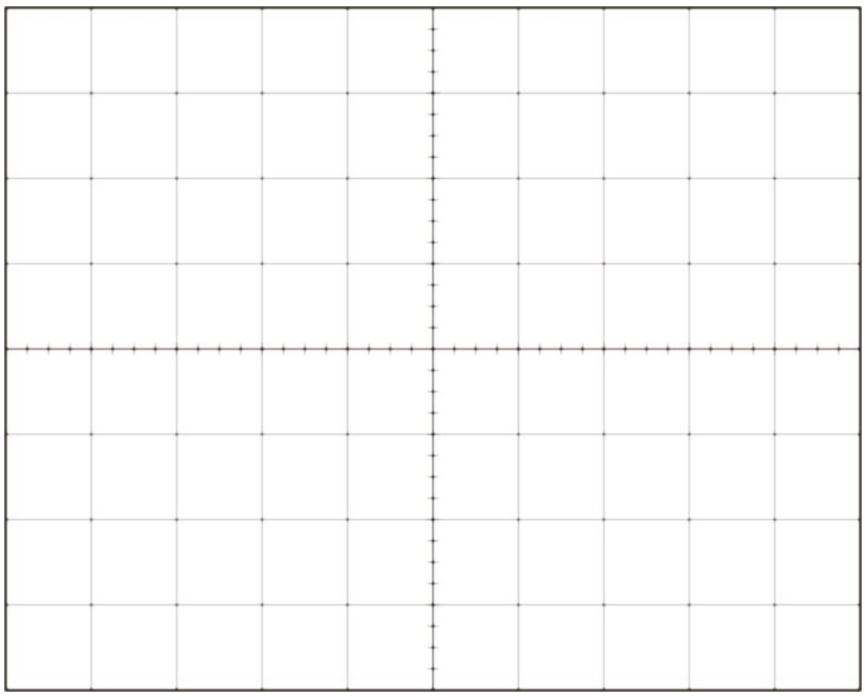
Zadatak 2.2. Punovalni ispravljač



Slika 2.6. Shema punovalnog ispravljača

Na eksperimentalnoj pločici spojite shemu prikazanu na slici 2.6. Na generatoru signala postavite sinusni valni oblik amplitude 10 V i frekvencije 1 kHz. Osciloskopom snimite valni oblik napona na otporniku *R*.

Na sliku 2.7. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite vremensku podjelu (T/div) i naponske podjele (V/div). Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal).



Naponska os: _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/podioku

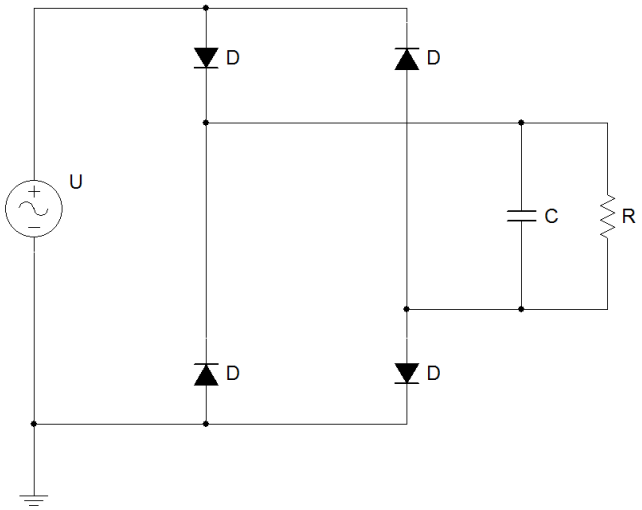
Slika 2.7. Valni oblik na otporu *R* kod punovalnog ispravljača

Kako bismo dobili konstantnu (vremenski nepromjenjivu) vrijednost istosmjernog napona na otporu *R*, potrebno je u shemi dodati kondenzator *C* (slika 2.8.). Potrebna vrijednost kapaciteta kondenzatora *C* ovisi o frekvenciji ulaznog signala, struji otpora *R* i željenoj valovitosti napona. Naime, uvijek će postojati određena valovitost napona na otporu jer se naboj na kondenzatoru troši tijekom negativne poluperiode ulaznog napona *U* te se i napon na kondenzatoru (tj. napon na otporu *R*) smanjuje.

Izračunajte potrebnu vrijednost kapaciteta *C* ako je zadana valovitost napona 10 %. Približnu vrijednost kapaciteta možete odrediti prema izrazu:

$$C = \frac{T}{2 * valovitost * R}$$

gdje je *T* perioda izmjeničnog napona *U*, *R* otpor trošila, a valovitost se unosi na način: 10 % = 0,1.



Slika 2.8. Shema punovalnog ispravljača s izlaznim kondenzatorom

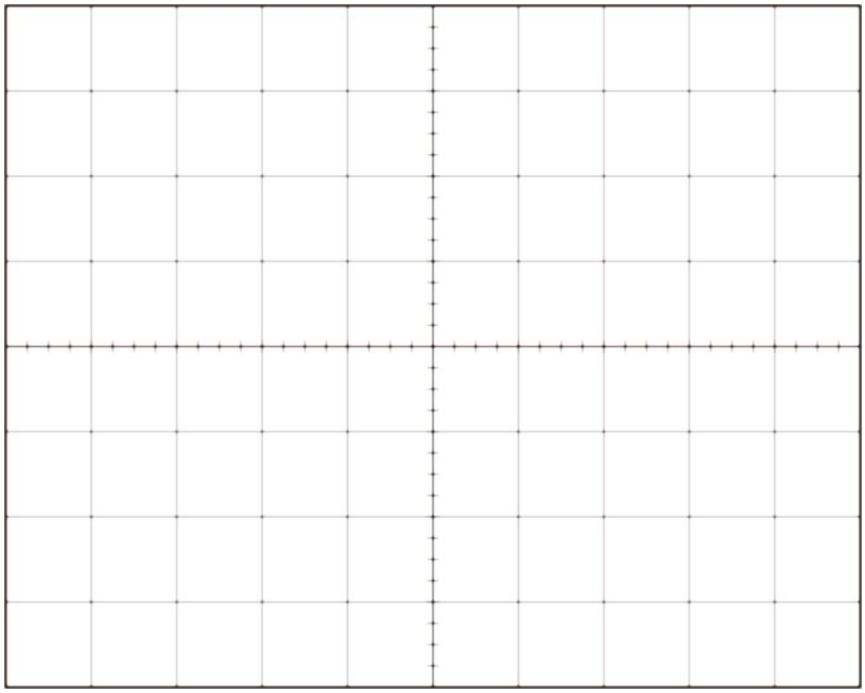
Potrebna vrijednost kapaciteta kondenzatora *C* = _____

Dodajte kondenzator na eksperimentalnu pločicu te osciloskopom snimite valni oblik napona na otporniku *R*.

Na sliku 2.9. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite vremensku podjelu (T/div) i naponske podjele (V/div). Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal).

Korištenjem mjernih opcija (kursori) na osciloskopu izmjerite minimalnu i maksimalnu vrijednost napona na otporu *R* i izračunajte valovitost.

$$valovitost = \frac{U_{Rmax} - U_{Rmin}}{\left(\frac{U_{Rmax} + U_{Rmin}}{2}\right)} = _____$$



Naponska os: _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 2.9. Valni oblik na otporu *R* kod punovalnog ispravljača s dodanim izlaznim kondenzatorom

Usporedite dobivenu valovitost s očekivanom:

_____
_____
_____
_____

Za sinusni valni oblik, izmjerite valovitost izlaznog signala osciloskopa za frekvenciju od 100 Hz i 10 kHz.

$valovitost(@\ 100\ Hz)$_____

$valovitost(@\ 10\ kHz)$_____

Analiza vježbe

a) Koja je razlika između punovalnog i poluvalnog ispravljača?

b) Mogu li poluvalni i punovalni ispravljač dati približno jednak valni oblik na izlazu? Zašto?

c) Koja je uloga kondenzatora koji se spaja paralelno trošilu?

d) Što je valovitost? Može li se u potpunosti eliminirati? Zašto?

3. BIPOLARNI SPOJNI TRANZISTOR - POJAČALO

Zadaća je ove vježbe mjerenje statičkih i dinamičkih svojstava jednostupanjskog pojačala s bipolarnim tranzistorom u spoju zajedničkog emitera. Bipolarni tranzistor omogućava pojačanje ulaznog signala. Spojem zajedničkog emitera postiže se značajno pojačanje struje i napona.

U prvome se dijelu vježbe mjerenjem određuje statička radna točka (SRT) bipolarnog tranzistora. Izmjerena se vrijednost uspoređuje s proračunatom. U drugome dijelu vježbe studenti na eksperimentalnoj pločici spajaju jednostupanjsko pojačalo te mjere njegovo pojačanje i frekvencijsku karakteristiku.

Potrebna laboratorijska oprema

- Eksperimentalna pločica – 1 kom.
- Žice za spajanje na eksperimentalnoj pločici – 1 komplet
- Laboratorijski izvor napajanja – 1 kom.
- Digitalni multimetar – 1 kom.
- Priključni kabel s krokodilskim stezaljkama – 4 kom.
- BNC kabel – 1 kom.
- Generator signala – 1 kom.
- Osciloskop – 1 kom.
- Mjerne sonde – 2 kom.
- Otpornik 100 kΩ – 2 kom.
- Otpornik 100 Ω – 1 kom.
- Tranzistor BC546 – 1 kom.
- Blok kondenzator 1 uF – 2 kom.

Priprema za vježbu

a) Nacrtajte simbole PNP i NPN bipolarnih tranzistora, imenujte elektrode i označite ih kod nacrtanih simbola.

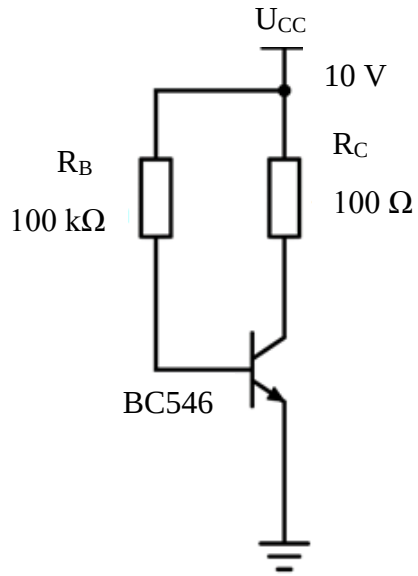
PNP	NPN

b) Definirajte istosmjerni faktor strujnoga pojačanja β u normalnom aktivnom području rada tranzistora.

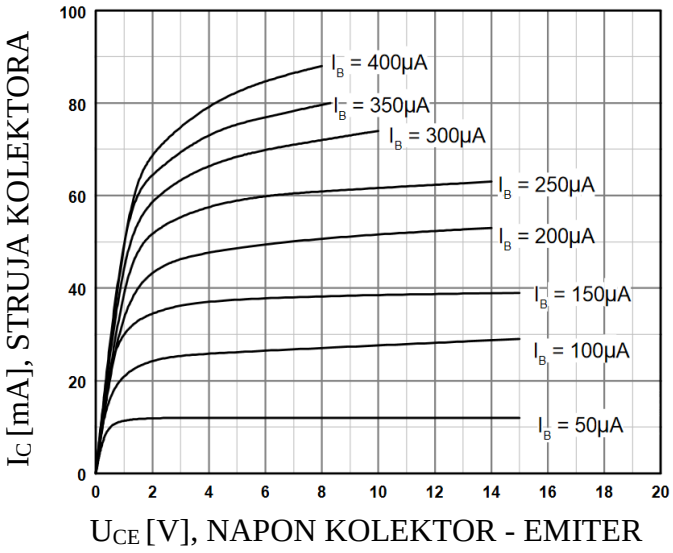
_____
_____
_____
_____

c) Nacrtajte izgled ulaznih i izlaznih strujno-naponskih karakteristika za NPN tranzistor u spoju zajedničkog emitera (ZE).

d) Odredite statičku radnu točku tranzistora čija je shema spoja dana slikom 3.1. Na slici 3.2. prikazane su izlazne karakteristike tranzistora BC546 [2]. Napon U_{BE} = 0,7 V.



Slika 3.1. Shema spoja



Slika 3.2. Izlazne karakteristike tranzistora BC546

Prostor za proračun

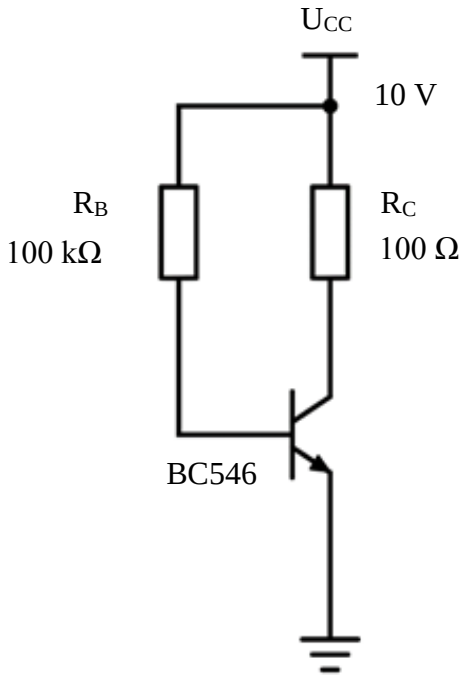
I_B **=**
I_C **=**
U_{CE} **=**

Rad u laboratoriju

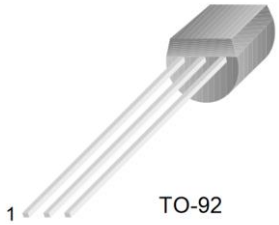
Zadatak 3.1. Mjerenje statičke radne točke

Na eksperimentalnoj pločici spojiti shemu prema slici 3.3. Koristeći multimetar, izmjerite struju baze, struju kolektora i napon kolektor-emiter. Raspored nožica tranzistora BC546 dan je slikom 3.4.

Napomena: struje se mogu mjeriti posredno mjerenjem napona na otpornicima R_B i R_C.



Slika 3.3. Shema spoja za određivanje SRT bipolarnog tranzistora mjerenjem



1. Kolektor 2. Baza 3. Emiter
Slika 3.4. Raspored nožica tranzistora BC546

Rezultati mjerenja:

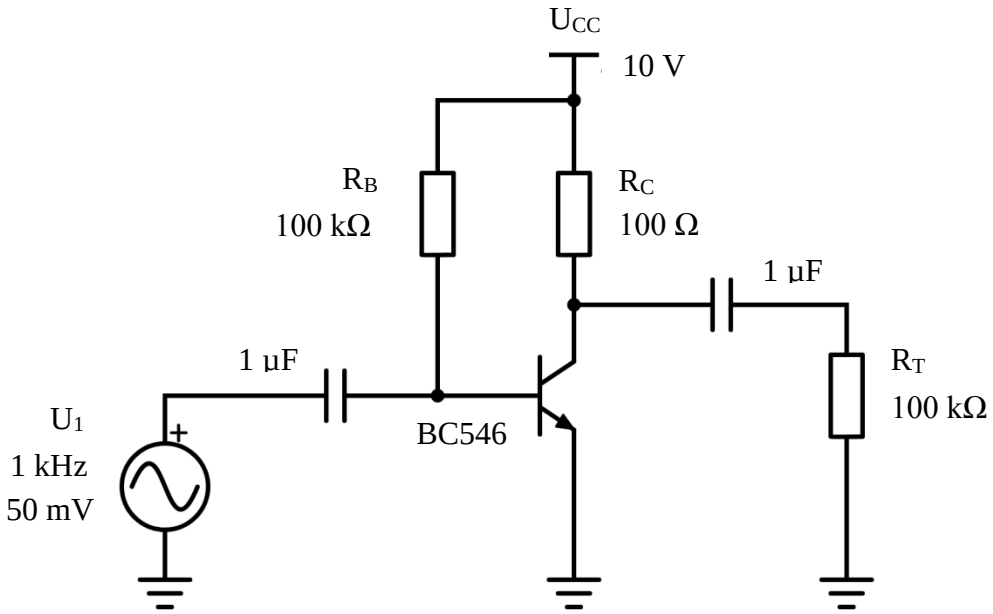
$\boldsymbol{I_B}$ =

$\boldsymbol{I_C}$ =

$\boldsymbol{U_{CE}}$ =

Zadatak 3.2. Mjerenje frekvencijske karakteristike

Na eksperimentalnoj pločici spojiti shemu pojačala prema slici 3.5. Kao izmjenični naponski izvor, koristite generator signala (sinusni valni oblik). Osciloskopom snimite valni oblik napona izvora U_1 i valni oblik napona na otporu R_T. Valne oblike nacrtajte na slici 3.6.



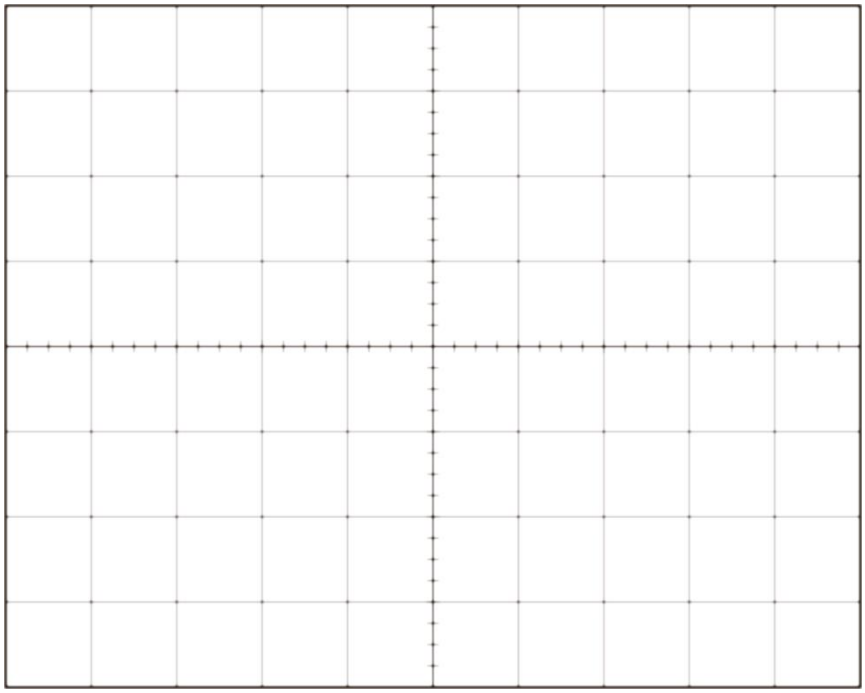
Slika 3.5. Shema spoja pojačala s bipolarnim tranzistorom

Na sliku 3.6. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite vremensku podjelu (T/div) i naponske podjele (V/div) za svaki kanal osciloskopa. Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal) za oba kanala.

Mijenjajte frekvenciju izmjeničnog signala U_1 prema vrijednostima u tablici 3.1. Za svaku frekvenciju osciloskopom izmjerite amplitudu napona na otporu R_T te izračunajte naponsko pojačanje pojačala ($A_V = U_{RT}/U_1$). Frekvencijsku karakteristiku pojačala nacrtajte na slici 3.7.

Tablica 3.1. Vrijednosti napona U_{RT} i naponskog pojačanja A_V za pripadajuće frekvencije

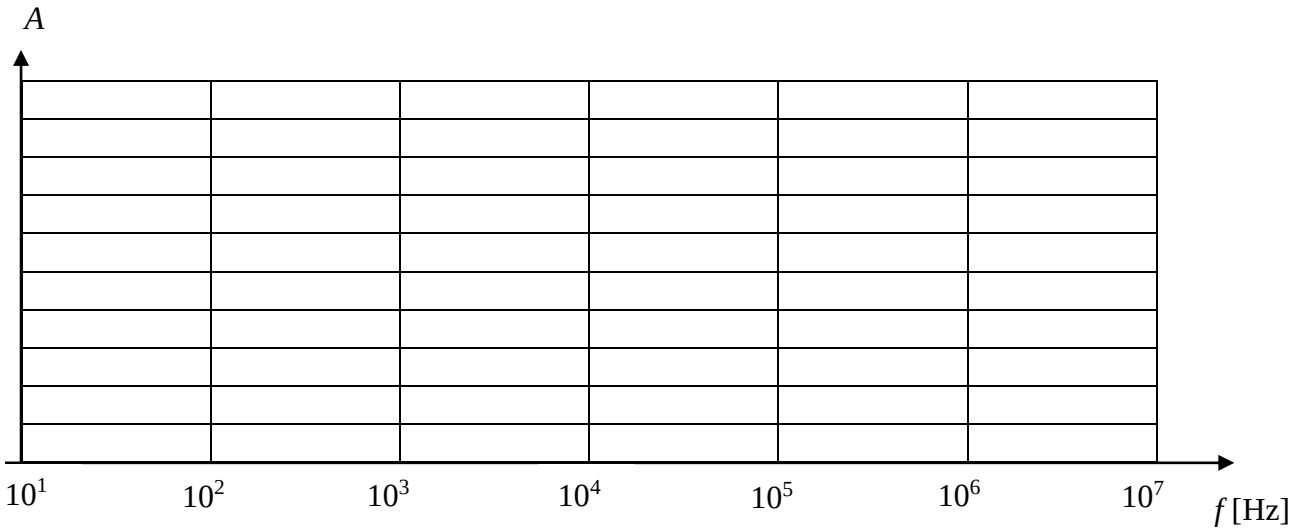
Frekvencija	$\boldsymbol{U_{RT}}$	$\boldsymbol{A_V}$
100 Hz		
1 kHz		
10 kHz		
100 kHz		
1 MHz		



Naponska os (kanal 1): _____ V/podioku Naponska os (kanal 2): _____ V/podioku

Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 3.6. Valni oblici napona izvora U_1 i napona na otporu R_T



Slika 3.7. Frekvencijska karakteristika pojačala

Analiza vježbe

a) Usporedite položaj statičke radne točke dobiven proračunom (priprema) i mjerenjima (rad u laboratoriju).

b) Objasnite postoji li razlika između dobivenog faktora strujnog pojačanja i očekivanog faktora strujnog pojačanja prema *datasheet*-u korištenog tranzistora u zadatku 3.1.

c) Čemu služi otpor R_B u zadatku 3.1? Što bi se dogodilo ako bi se za otpor R_B odabrao otpor manji od 100 kΩ?

d) U kojem frekvencijskom području pojačalo ima približno linearnu frekvencijsku karakteristiku?

4. TRANZISTOR S EFEKTOM POLJA - SKLOPKA

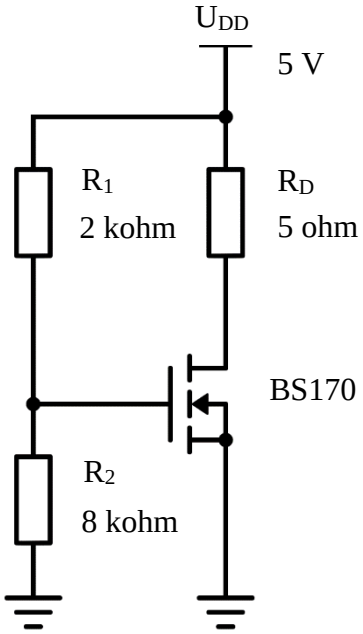
Zadaća je ove vježbe mjerenje statičkih i dinamičkih svojstava MOSFET-a kada se koristi kao sklopka. U prvom zadatku potrebno je odrediti položaj statičke radne točke (SRT) MOSFET-a kada se ponaša kao otvorena te kada se ponaša kao zatvorena sklopka. Drugi zadatak daje primjer korištenja MOSFET-a kao vremenske sklopke. Proračunom se utvrđuje na koji način vremenska konstanta *RC* člana utječe na trajanje uključenosti sklopke. U trećem zadatku uspoređuju se teorijske vrijednosti vremenske konstante *RC* člana s proračunatima.

Potrebna laboratorijska oprema

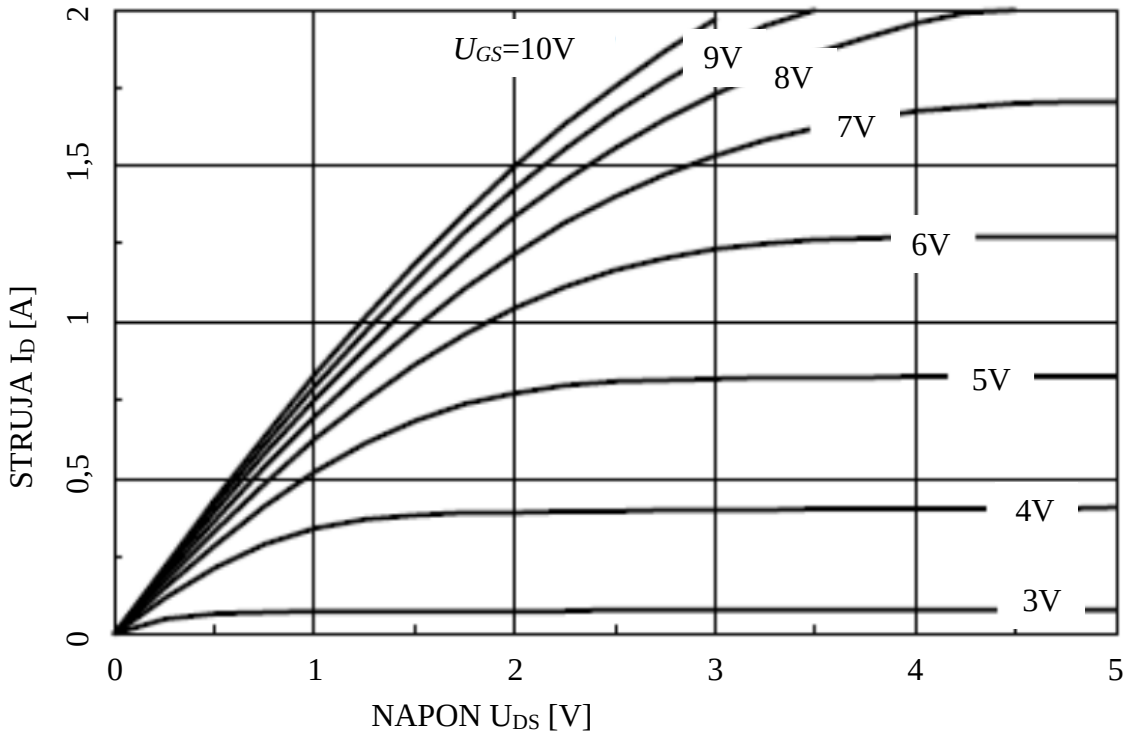
- Eksperimentalna pločica – 1 kom.
- Žice za spajanje na eksperimentalnoj pločici – 1 komplet
- Laboratorijski izvor napajanja – 1 kom.
- Digitalni multimetar – 1 kom.
- Priključni kabel s krokodilskim stezaljkama – 4 kom.
- Osciloskop – 1 kom.
- Mjerne sonde – 2 kom.
- Otpornik 1 kΩ - 1 kom.
- Otpornik 100 kΩ - 1 kom.
- Tranzistor BS170 – 1 kom.
- Blok kondenzator 220μF – 1 kom.
- LED - 1 kom.
- Tipkalo - 1 kom.

Priprema za vježbu

a) Odredite statičku radnu točku tranzistora čija je shema spoja dana slikom 4.1. Na slici 4.2. prikazane su izlazne karakteristike tranzistora BS170 [3].



Slika 4.1. Shema spoja za računsko određivanje SRT kod MOSFET-a



Slika 4.2. Izlazne karakteristike tranzistora BS170

Prostor za proračun

$\boldsymbol{I_D}$ =
$\boldsymbol{U_{GS}}$ =
$\boldsymbol{U_{DS}}$ =

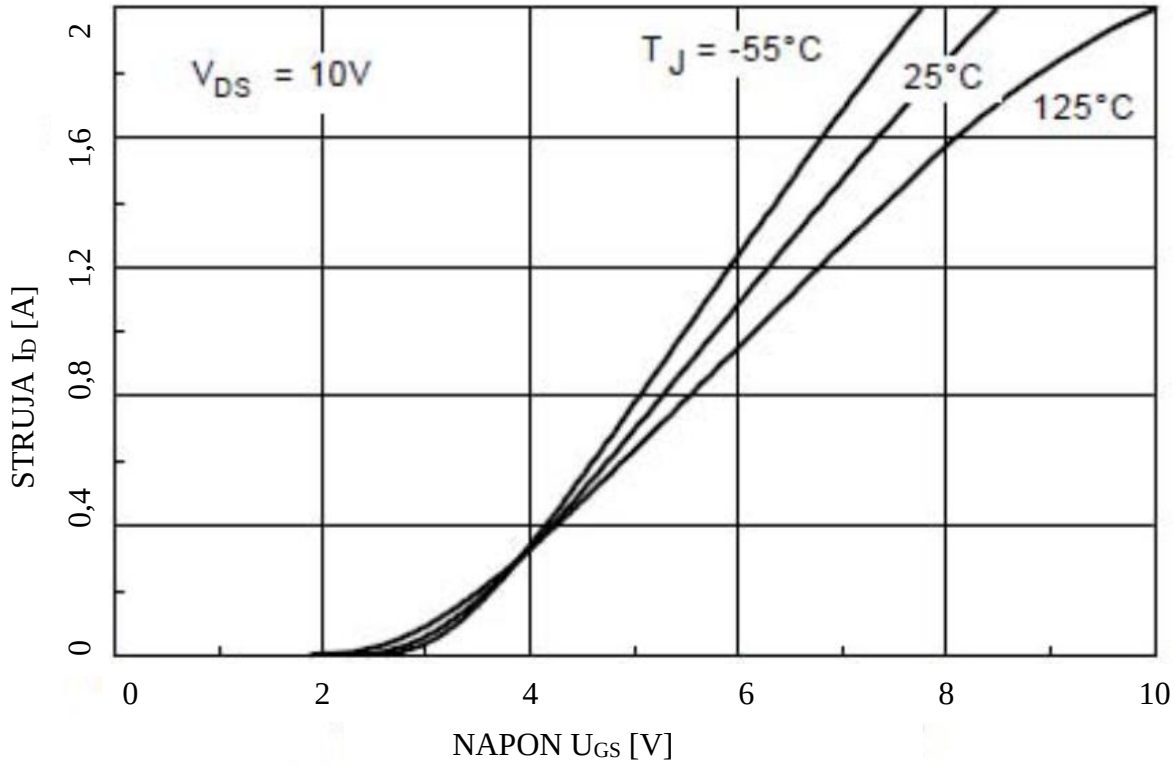
b) Nacrtajte simbole unipolarnih tranzistora.

N-JFET	P-JFET	N-MOSFET osiromašeni	P-MOSFET osiromašeni
	P-MOSFET obogaćeni	N-MOSFET obogaćeni	

c) Objasnite razliku u načelu rada unipolarnih i bipolarnih tranzistora.

_____
_____
_____
_____

d) Iz prijenosne karakteristike tranzistora (slika 4.3.), odredite napon praga MOSFET-a.



Slika 4.3. Prijenosna karakteristika MOSFET-a

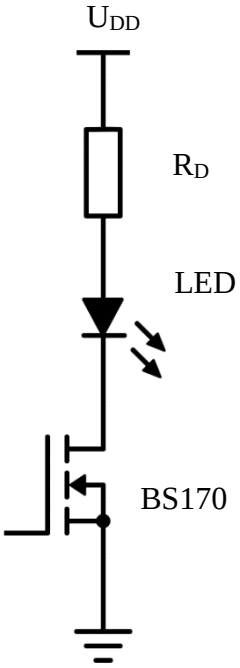
Napon praga:_____

e) Nacrtajte izlaznu strujno-naponsku karakteristiku za N-kanalni obogaćeni MOSFET i označite područja rada.

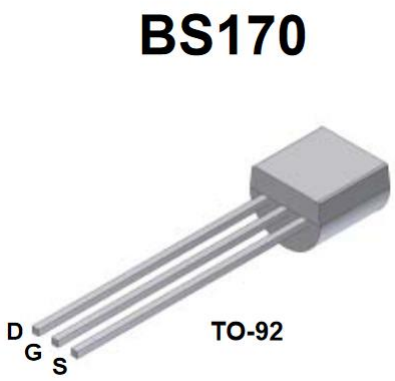
Rad u laboratoriju

Zadatak 4.1. Položaj statičke radne točke

Na eksperimentalnoj pločici spojiti shemu prema slici 4.4. Napon je napajanja U_{DD} = 5 V, R_D=1 kΩ. Izmjeriti statičku radnu točku za dva slučaja: upravljačka elektroda spojena na napon napajanja U_{DD} = 5 V i upravljačka elektroda spojena na masu (0 V). Raspored nožica tranzistora BS170 dan je slikom 4.5.



Slika 4.4. Shema spoja



Slika 4.5. Tranzistor BS170

Položaj statičke radne točke kad je tranzistor otvorena sklopka:

U_{GS} = _____ V

U_{DS} = _____ V

I_D = _____ mA

Položaj statičke radne točke kad je tranzistor zatvorena sklopka:

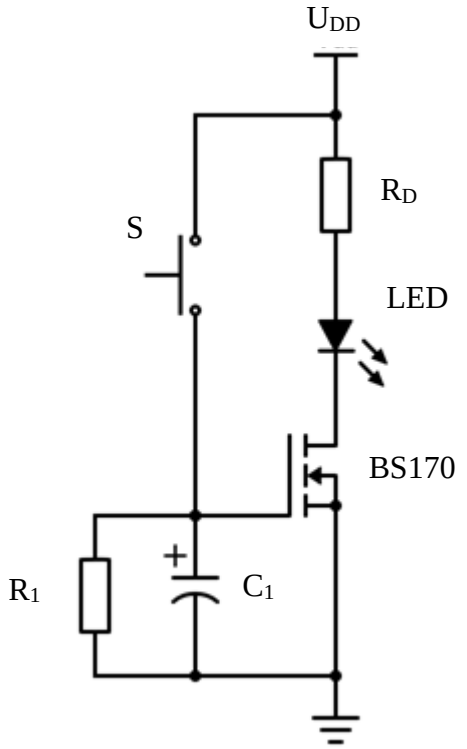
U_{GS} = _____ V

U_{DS} = _____ V

I_D = _____ mA

Zadatak 4.2. Vremenska sklopka

Na eksperimentalnoj pločici spojiti shemu prema slici 4.6. Napon je napajanja U_{DD} = 5 V, R_1=100 kΩ, C_1=220 µF, R_D=1 kΩ.



Slika 4.6. Shema spoja - MOSFET kao vremenska sklopka

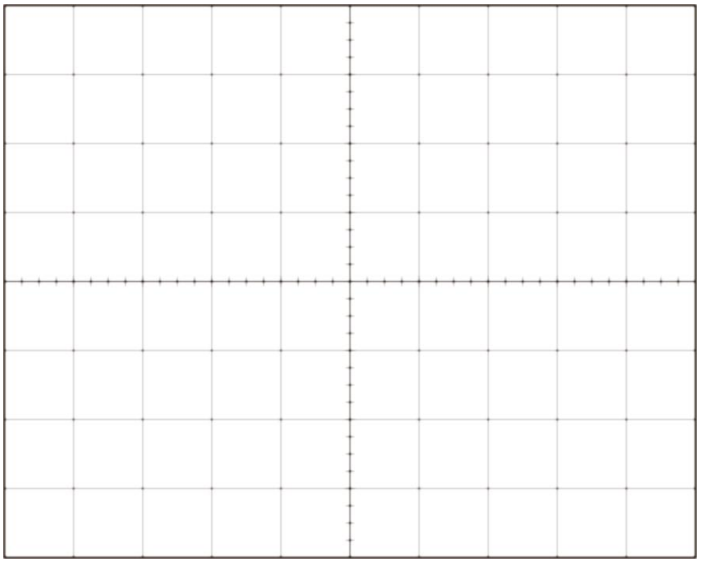
Nakon pritiska tipkala *S*, MOSFET će ostati uključen još neko vrijeme. To se vrijeme može odrediti kao:

$$t = -R_1 C_1 ln\left(\frac{U_{TH}}{U_{DD}}\right)$$

Osciloskopom snimite napone U_{GS} i U_{DS}. Rad osciloskopa postavite na „roll“ način rada (izbornik „MENU“ kod horizontalnih opcija osciloskopa). Vremensku podjelu postavite na način da osciloskop snimi cijeli vremenski period tijekom kojega vremenska sklopka ostaje uključena.

Na sliku 4.7. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite vremensku podjelu (T/div) i naponske podjele (V/div) za svaki kanal osciloskopa. Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal) za oba kanala. Odredite koliko vremena sklopka ostaje uključena nakon pritiska tipkala S.

t = _____



Naponska os (kanal 1): _____ V/podioku Naponska os (kanal 2): _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 4.7. Valni oblici napona U_{GS} i U_{DS}

Zadatak 4.3.

Odspojite osciloskop i zamijenite otpornik R_1 otporom od 1 MΩ. Korištenjem sata (štoperice) izmjerite koliko vremena sklopka ostaje uključena. Mjerenje ponovite 3 puta te izračunajte srednju vrijednost.

t = _____

Odredite vrijeme uključenosti sklopke za slučaj kad je na upravljačku elektrodu tranzistora spojen samo kondenzator C_1, odnosno samo otpornik R_1. Zapišite opažanja.

_____
_____
_____
_____
_____
_____

Analiza vježbe

a) Koja se područja rada koriste kad MOSFET radi kao sklopka?

b) Je li MOSFET naponski ili strujno upravljan? Objasnite.

c) Kako napon *RC* člana utječe na trajanje vođenja MOSFET-a?

d) Na koji se način može produljiti vremenska konstanta *RC* člana?

5. OPTOELEKTRONIKA - FOTOTRANZISTOR

Zadaća je ove vježbe upoznavanje s principom rada, karakteristikama i primjenom fototranzistora. U prvom zadatku potrebno je osciloskopom snimiti izlazne karakteristike fototranzistora. Snimanje se vrši pomoću X-Y načina rada osciloskopa. U drugom zadatku studenti na eksperimentalnoj pločici spajaju sklop za detekciju razine osvjetljenja. Korištenjem fototranzistora omogućava se uključivanje svjetleće diode u uvjetima slabog ambijentalnog osvjetljenja, a isključivanje u uvjetima jačeg osvjetljenja. U zadatku se, osim fototranzistora, koristi i MOSFET te se trenutak uključivanja, odnosno isključivanja LED diode, uspoređuje i s naponom praga MOSFET-a.

Potrebna laboratorijska oprema

- Eksperimentalna pločica – 1 kom.
- Žice za spajanje na eksperimentalnoj pločici – 1 komplet
- Laboratorijski izvor napajanja – 1 kom.
- Digitalni multimetar – 1 kom.
- Priključni kabel s krokodilskim stezaljkama – 4 kom.
- BNC kabel – 1 kom.
- Generator signala – 1 kom.
- Osciloskop – 1 kom.
- Mjerne sonde – 2 kom.
- Otpornik 10 kΩ – 1 kom.
- Otpornik 1 kΩ – 1 kom.
- Tranzistor BS170 – 1 kom.
- LED - 1 kom.
- Tranzistor BPW 40 – 1 kom.

Priprema za vježbu

a) Nacrtajte simbol NPN i PNP fototranzistora.

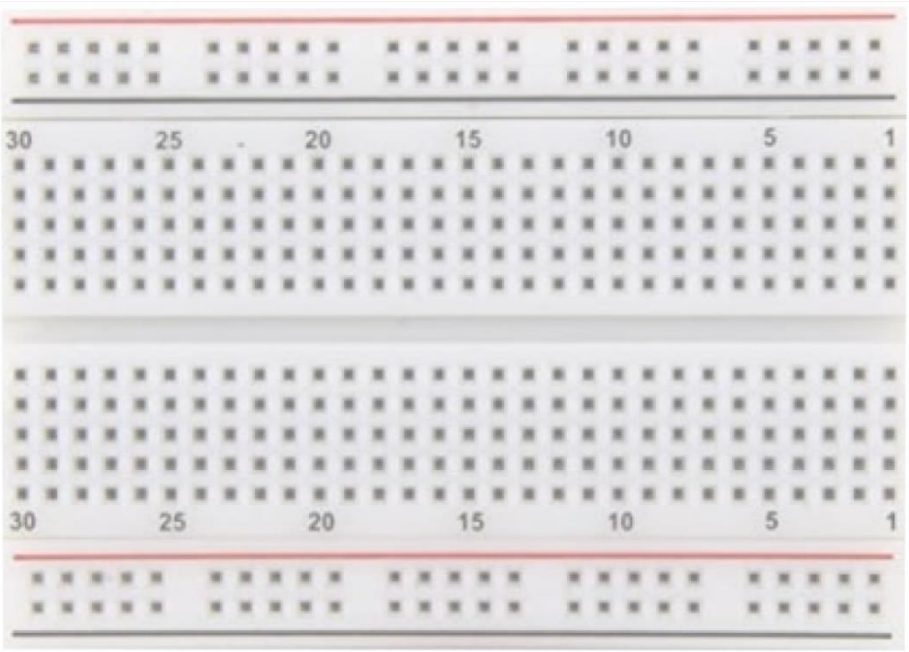
b) Koje su razlike i sličnosti između NPN bipolarnog tranzistora i NPN fototranzistora?

_____
_____
_____
_____

c) Čemu je analogna struja baze NPN bipolarnog tranzistora u usporedbi s NPN fototranzistorom? Zašto?

_____
_____
_____
_____

d) Na slici 5.1. napravite plan spajanja spoja prikazanog slikom 5.4.

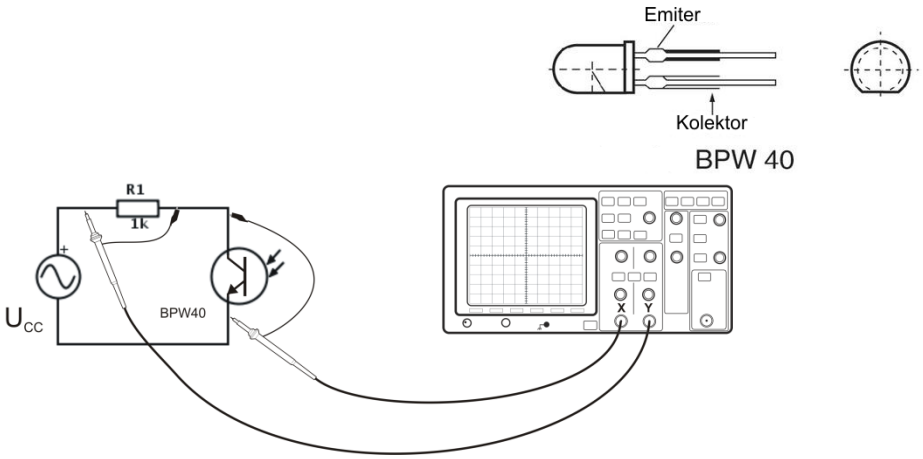


Slika 5.1. Plan spajanja sheme spoja

Rad u laboratoriju

Zadatak 5.1. Fototranzistor

Spojiti sklop za mjerenje izlaznih karakteristika prikazan na slici 5.2. koristeći laboratorijske modele i fototranzistor BPW40 [4].



Slika 5.2. Sklop za mjerenje izlaznih karakteristika fototranzistora

Namjestite sljedeće postavke laboratorijske opreme

- Osciloskop:
    - na X os osciloskopa priključiti napon U_{CE} – invertirati kanal;
    - na Y os osciloskopa priključiti pad napona na otporniku R_1;
    - postaviti vremensku os na način da su prikazane (približno) 2 periode signala;
    - potenciometrima „Position“ podesiti X i Y kanal na 0 V;
    - uključiti X-Y način rada.

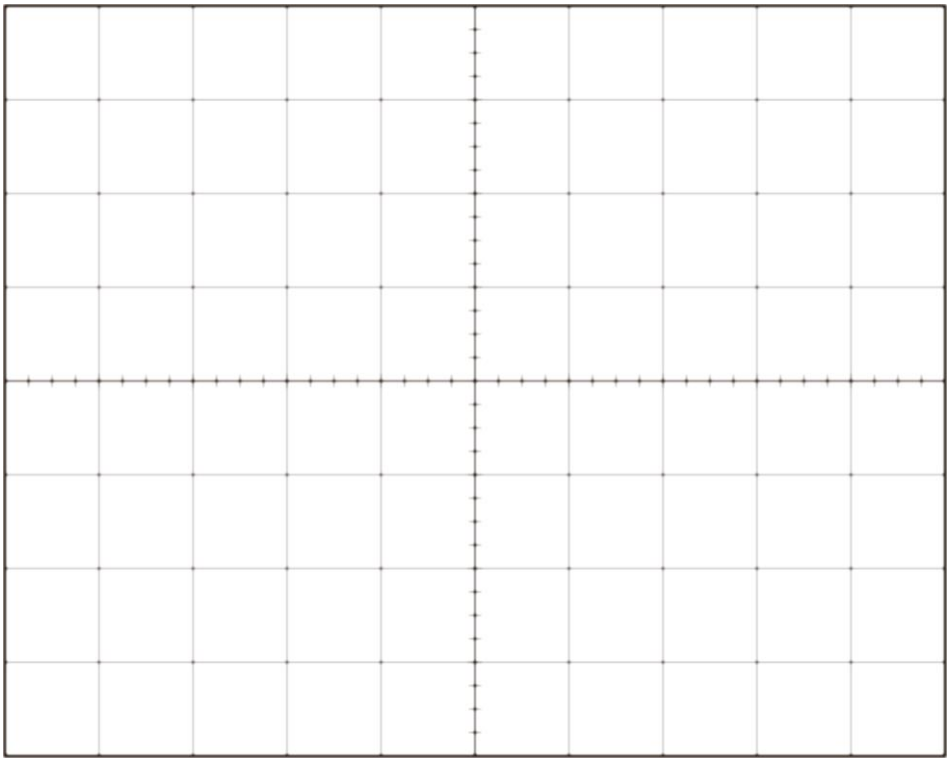
- Generator signala U_{CC}:
    - postaviti parametre: f = 100 Hz, U_{min} = 0 V, U_{max} = 10 V, pilasti valni oblik.

Fototranzistor osvijetlite vanjskim izvorom svjetlosti i promatrajte što se događa s izlaznim karakteristikama kako se izvor svjetlosti približava fototranzistoru. Za proizvoljnu količinu osvjetljenja snimite (zaustavite) prikaz na zaslonu osciloskopa.

Na sliku 5.3. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite naponske podjele (V/div) za svaki kanal osciloskopa. Masu (nulti potencijal) za oba kanala postaviti u nulu.

Iz specifikacije tranzistora BPW40 odredite osvijetljenost u Lux.

Lux:_____

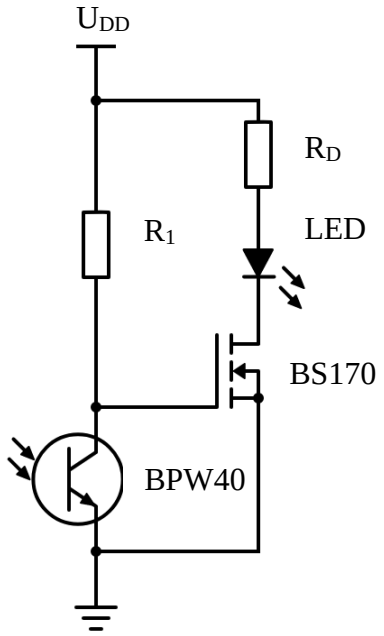


Naponska (X) os: _____ V/podioku Strujna (Y) os: _____ mA/podioku

Slika 5.3. Grafički prikaz izlaznih karakteristika fototranzistora

Zadatak 5.2. Detekcija razine osvjetljenja

Na eksperimentalnoj pločici spojiti shemu prema slici 5.4. Napon je napajanja U_{DD} = 5 V, R_1 = 10 kΩ, R_D = 1 kΩ. Raspored nožica tranzistora BPW40 dan je slikom 5.2.



Slika 5.4. Shema spoja sklopa za detekciju razine osvjetljenja

Mijenjajte razinu osvjetljenja fototranzistora BPW40 i zapišite zapažanja.

_____
_____
_____
_____

Izmjerite kolika je vrijednost napona U_{GS} za slučajeve kad LED dioda ne emitira svjetlost, počinje emitirati svjetlost i emitira svjetlost.

Stanje LED diode	U_{GS} [V]
ne emitira svjetlost	
počinje emitirati svjetlost	
emitira svjetlost	

Dobivene rezultate usporedite s naponom praga MOSFET-a.

_____
_____
_____
_____

Analiza vježbe

a) Na koji način osvjetljenje utječe na strujno-naponske karakteristike fototranzistora?

_____
_____
_____
_____

b) Koja je veličina kod bipolarnog spojnog tranzistora ekvivalentna količini svjetla kod fototranzistora?

_____
_____
_____
_____

c) Na koji se način fototranzistor koristi za detekciju razine osvjetljenja u drugom zadatku?

_____
_____
_____
_____

d) Promjena koje komponente u shemi prikazanoj slikom 5.4. izravno utječe na promjenu osjetljivosti sklopa za detekciju razine osvjetljenja?

_____
_____
_____
_____

6. CMOS SKLOPOVI

U ovoj se laboratorijskoj vježbi proučava rad osnovnih sklopova izvedenih u CMOS tehnologiji. Proučiti *datasheet* za integrirani sklop CD4007. U *datasheet* dokumentu obratiti pažnju na raspored priključaka/pinova integriranog sklopa. U vježbi je obrađen jedan digitalni CMOS sklop (logička NE vrata) i jedan analogni CMOS logički sklop (prstenasti oscilator).

Potrebna laboratorijska oprema

- Eksperimentalna pločica – 1 kom.
- Žice za spajanje na eksperimentalnoj pločici – 1 komplet
- Laboratorijski izvor napajanja – 1 kom.
- Priključni kabel s krokodilskim stezaljkama – 4 kom.
- BNC kabel – 1 kom.
- Generator signala – 1 kom.
- Osciloskop – 1 kom.
- Mjerne sonde – 2 kom.
- Integrirani sklop CD4007 – 1 kom.

Priprema za vježbu

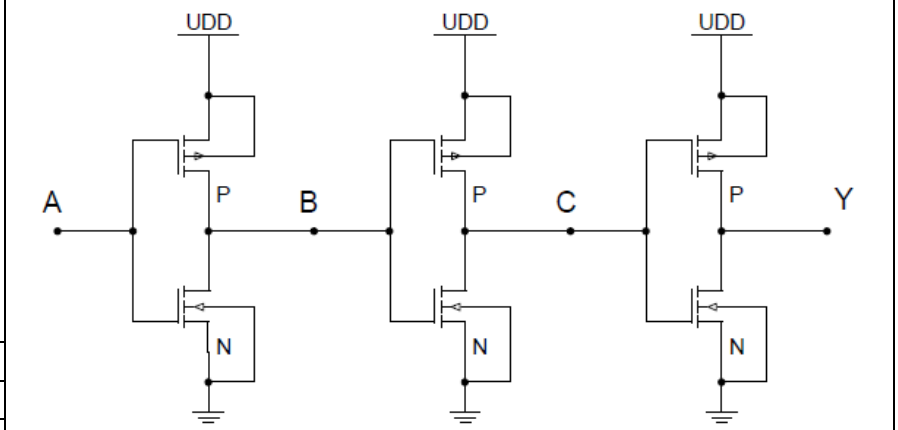
a) Logička NE vrata

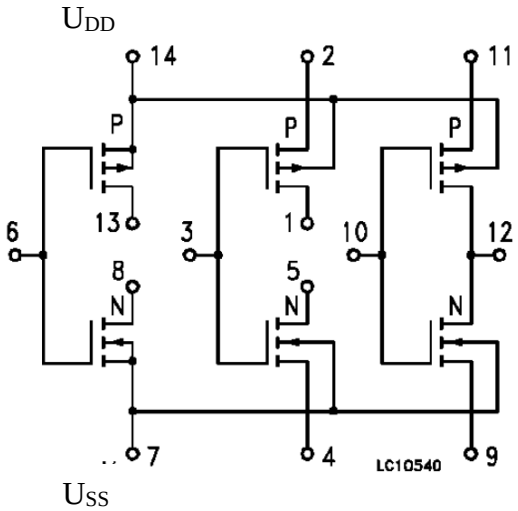
Popuniti tablicu istine za logička NE vrata. Na osnovu sheme sklopa prikazane u tablici 6.1. napraviti izvedbu zadanih logičkih vrata pomoću integriranog sklopa CD4007 [5] (na slici 6.1. dodati potrebne spojeve da bi se realizirala zadana logička vrata).

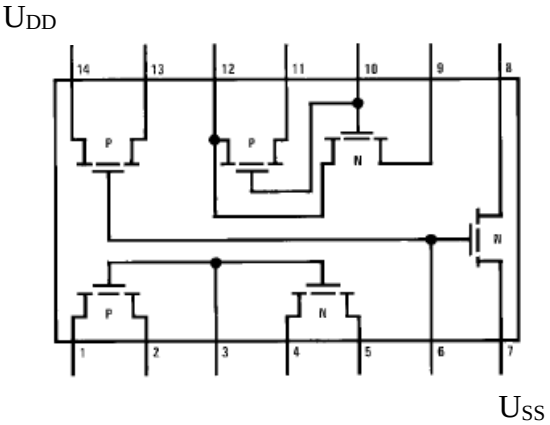
Napomena: Shema u tablici 6.1 prikazuje tri serijski spojena logička NE vrata.

Tablica 6.1. Tablica istine i shema logičkih NE vrata

NE	
A	Y



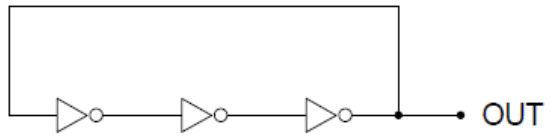
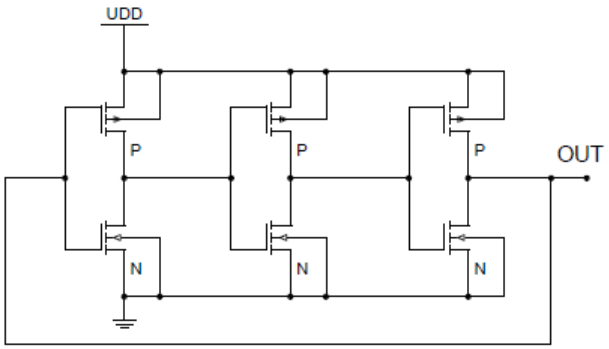




Slika 6.1. Izvedba logičkih vrata NE korištenjem integriranog sklopa CD4007

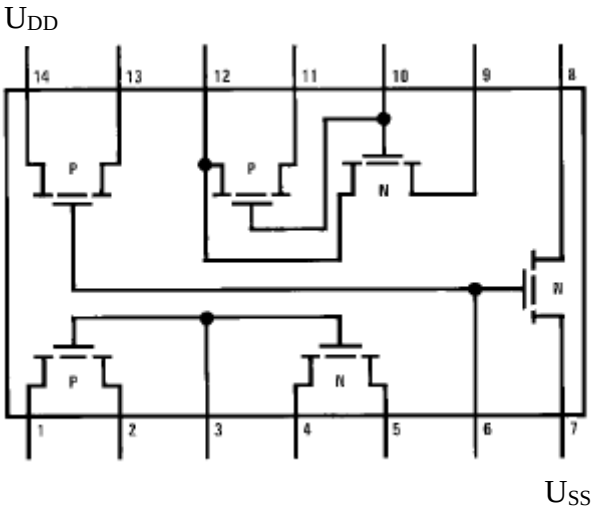
b) Prstenasti oscilator (eng. *ring oscillator*)

Generator pravokutnog signala sastavni je dio svakog sekvencijalnog integriranog sklopa. Ovaj sklop određuje frekvenciju rada cijelog sklopa i zato izvedba mora biti pouzdana s unaprijed dogovorenim granicama digitalnog signala koji sklop koristi za obavljanje logičkih i aritmetičkih operacija. Parametri poput *slew rate-a* ili naponskih razina logičkih stanja moraju biti ispravno dimenzionirani da bi složen sustav poput mikroprocesora mogao obavljati svoju funkciju. Danas se generator pravokutnog signala u potpunosti integrira sa sklopom, tj. generator se signala nalazi na istoj pločici silicija i u istom kućištu.

Prstenasti oscilator	Shema
	

Slika 6.2. Prstenasti oscilator

Na osnovu sheme prstenastog oscilatora (slika 6.2.) napraviti izvedbu pomoću integriranog sklopa CD4007 (na slici 6.3. dodati potrebne spojeve da bi se realizirao zadani sklop).



Slika 6.3. Izvedba prstenastog oscilatora sklopa korištenjem integriranog sklopa CD4007

Rad na vježbi

Zadatak 6.1. Logička vrata NE

Na eksperimentalnoj pločici spojiti tri serijski spojena NE logička vrata (prema shemi u tablici 6.1.). Napon napajanja V_{DD} postaviti na 10 V. Ulaz integriranog sklopa spojiti na generator signala, postaviti pravokutni signal frekvencije 100 kHz (U_{min} = 0 V, U_{max} = 10 V). Za sklop izmjeriti vrijeme pada i vrijeme porasta izlaznog signala (Y).

t_f = _____ t_r = _____

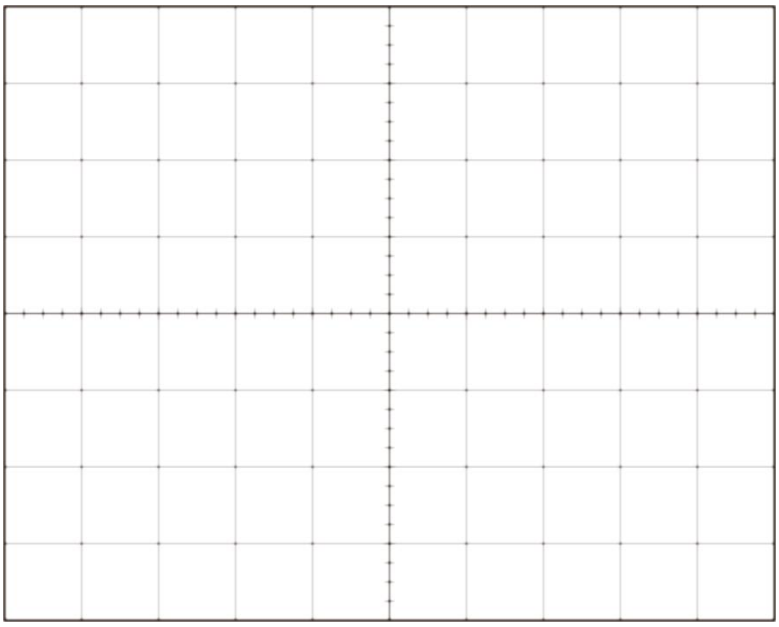
Izmjeriti vrijeme kašnjenja u točkama B, C i Y s obzirom na ulazni signal (točka A).

Tablica 6.2. Mjerenje kašnjenja kod NE sklopa

Točka	Vrijeme kašnjenja
B	
C	
Y	

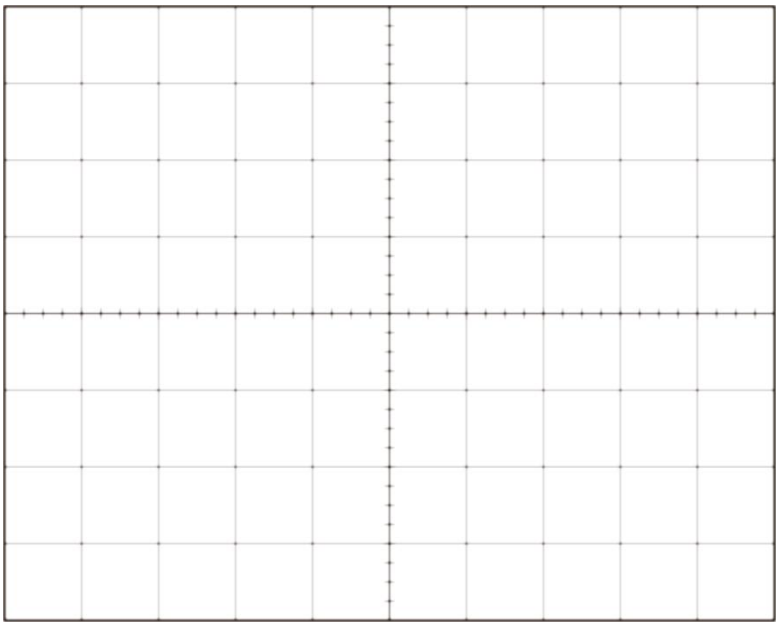
Za frekvencije 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz, osciloskopom snimiti valne oblike ulaznog signala (točka A) i izlaza prvog invertora (točka B).

Na slike 6.4., 6.5. i 6.6. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa (za frekvencije 100 kHz, 1 MHz i 10 MHz) i označite vremensku podjelu (T/div) i naponske podjele (V/div) za svaki kanal osciloskopa. Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal) za oba kanala.



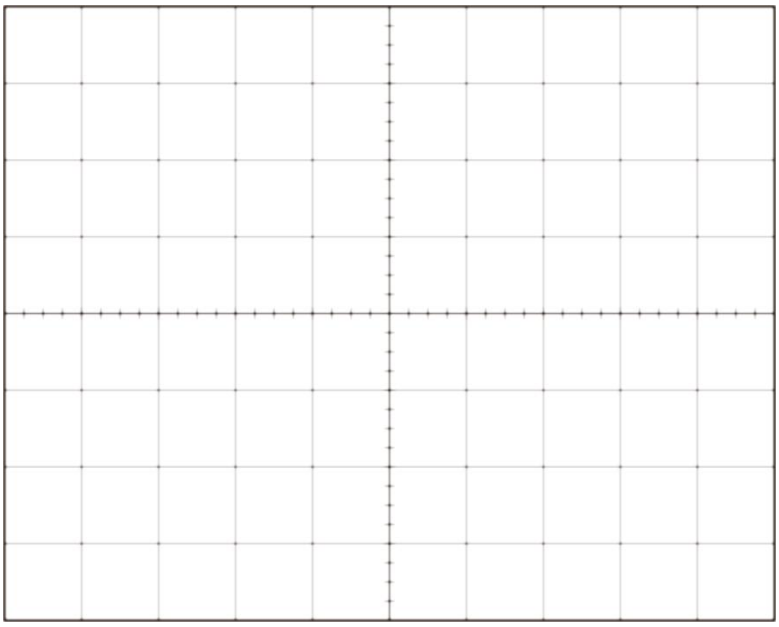
Naponska os (kanal 1): _____ V/podioku Naponska os (kanal 2): _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 6.4. Valni oblici u točkama A i B pri frekvenciji 100 kHz



Naponska os (kanal 1): _____ V/podioku Naponska os (kanal 2): _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 6.5. Valni oblici u točkama A i B pri frekvenciji 1 MHz



Naponska os (kanal 1): _____ V/podioku Naponska os (kanal 2): _____ V/podioku
Vremenska os: _____ ms/ podioku

Slika 6.6. Valni oblici u točkama A i B pri frekvenciji 10 MHz

Zadatak 6.2. Prstenasti oscilator

Na eksperimentalnoj pločici realizirati prstenasti oscilator (prema slici 6.2.). Napon napajanja U_{DD} postaviti na 10 V. Osciloskopom snimiti valni oblik signala na izlazu sklopa.

Na sliku 6.7. precrtajte prikaz sa zaslona osciloskopa i označite vremensku podjelu (T/div) i naponsku podjelu (V/div). Obavezno označiti gdje se nalazi masa (nulti potencijal) kanala.

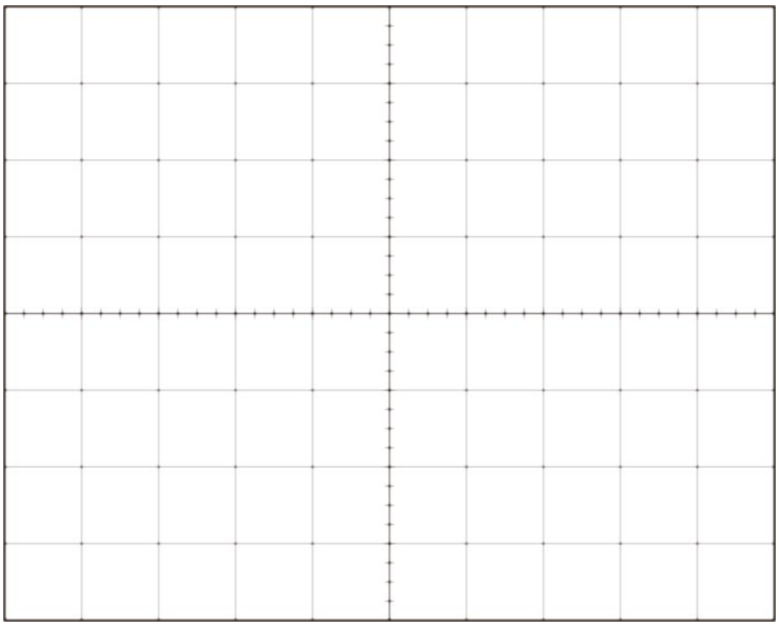
Izmjerite frekvenciju izlaznog signala prstenastog oscilatora i vrijednost unesite u tablicu 6.3. Usporedite izmjerenu vrijednost s proračunom. Frekvencija prstenastog oscilatora određuje se prema izrazu:

$$f = \frac{1}{2 \cdot n \cdot t_d},$$

gdje je n broj invertera (logičkih NE vrata) u sklopu, a t_d vrijeme kašnjenja invertera.

Tablica 6.3. Frekvencija izlaznog signala prstenastog oscilatora

	Frekvencija *f*
Mjerenje	
Proračun	



Naponska os: _____ V/podioku Vremenska os: _____ ms/podioku

Slika 6.7. Valni oblik signala na izlazu prstenastog oscilatora, U_{DD} = 10 V

Analiza vježbe

a) Kako se logički sklop NE ponaša u točki „C“?

b) U kojoj točki (B, C ili Y) sklop NE ima najmanje kašnjenje i zašto?

c) Što se događa kod NE sklopa s povećanjem frekvencije ulaznog signala?

d) Što označavaju V_{OL} *i* V_{OH} u *datasheet-u*? Jesu li izmjerene razine u skladu s podacima iz *datasheet-a*?

LITERATURA

[1] Vishay General Semiconductor, „General Purpose Plastic Rectifier“, 1N4007 datasheet, Document Number 88503, 2020
[2] Fairchild Semiconductor, „BC546/547/548/549/550“, BC546 datasheet, 2002.
[3] Onsemi, „Field Effect Transistor – N-Channel, Enhancement Mode“, BS170 datasheet, 2021.
[4] Telefunken Electronic, „Silicon NPN Epitaxial Planar Phototransistor“, BPW40 datasheet
[5] Texas Instruments, „CMOS Dual Complementary Pair Plus Inverter“, CD4007 datasheet, 2003.

PRILOZI

P.1. Osciloskop

Osciloskop (slika P.1a) je elektronički mjerni uređaj koji na svom zaslonu prikazuje vizualnu informaciju o veličini koju mjerimo. To je najčešće svjetleći trag na ekranu koji pokazuje tok vrijednosti mjerene veličine u vremenu ili u ovisnosti o drugoj neovisnoj promjenjivoj veličini.



a) osciloskop



b) mjerne sonde

Slika P.1. Izgled osciloskopa i sondi za mjerenje

Zaslon osciloskopa prikazuje funkciju $y = f(x)$. Električna veličina predstavljena varijablom y jest amplituda (Y – os koordinatnog sustava) napona ***Uy*** **[V]**.Veličina predstavljena varijablom x (X – os koordinatnog sustava) najčešće je vrijeme t [s]. Prikaz mjerene veličine y u funkciji vremena (x je t) odgovara ***Y-t*** načinu rada osciloskopa. Ovaj način rada primjenjuje se radi prikaza mjerene veličine u vremenu. Priključivanjem dviju mjerenih veličina na osciloskop (osciloskop ima najmanje 2 kanala) može se promatrati njihova međusobna ovisnost. Tada prvi kanal osciloskopa predstavlja X – os koordinatnog sutava, a drugi kanal Y – os. Ovakav način rada naziva se ***X-Y*** način rada osciloskopa. Koristi se u prikazu odnosa dviju mjerenih veličina, odnosno utjecaja promjene jedne na drugu. Osciloskop se u mjerni krug najčešće priključuje primjenom (naponske) sonde (eng. *probe*), slika P.1b).

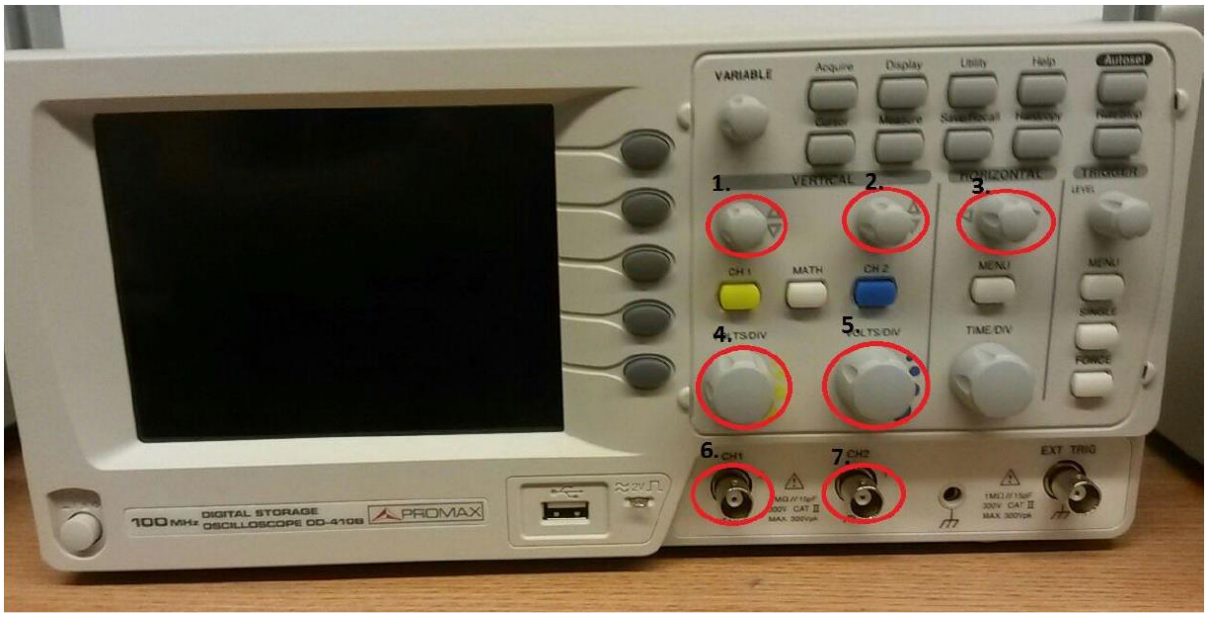
U nastavku su dane upute za korištenje osnovnih funkcionalnosti osciloskopa.

Osciloskop se uključuje pristiskom tipke u donjem lijevom kutu uređaja (označeno crvenom bojom), slika P.2.



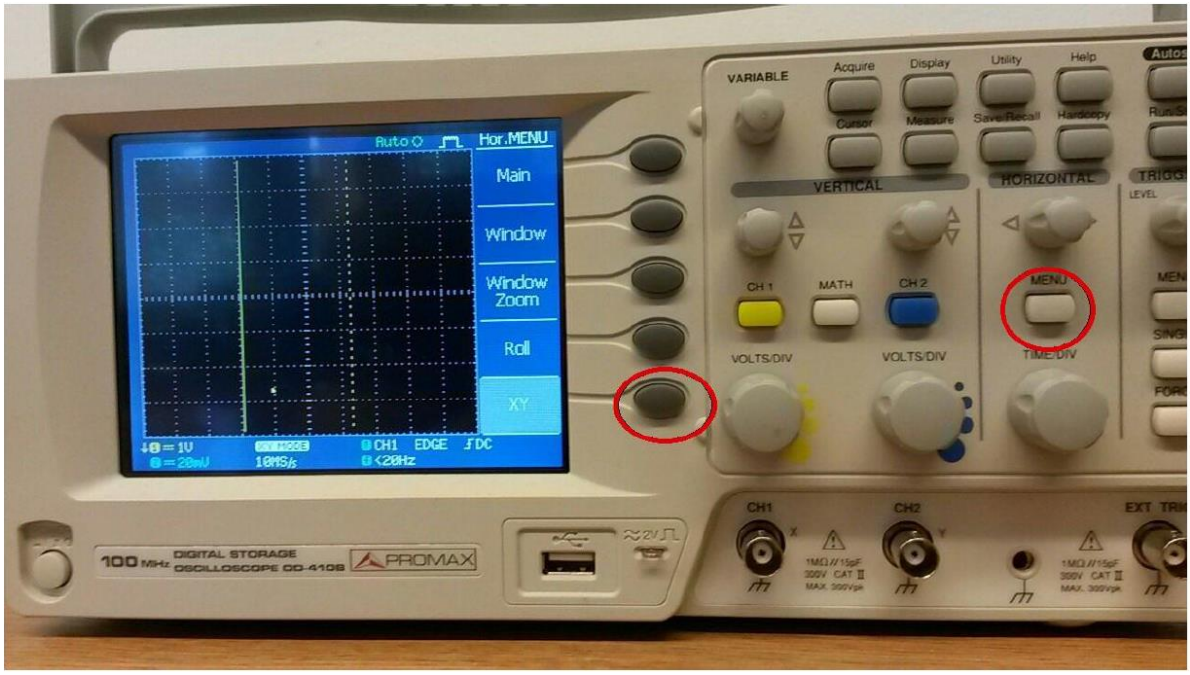
Slika P.2. Tipka za uključivanje/isključivanje osciloskopa

Da bi se mogao mjeriti naponski signal potrebno je koristiti sonde za osciloskop (slika P.1.b), koje se spajaju na priključak prvog i/ili drugog kanala (označeno brojevima 6 i 7 na slici P.3). Za svaki kanal mogu se odvojeno podešavati naponska podjela (potenciometar 4 za kanal 1, potenciometar 5 za kanal 2) i vertikalni otklon (potenciometar 1 za kanal 1, potenciometar 2 za kanal 2). Horizontalna os je zajednička za oba kanala i njena vremenska podjela se podešava potenciometrom 3.



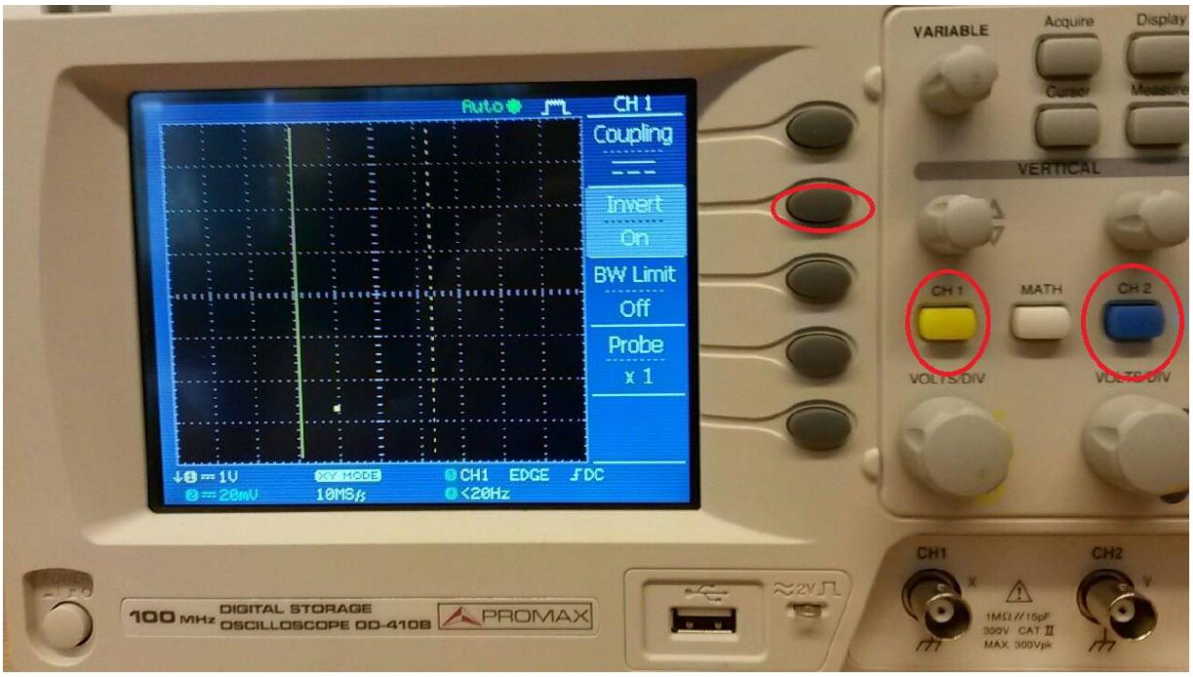
Slika P.3. Osnovne postavke prikaza osciloskopa

Osciloskop ima tri osnovna načina rada koji se koriste u laboratorijskim vježbama: glavni način rada (Main), vremenski posmačan način rada (Roll) i XY način rada. Odabir željenog načina rada vrši se pritiskom tipke *MENU* te nakon toga odabirom željenog načina rada pomoću soft tipku uz zaslon osciloskopa, označeno crvenom bojom na slici P.4.



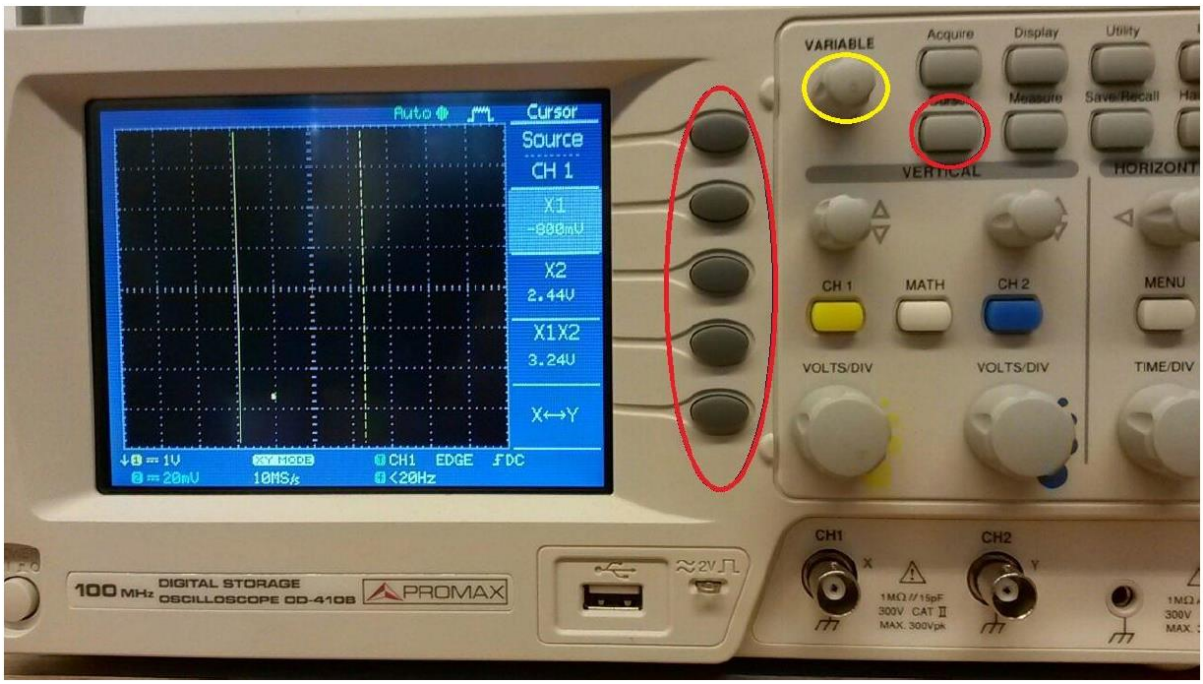
Slika P.4. Tipke za odabir načina rada

Invertiranje kanala vrši se u dva koraka. Prvo se odabire željeni kanal (žuta tipka za kanal 1 ili X kanal, odnosno plava tipka za kanal 2 ili Y kanal). Nakon odabira kanala, invertiranje se vrši pritiskom na soft tipku uz rub zaslona, slika P.5.



Slika P.5. Invertiranje kanala osciloskopa

Mjerenje naponskih i vremenskih veličina može se vršiti korištenjem pokazivača (engl. *cursors*). Slika P.6. prikazuje koje se tipke osciloskopa koriste u radu s pokazivačima.



Slika P.6. Mjerenje naponskih i vremenskih veličina korištenjem pokazivača

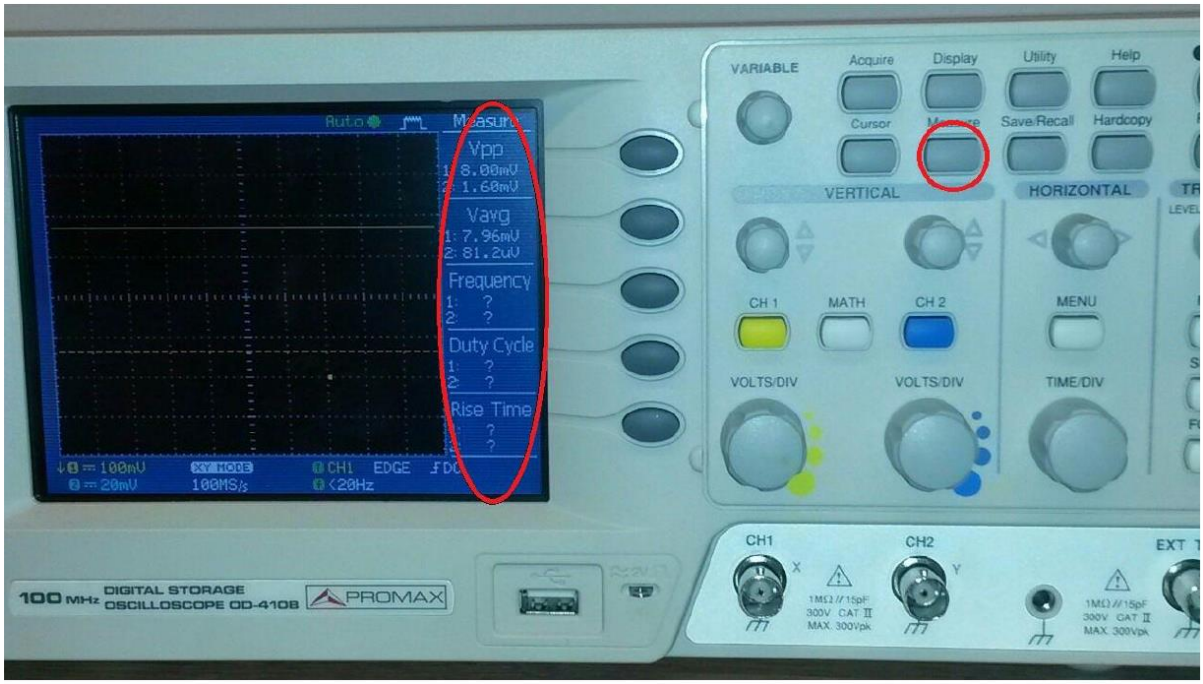
Postupak mjerenja je sljedeći:

1. Odabrati kanal čiji signal se mjeri (žuta ili plava tipka – slika P.5.)
2. Pritisnuti tipku *CURSOR*
3. Pomoću soft tipki odabrati pokazivač (X1 i X2 za mjerenje vremenskih veličina, a Y1 i Y2 za mjerenje naponskih veličina)
4. Pokazivači se pomiču pomoću potenciometra označenog žutom bojom.
5. Podaci o vrijednosti koju pokazivač pokazuje prikazani su uz rub zaslona osciloskopa.

Mjerenje amplitude signala vrši se na način da se izmjere naponske razina maksimalne i minimalne vrijednosti signala. Pokazivač Y1 se pozicionira na maksimalnu vrijednost signala, a pokazivač Y2 na minimalnu vrijednost signala. Vrijednost dvostruke amplitude tada je prikazana kod soft tipke označene s Y1Y2.

Mjerenje periode signala vrši se na način da se izmjeri vrijeme početka i kraja periode signala. Pokazivač X1 se pozicionira na početak periode signala, a pokazivač X2 na kraj periode signala Trajanje periode prikazano je kod soft tipke označene s X1X2.

Osciloskop podržava i automatizirano mjerenje standardnih veličina (amplituda, maksimalna vrijednost, minimalna vrijednost, srednja vrijednost, vrijeme pada, vrijeme porasta, frekvencija, perioda). Mjerenje se uključuje pritiskom na tipku *Measure*, slika P.7. Uz rub zaslona osciloskop prikazuje vrijednosti koje može izmjeriti. Za promjenu vrste mjerenja potrebno je pritisnuti bilo koju soft tipku, te odabrati jednu od ponuđenih vrsta mjerenja.



Slika P.7. Korištenje automatiziranog mjerenja

P.2. Generator signala – funkcijski generator

Generator signala (slika P.8.) ili funkcijski generator (eng. *function generator*) elektronički je uređaj koji generira periodičke naponske signale različitih valnih oblika.

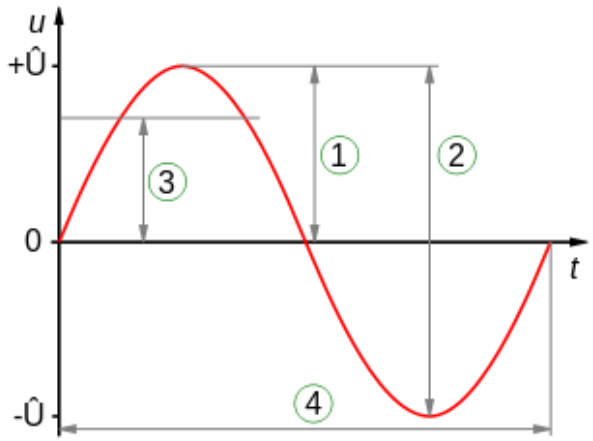


a) analogna izvedba b) digitalna izvedba

Slika P.8. Izgled generatora signala

Kod jednostavnijih uređaja, to su najčešće sinusni, pravokutni i pilasti (trokutni) oblik signala. Na izabranom signalu korisnik može mijenjati frekvenciju, amplitudu, istosmjernu (DC) komponentu, odnos signal/pauza (eng. *duty cycle*) itd. Kod složenijih uređaja (eng. *arbitrary waveform generator*), moguće je definirati proizvoljni oblik signala, razne načine modulacije signala itd.

NAPOMENA: Funkcijski generatori omogućavaju namještanje vrijednosti dvostruke amplitude izlaznog signala (eng. voltage peak-to-peak: V_{pp}), što treba razlikovati od amplitude izlaznog signala (vidi sliku P.9.).

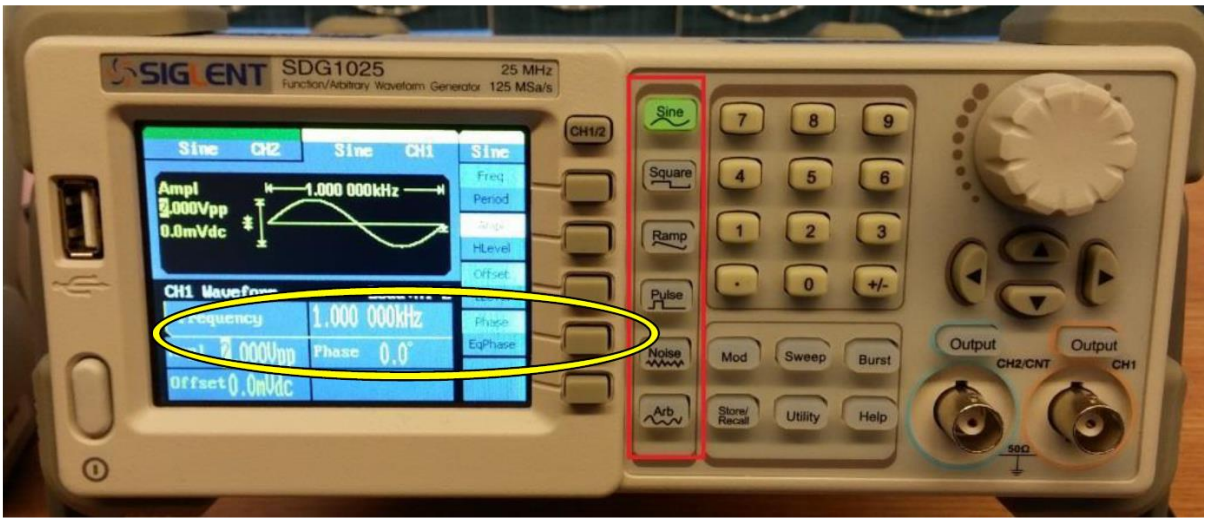


1) Vrijednost amplitude signala (U_a)
2) Dvostruka vrijednost amplitude signala (eng. *voltage peak-to-peak: V_{pp})*
3) Efektivna vrijednost signala (U_{ef})
4) Period signala (t)

Slika P.9. Razlika između amplitude i dvostruke amplitude (V_{pp})

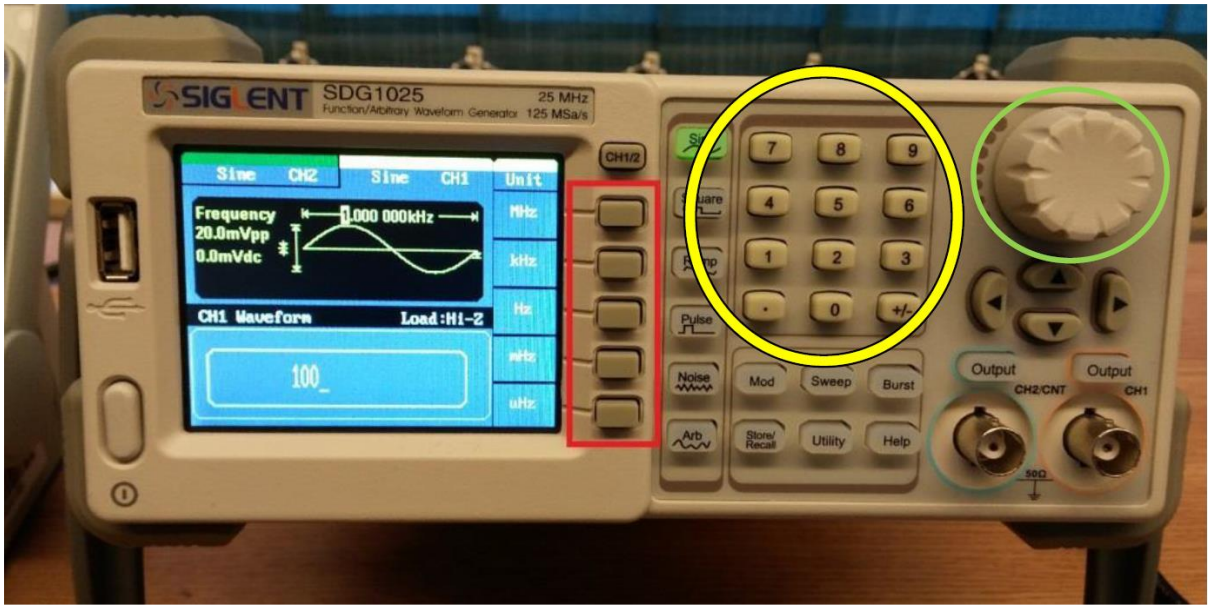
U nastavku su dane upute za rad s funkcijskim generatorom Sigilent SDG 1025.

Odabir valnih oblika vrši se pritiskom fiksnih tipki za izbor valnog oblika (sinusni valni oblik, pravokutni valni oblik, trokutasti valni oblik, jednostruki impuls, šum, proizvoljni valni oblik), slika P.10.



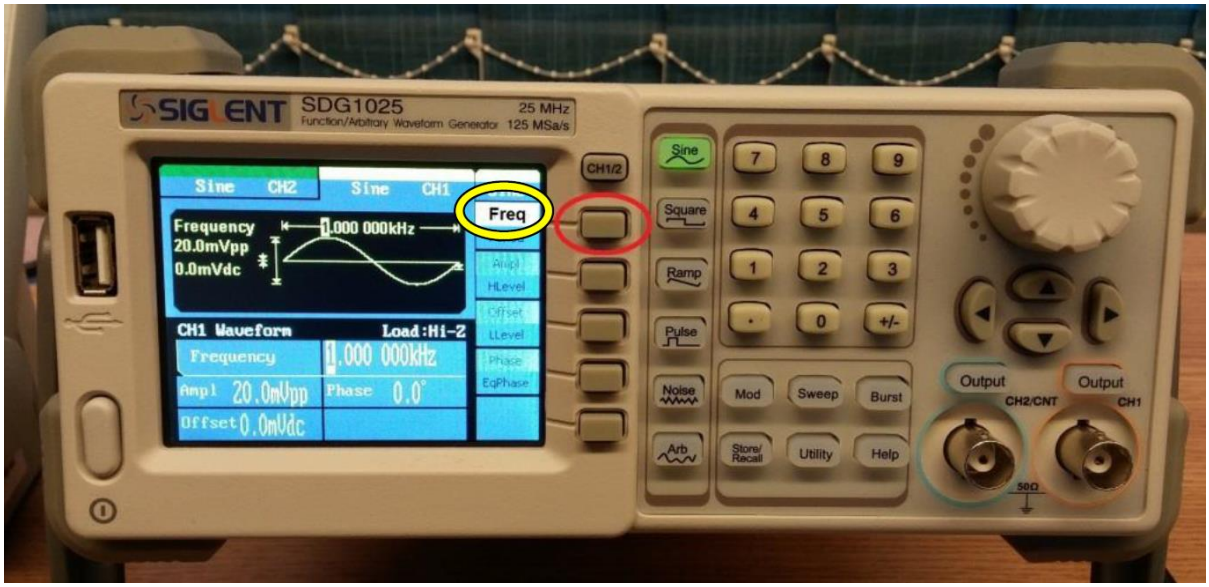
Slika P.10. Tipke za odabir valnih oblika

Na ovom funkcijskom generatoru amplitudu, frekvenciju, periodu i sl. podešavamo pritiskom soft tipki (označeno crvenom bojom) i brojčane tipkovnice (označeno žutom bojom) ili okretanjem potenciometra (označeno zelenom bojom), slika P.11.



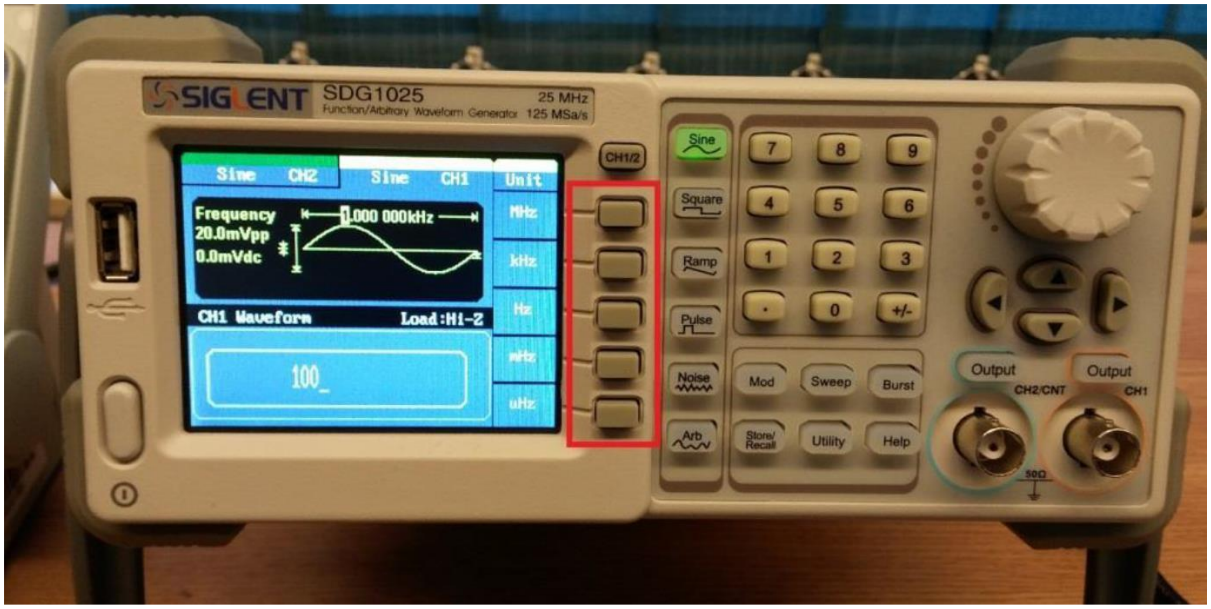
Slika P.11. Tipke za podešavanje postavki odabranog valnog oblika

Frekvenciju podešavamo pritiskom prve soft tipke (crveno) odabirom „Freq“ (žuto), slika P.12.



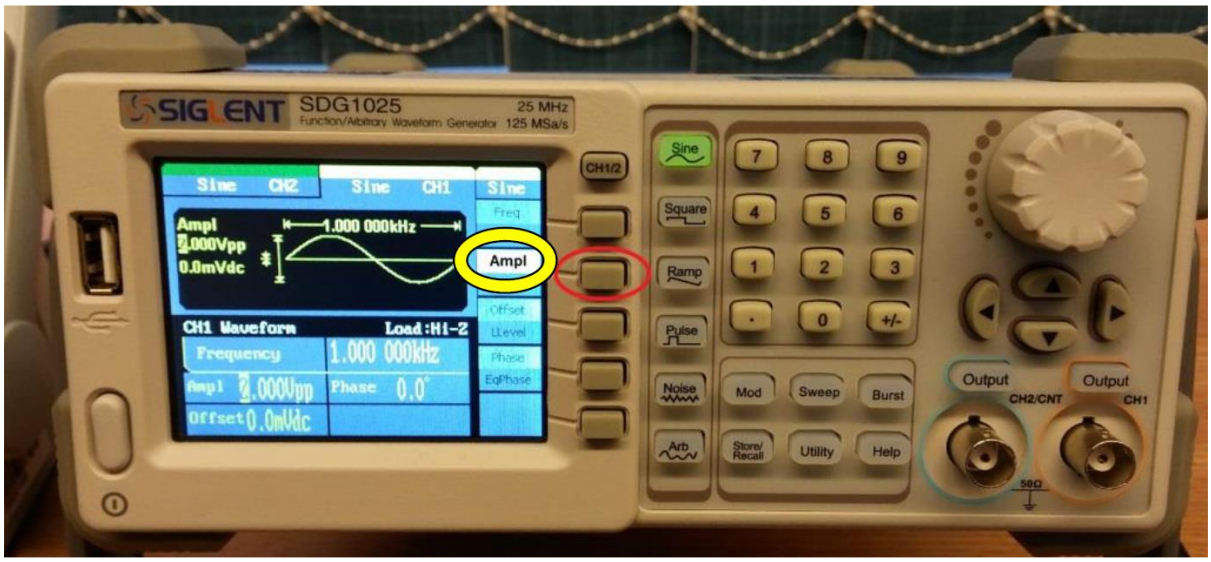
Slika P.12. Podešavanje frekvencije

Za unos brojčanog iznosa frekvencije koristi se brojčanu tipkovnicu (označene žutom bojom na slici P.11.). Za odabir mjerne jedinice pritisnuti odgovarajuću soft tipku (crveno), slika P.13.



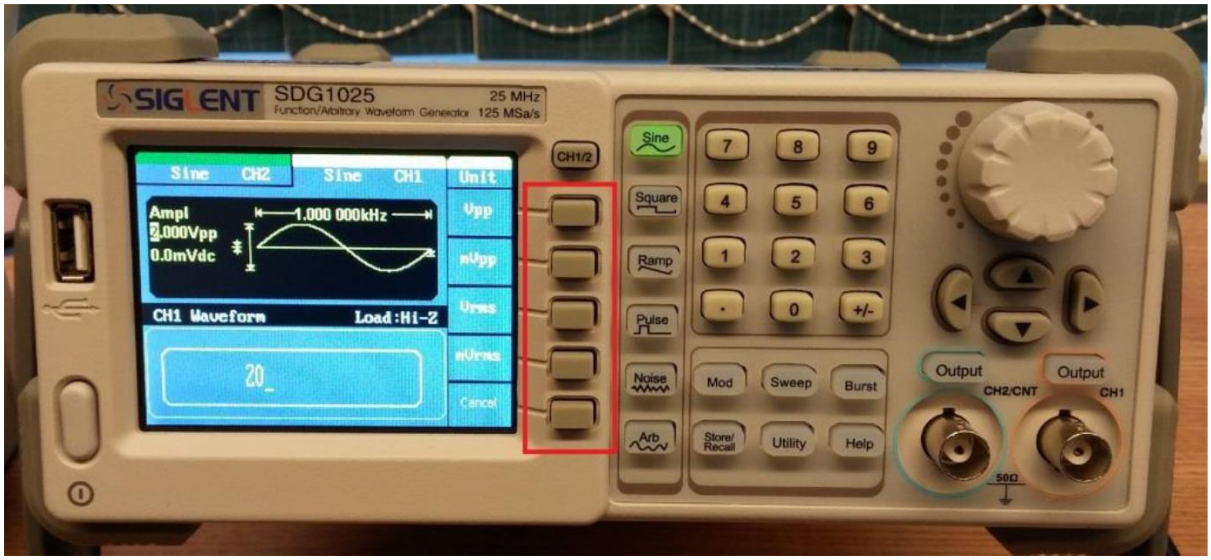
Slika P.13. Odabir mjerne jedinice prilikom podešavanja frekvencije

Podešavanje amplitude vrši se odabirom druge soft tipke (crveno) kako bismo odabrali „Ampl“ (žuto), slika P.14.



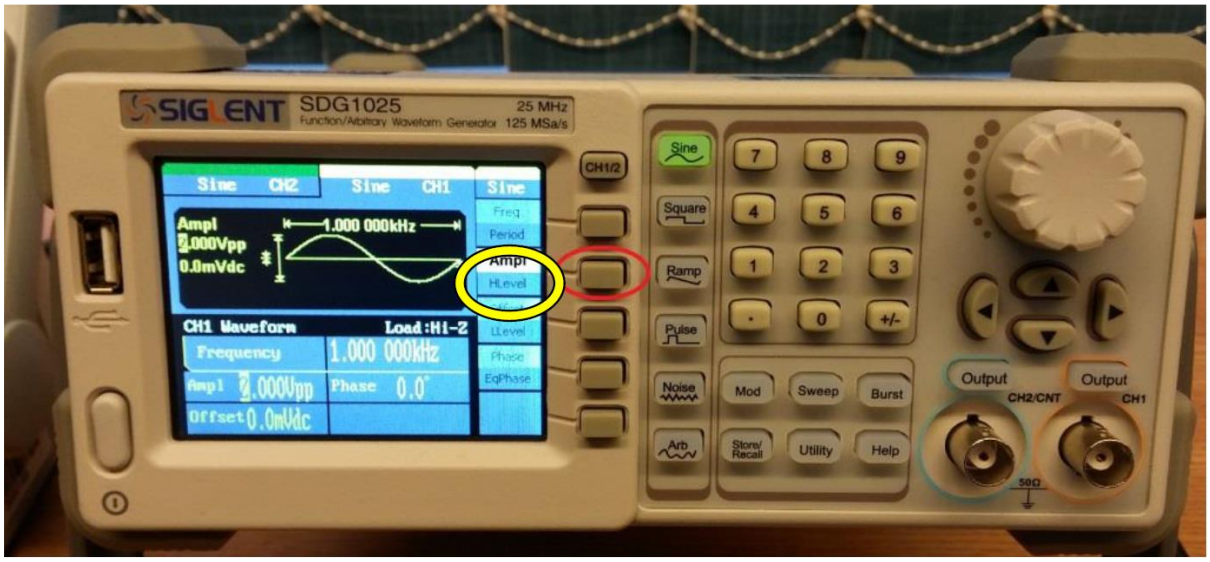
Slika P.14. Podešavanje amplitude

Za unos brojčanog iznosa amplitude koristi se brojčana tipkovnica (označene žutom bojom na slici P.11.). Za odabir mjerne jedinice pritisnuti odgovarajuću soft tipku (crveno), slika P.15.



Slika P.15. Odabir mjerne jedinice prilikom podešavanja amplitude

Drugi način postavljanja vrijednosti amplitude vrši se podešavanjem napona gornje i donje razine (HLevel i LLevel). Napon gornje razine podešavamo pritiskom druge soft tipke (crveno) dva puta i odabirom „HLevel“ (žuto) te pritiskom već spomenute brojčane tipkovnice unosimo brojčanu vrijednost, slika P.16. Isto vrijedi za podešavanje napona donje razine (LLevel, tipka ispod crvenog kružića). Postupak podešavanja jednak je kao i postupak podešavanja amplitude.



Slika P.16. Podešavanje minimalne i maksimalne razine signala

Nakon što su postavljeni željeni valni oblik, frekvencija i amplituda, izlaz funkcijskog generatora se uključuje pritiskom na tipku *Output*, slika P.17, nakon čega tipka svijetli zelenom bojom, a postavljeni valni oblik se pojavljuje na izlazu.



Slika P.17. Uključivanje izlaza funkcijskog generatora

P.3. Digitalni multimetar (DMM)

Digitalni multimetar (slika P.18.) je elektronički instrument (malih dimenzija) koji se koristi za mjerenje različitih električnih veličina: istosmjerne i izmjenične struje, napona, električnog otpora, kapaciteta, frekvencije, provjeravanje ispravnosti tranzistora i dioda, ispravnosti vodiča itd.



Slika P.18. Različite vrste digitalnih multimetara

Rukovanje je ovim uređajima jednostavno. Mjerni se vodiči priključe u odgovarajuće utičnice. Okretnom se sklopkom izabire mjerno područje. Posebnu pažnju ipak treba pridati mjerenju iznosa struje (slika P.19.) jer se nepravilnim izborom mjernog područja, a posebice pogrešnim priključivanjem u strujni krug, instrument može trajno oštetiti.

P.3.1. Mjerenje iznosa struje



Slika P.19. Mjerenje iznosa struje

AMPERMETAR se u strujni krug UVIJEK spaja SERIJSKI s trošilom!

P.3.2. Mjerenje iznosa napona



Slika P.20. Mjerenje iznosa napona

VOLTMETAR se u strujni krug UVIJEK spaja PARALELNO s trošilom!

Mjerenjem iznosa napona na trošilu *(U)*, uz poznati otpor trošila *(R)*, možemo posredno izmjeriti (izračunati) struju *(I)* koja teče kroz trošilo.

P.4. Izvor napajanja

Za napajanje elektroničkih sklopova iz ovog priručnika koriste se laboratorijski izvori istosmjernog napona 0-30 V uz regulaciju struje 0-3 A.

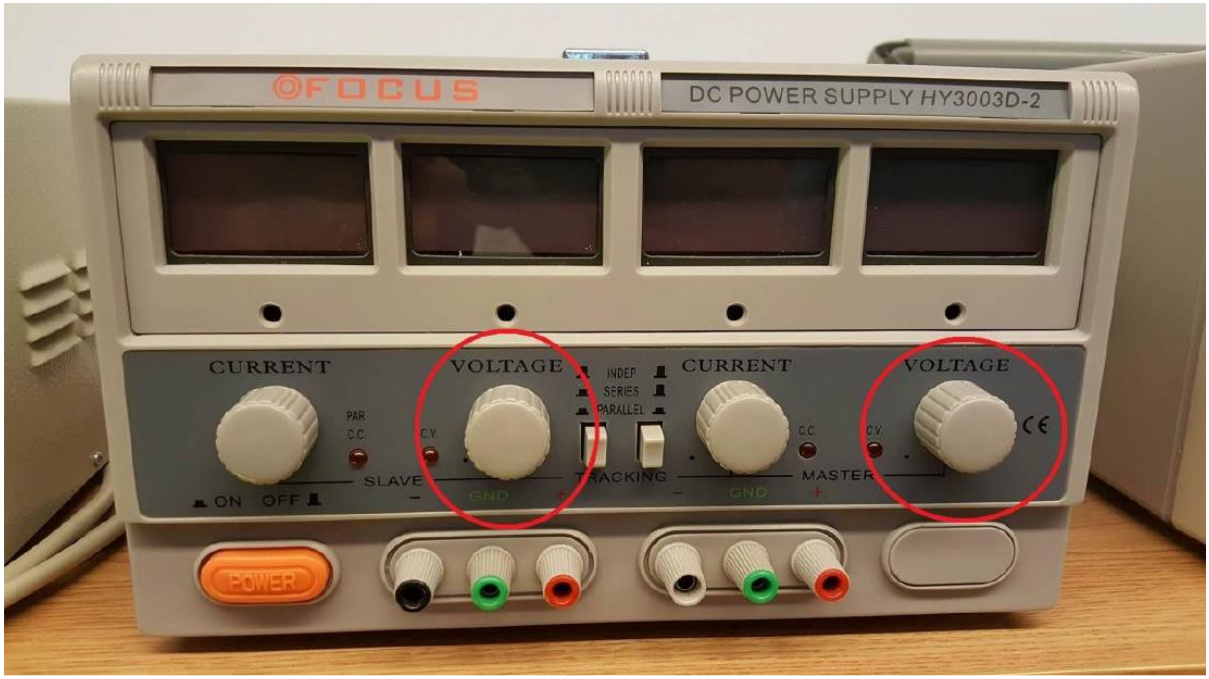
U nastavku su dane upute za rad s dvije vrste istosmjernih izvora napajanja: HY3003D-2 i TT EX354RD.

Istosmjerni izvor DC POWER SUPPLY HY3003D-2 prikazan je slikom P.21. Tipka za uključivanje označena je crvenom bojom.

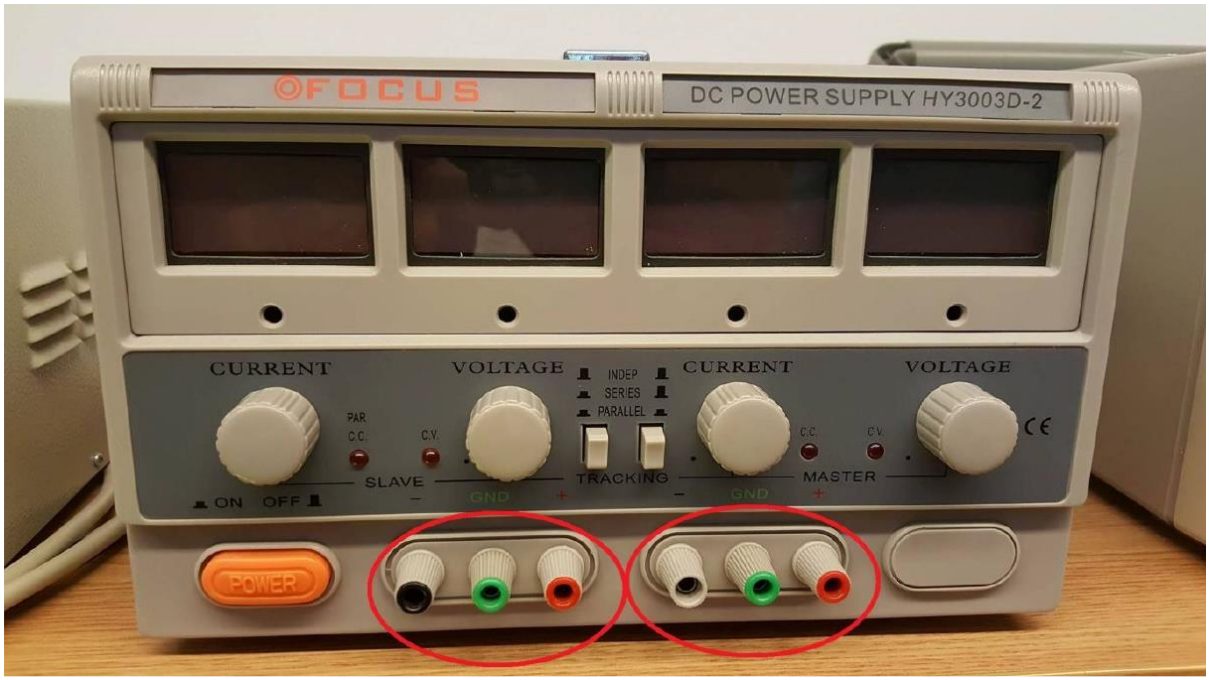


Slika P.21. Istosmjerni izvor DC POWER SUPPLY HY3003D-2

Instrument se sastoji od dva odvojena naponska izvora, a naponske razine svakog izvora mogu se podešavati potenciometrima označenim na slici P.22. Postavljeni se napon prikazuje na zaslonu iznad potenciometra. Postavljeni napon je dostupan na izlaznim priključcima (slika P.23)



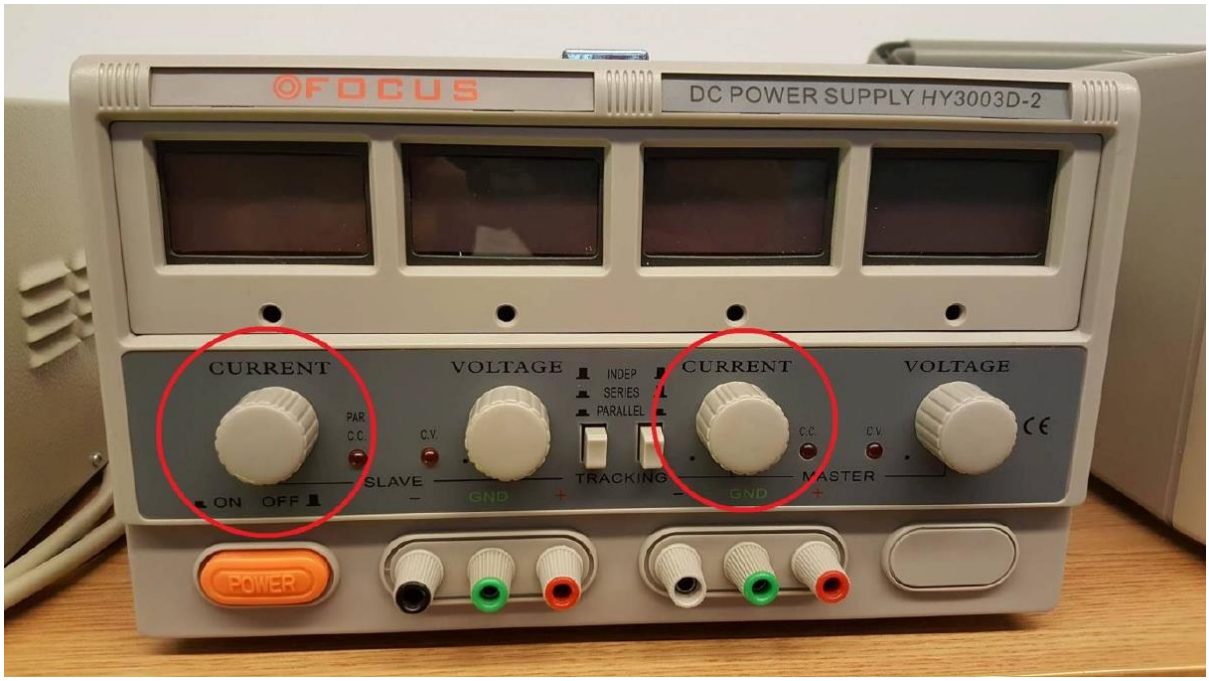
Slika P.22. Potenciometri za podešavanje razine izlaznog napona



Slika P.23. Izlazni priključci

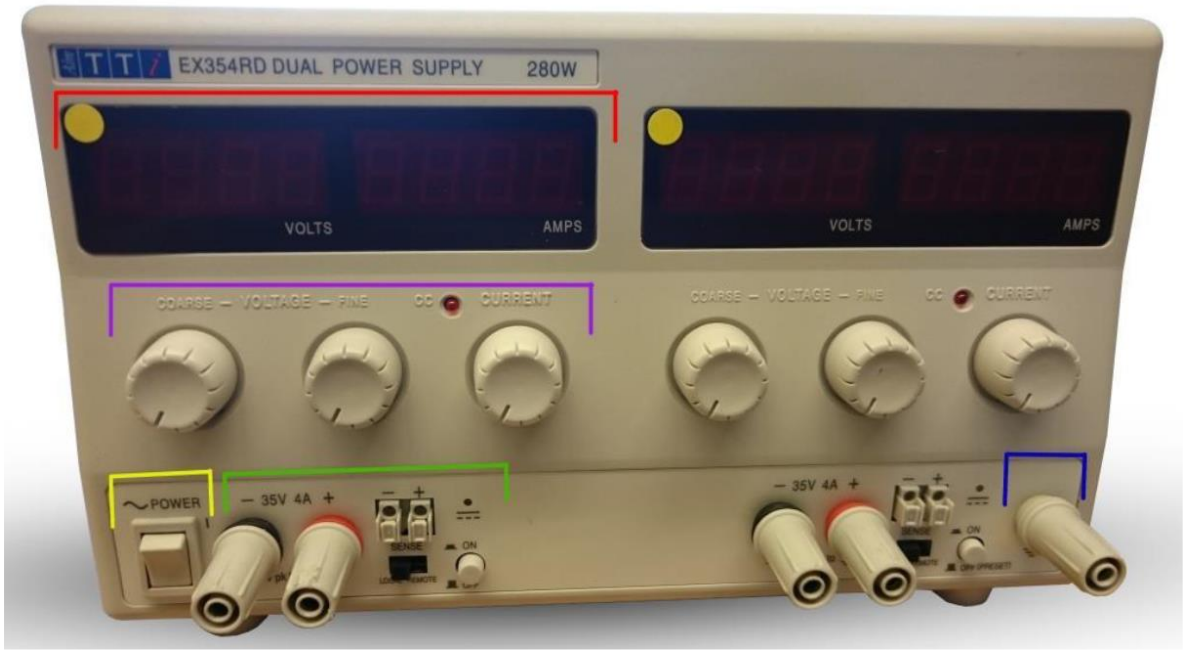
Strujno ograničenje pojedinog kanala postavlja se korištenjem potenciometara označenih na slici P.24. Prilikom postavljanja strujnog ograničenja potrebno je izvršiti sljedeće korake:

1. Odspojiti sve sklopove s izvora napajanja
2. Postaviti željeni napon potenciometrima za postavljanje napona
3. Potenciometre za postavljanje struje okrenuti krajnje lijevo
4. Vodičem kratko spojiti izlazne priključnice (crveni i crni priključak kanala)
5. Potenciometrom za postavljanje struje postaviti željenu maksimalnu struju
6. Odspojiti vodič (iz 4. koraka) s priključnica



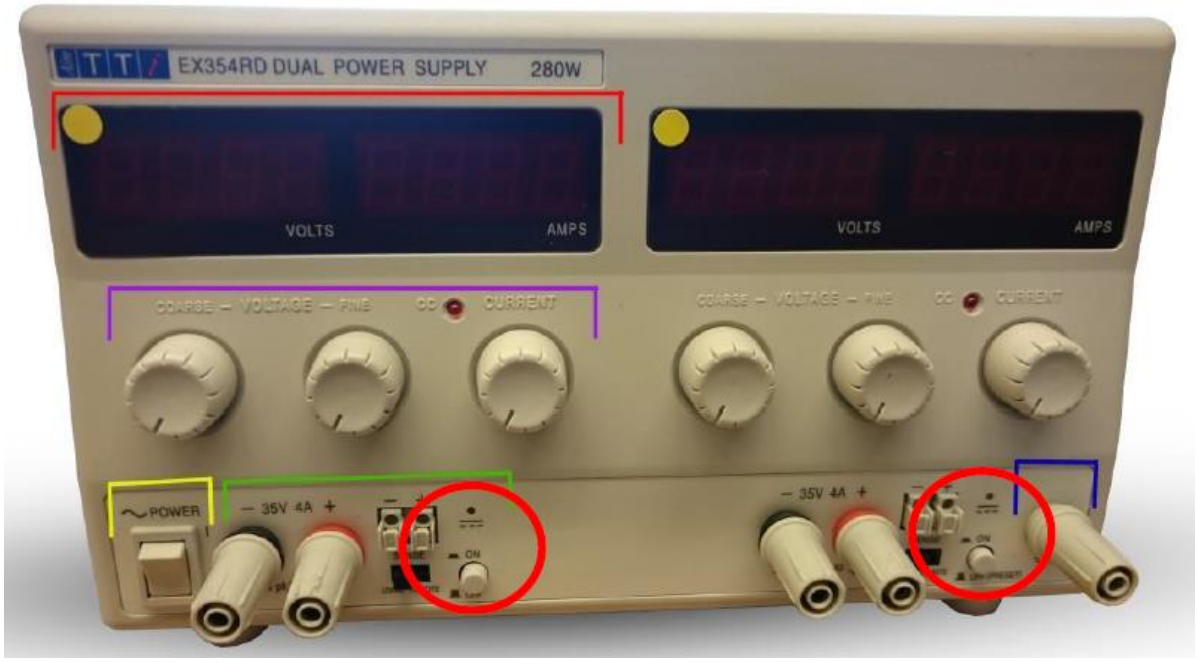
Slika P.24. Potenciometri za podešavanje strujnog ograničenja

Istosmjerni izvor TT EX354RD prikazan je slikom P.25. Konstrukcijski je sličan prethodnom izvoru napajanja. Tipka za uključivanje je smještena u doljem lijevom kutu (žuto), napon i struja se podešavaju potenciometrima (ljubičasto) iznad kojih je smješten zaslon s prikazom namještenih vrijednosti (crveno). Postoje dva potenciometra za namještanje napona. Jedan za grubo podešavanje (coarse), a drugi za fino (fine) podešavanje.



Slika P.25. Istosmjerni izvor TT EX354RD

Da bi se uključio izlaz napajanja, tj. da bi se namješteni napon pojavio na izlaznim priključcima (zeleno), potrebno je pritisnuti tipku za uključivanje izlaza (označena crvenim krugom na slici P.26).



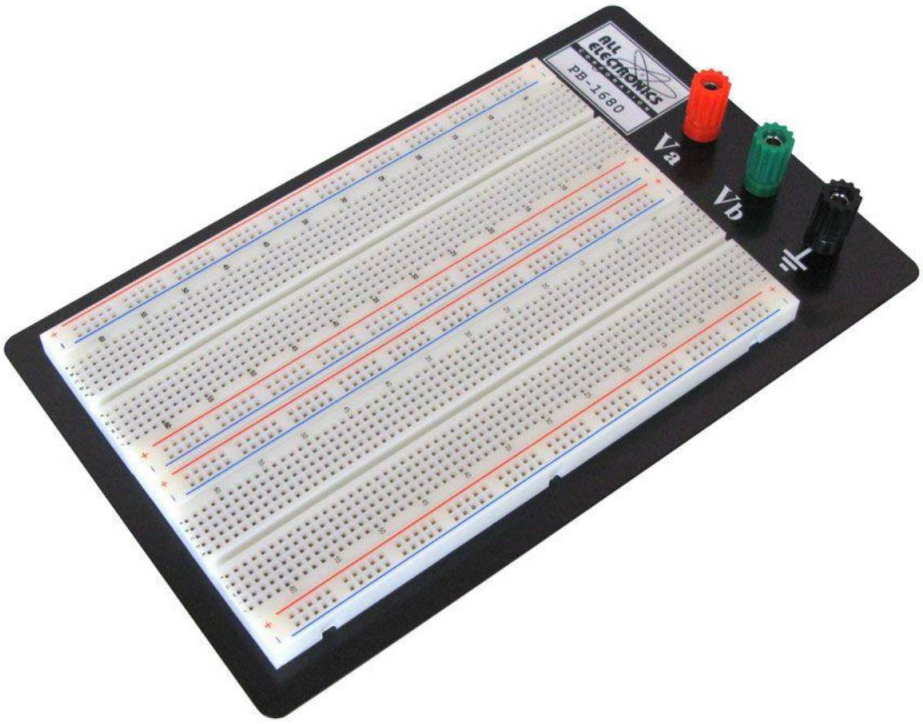
Slika P.26. Tipke za uključivanje izlaza

Strujno ograničenje pojedinog kanala postavlja se na sljedeći način:

1. Odspojiti sve sklopove s izvora
2. Podesiti željeni napon izvora
3. Isključiti tipku za uključivanje izvora napona (okrugla crvena oznaka na slici P.26) - lampica iznad tipke ne smije svijetliti
4. Podesiti strujno ograničenje pomoću *Current* potenciometra
5. Uključiti tipku *Output* (uključiti napon na izlazu)

P.5. Eksperimentalna pločica

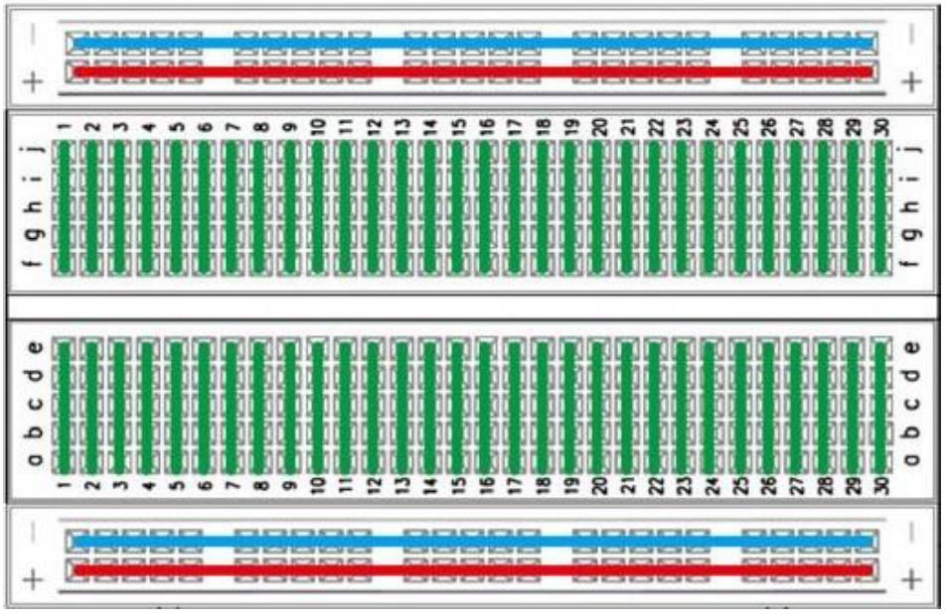
Eksperimentalna pločica (eng. *protoboard*, *breadboard*) upotrebljava se za (brza) spajanja elektroničkih komponenti, odnosno sklopova bez lemljenja. Spajanje se obavlja ubadanjem elektroničkih komponenti u za to predviđene otvore (rupice) i njihovim spajanjem dodatnim vodičima. Izgled eksperimentalne pločice prikazan je na slici P.27.



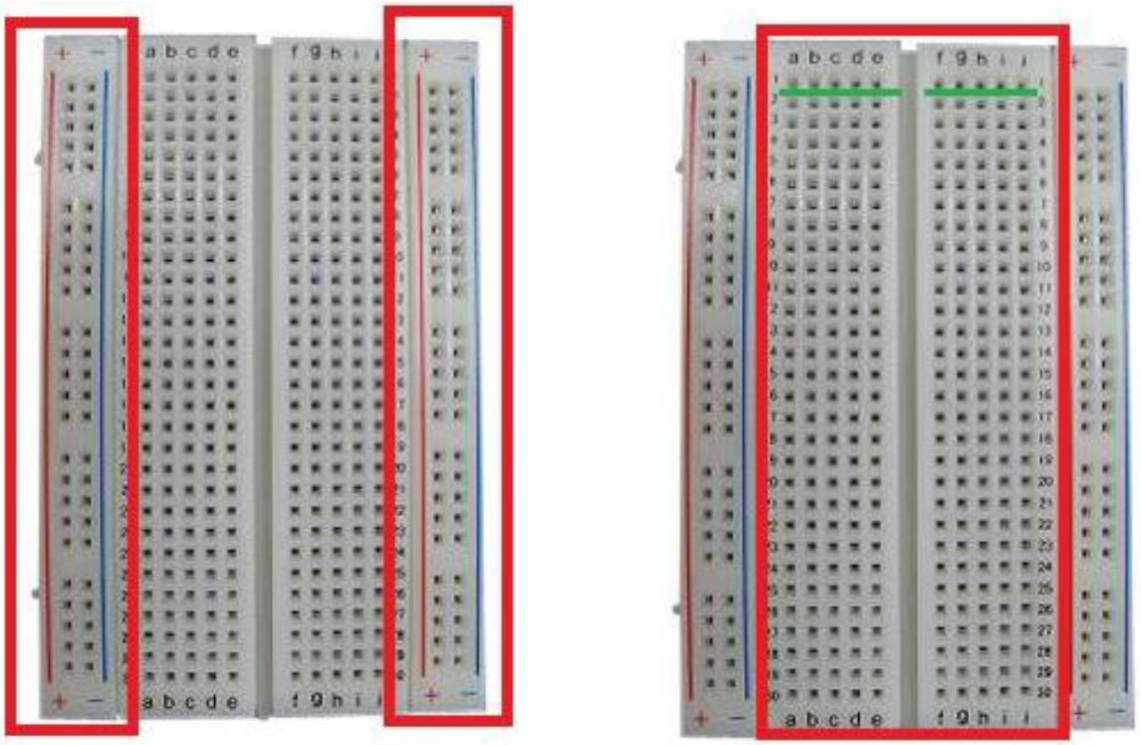
Slika P.27. Izgled eksperimentalne pločice

Eksperimentalna pločica sastoji se od plastičnog kućišta na čijoj se gornjoj strani nalazi mnoštvo rupica namijenjenih za umetanje nožica elektroničkih komponenti. Rupice su u unutrašnjosti pločice međusobno povezane prema određenom pravilu. Razlikujemo tri osnovna dijela pločice koja su na slici označena trima bojama, slika P.28.

Sa svake strane pločice imamo područje koje se sastoji od dva niza rupica međusobno spojenih na način da tvore dvije okomite „tračnice“ koje koristimo za napajanje. Najčešće je crvena linija + a plava linija -, slika P.29.a.



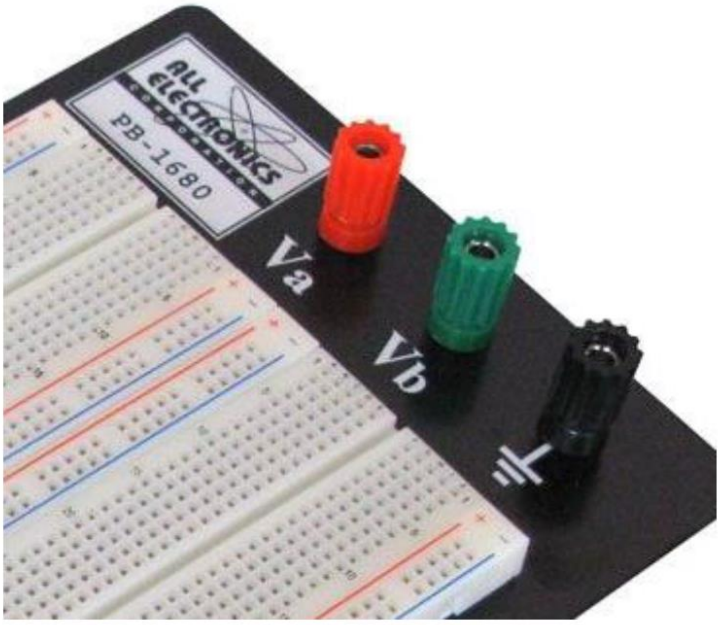
Slika P.28. Unutrašnji spojevi eksperimentalne pločice



a) **b)**

Slika P.29. Dijelovi eksperimentalne pločice

U samoj sredini pločice nalazi se vertikalni rascjep koji dijeli dva područja. Njegova širina je standardizirana i omogućava nam umetanje integriranih krugova. Rupice unutar svakog sivog područja spojene su vodoravno čineći u istom redu dva vodoravna niza od pet rupica (označeno zelenom bojom), slika P.29.b. Priključnice na eksperimentalnoj pločici označene crvenom, zelenom i crnom bojom (slika P.30) nisu spojene na ostatak eksperimentalne pločice, već se po potrebi korištenjem žica mogu spojiti na bilo koje mjesto. Priključnice spajamo na izvor te na eksperimentalnu pločicu kako bi odredili koji stupac je na kojem potencijalu.



Slika P.30. Priključnice eksperimentalne pločice

P.6. Osnovni spojni kablovi

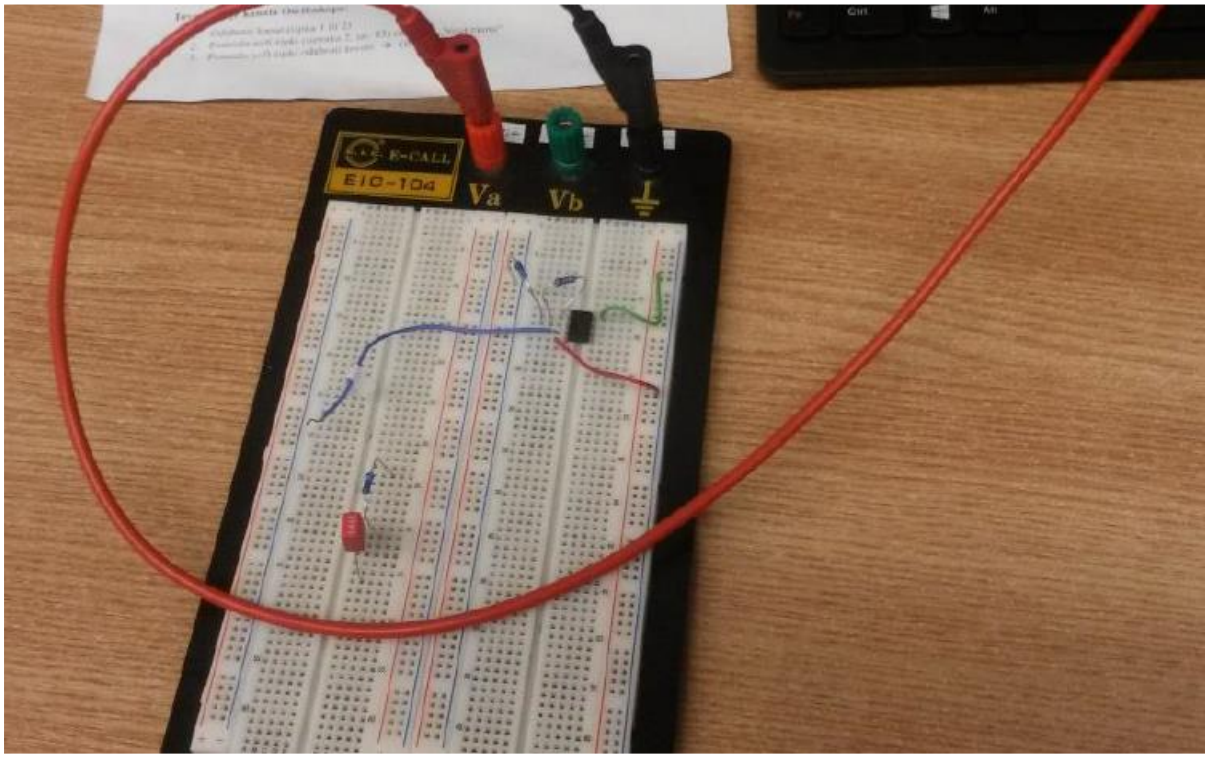
Spajanja izvora napajanja, generatora funkcija, osciloskopa i multimetra vrši se spojnim kablovima, Za svaki uređaj postoji odgovarajuća vrsta spojnog kabela. Na idućim slikama prikazane su vrste kablova i primjeri njihovog korištenja.

Kabel s banana utikačima



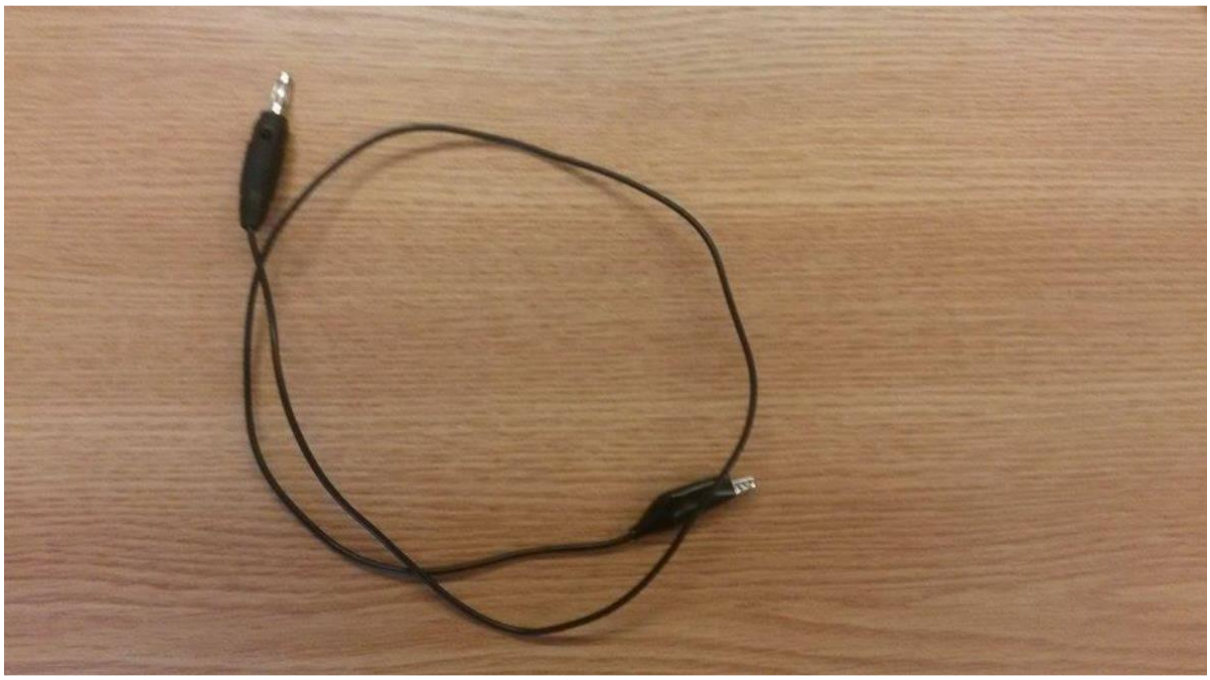
Slika P.31. Kabel s banana utikačima

Kabel s banana utikačima koristi se kod spajanja istosmjernih izvora napajanja, eksperimentalne pločice i također se može koristiti kod univerzalnih multimetara.

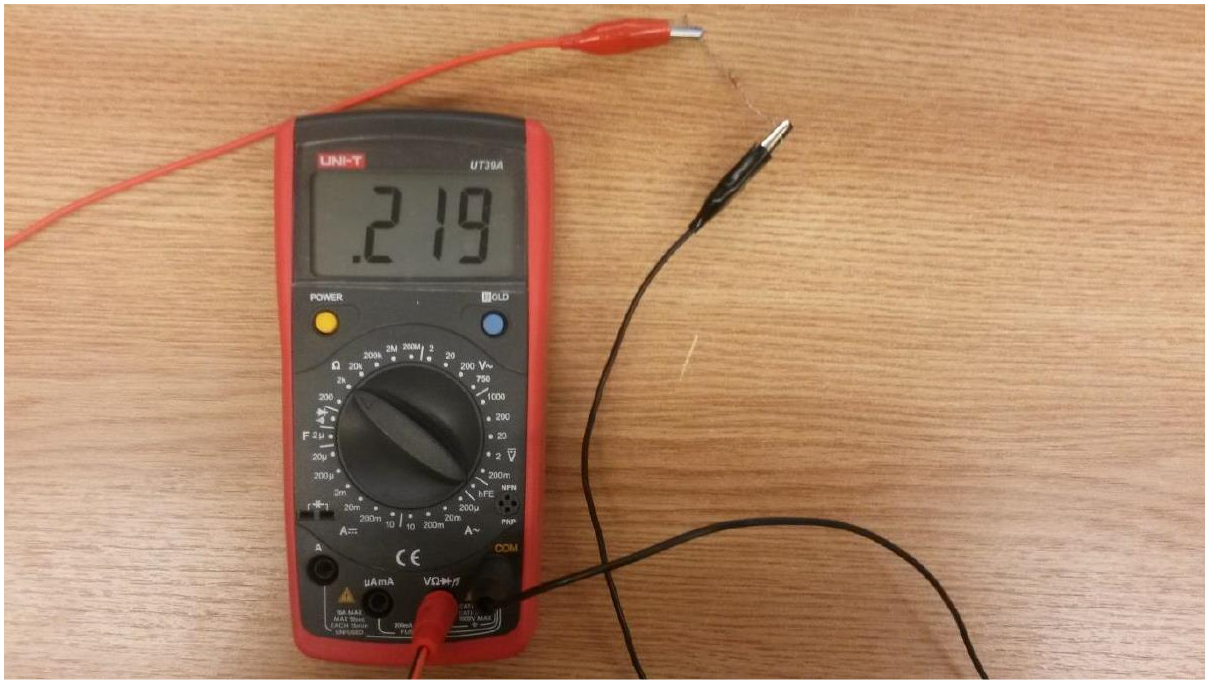


Slika P.32. Primjer spajanja kabela s banana utikačima

Kabel s kombinacijom banana utikača i krokodil štipaljke



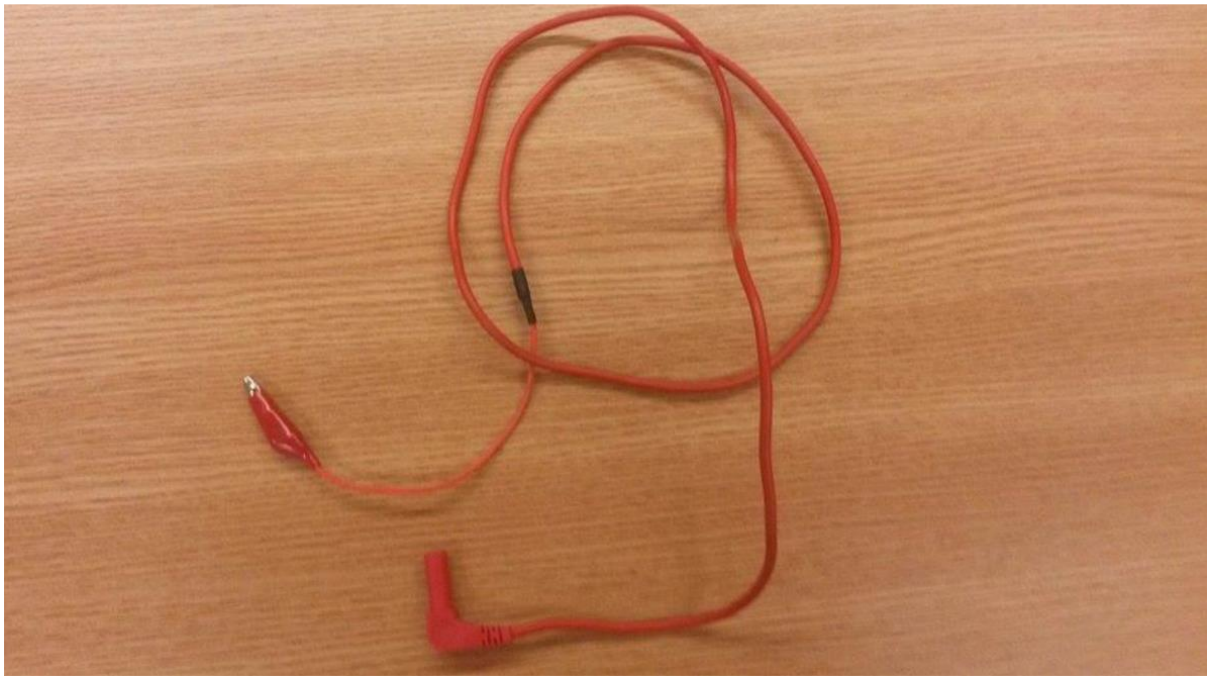
Slika P.33. Kabel s kombinacijom banana utikača i krokodil štipaljke



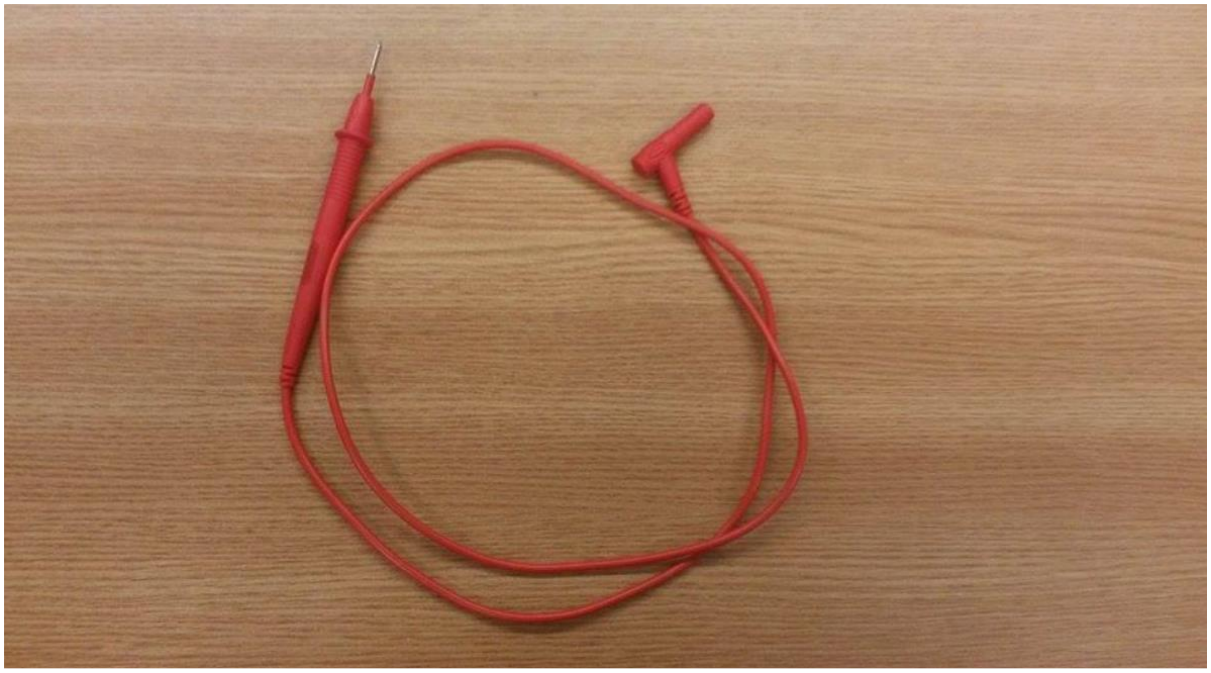
Slika P.33. Primjer korištenja kabela s kombinacijom banana utikača i krokodil štipaljke za mjerenje otpora univerzalnim multimetrom

Spojni kablovi multimetra

Osim što se univerzalni multimetar može koristiti korištenjem kablova s banana utikačem, postoje i kabeli predviđeni isključivo za multimetar. Dva takva kabela prikazana su na slikama P.34 i P.35.



Slika P.34. Primjer spojnog kabela namijenjenog univerzalnom multimetru



Slika P.35. Primjer spojnog kabela namijenjenog univerzalnom multimetru



Slika P.36. Različiti kablovi koji mogu biti korišteni u kombinaciji s univerzalnim multimetrom

Kabel s BNC priključcima



Slika P.37. Spojni kabel s BNC priključcima



Slika P.38. Primjer direktnog spajanja osciloskopa i generatora funkcija kabelom s BNC priključcima

Za spajanje funkcijskog generatora na sklop koji se testira, koriste se dvije vrste kablova: spojni kabel s kombinacijom BNC priključka i krokodil štipaljki (slika P.39) i spojni kabel s kombinacijom BNC priključka i banana utikača (slika P.40).



Slika P.39. Spojni kabel s kombinacijom BNC priključka i krokodil štipaljki



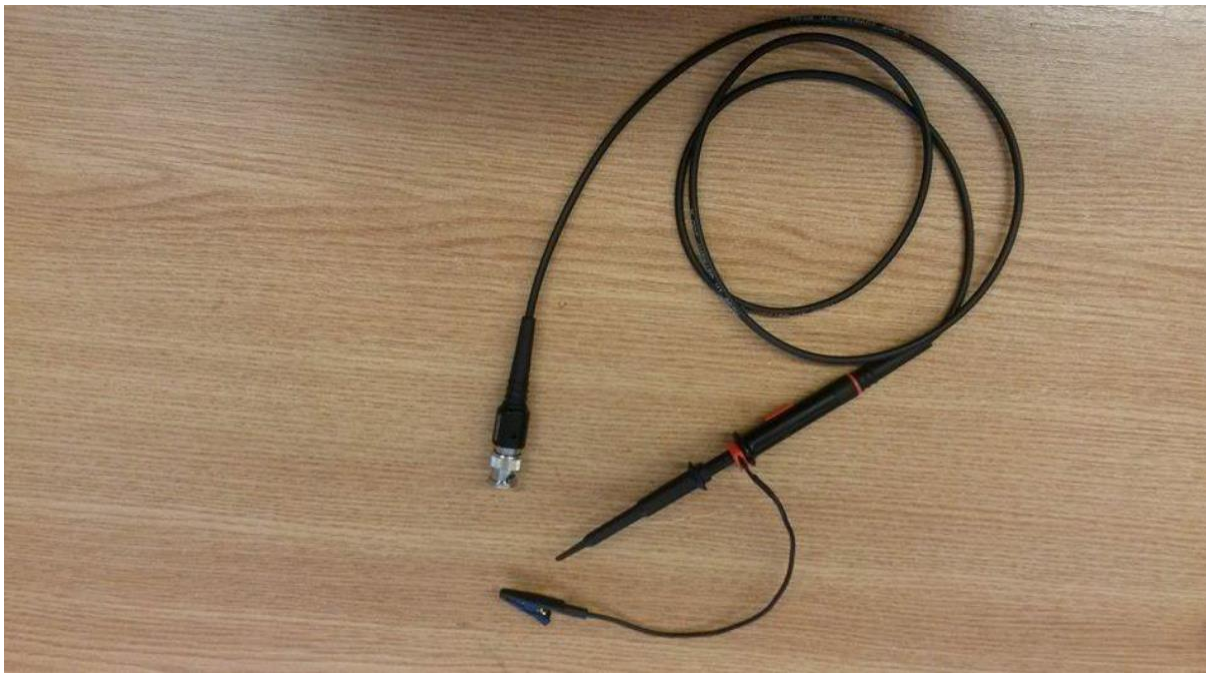
Slika P.40. Spojni kabel s kombinacijom BNC priključka i banana utikača

Sonde za osciloskop

Za mjerenja osciloskopom koriste se ISKLJUČIVO sonde za osciloskop. Dvije izvedbe sondi za osciloskop prikazane su slikama P.41 i P.42.



Slika P.41. Sonda za osciloskop

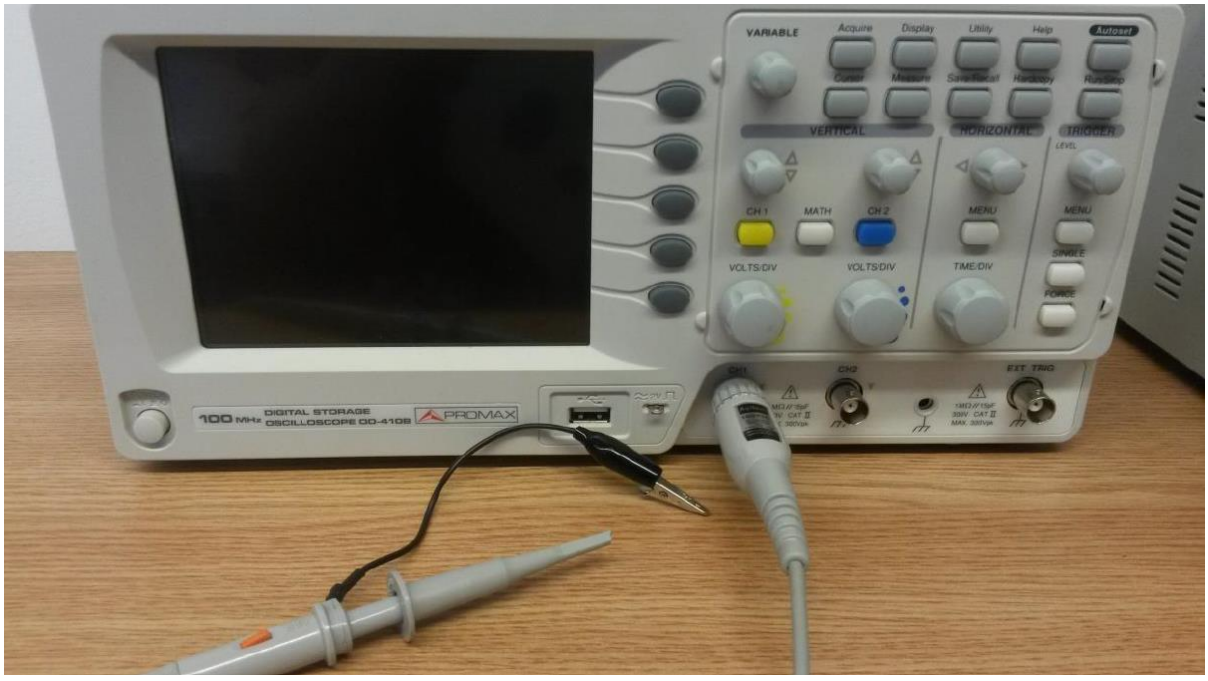


Slika P.42. Sonda za osciloskop

Primjeri spajanja osciloskopa i sonde za osciloskop dani su na slikama P.43 i P.44.

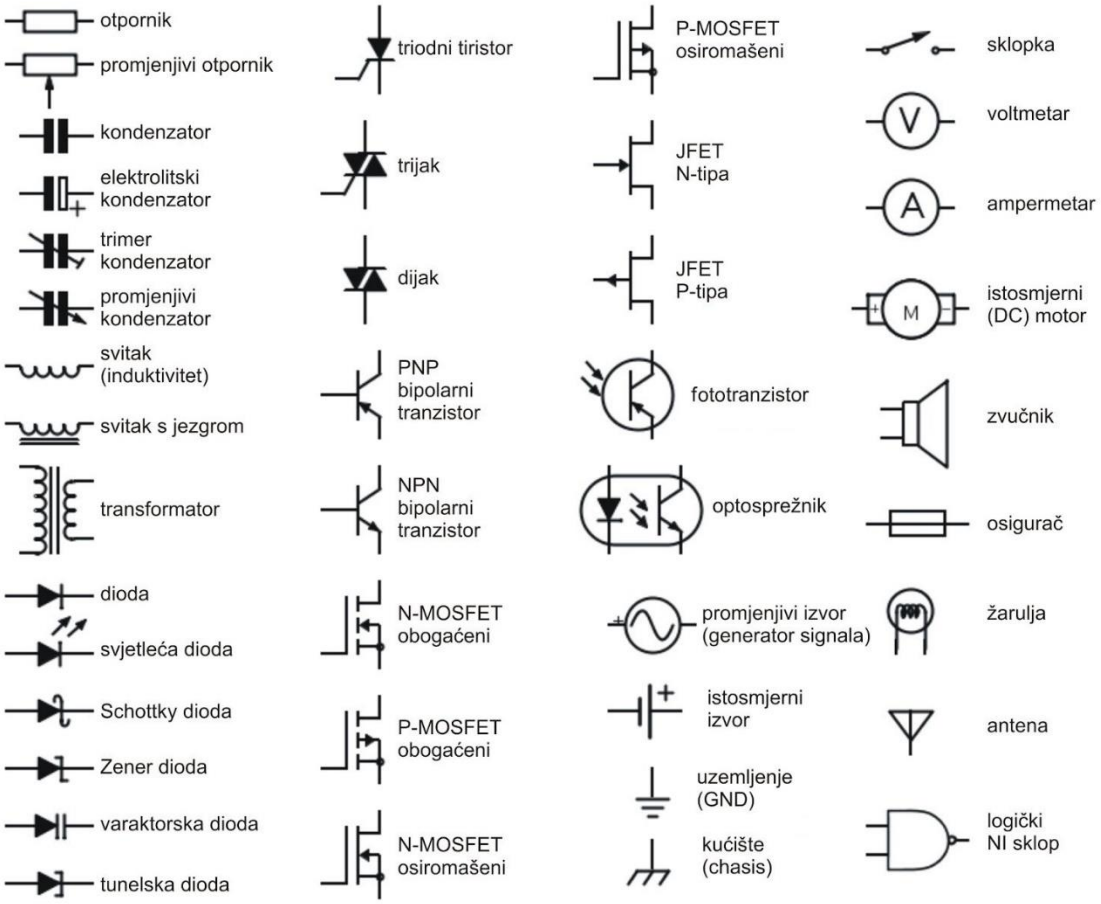


Slika P.43. Primjer spajanje osciloskopa i sonde za osciloskop



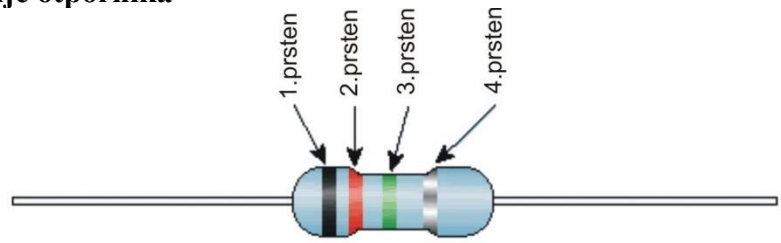
Slika P.44. Primjer spajanja osciloskopa i sonde za osciloskop

P.7. Osnovni elektronički simboli



Slika P.10. Simboli elektroničkih komponenata

P.8. Označavanje otpornika



Boja	1. prsten	2. prsten	3. prsten množitelj	4. prsten tolerancija
CRNA	0	0	10^0	
SMEĐA	1	1	10^1	
CRVENA	2	2	10^2	+/- 2%
NARANČASTA	3	3	10^3	
ŽUTA	4	4	10^4	
ZELENA	5	5	10^5	
PLAVA	6	6	10^6	
LJUBIČASTA	7	7	10^7	
SIVA	8	8	10^8	
BIJELA	9	9	10^9	
ZLATNA			10^{-1}	+/- 5%
SREBRNA			10^{-2}	+/- 10%

Primjer: 1. prsten - žuta; 2. prsten - ljubičasta; 3. prsten - crvena; 4. prsten - zlatna



Slika P.11. Izgled otpornika

prva znamenka = 4, druga znamenka = 7, treća znamenka = 2
množitelj = 10^2 = 100, tolerancija = 5%

<u>47 x 100 = 4700 Ω = 4,7 kΩ</u>

Vrijednosti otpora normirane su u nekoliko tzv. E-nizova. Tolerancije u nizu E-12 uglavnom su 5%, dok se u nizu E-24 proizvode otpornici s tolerancijom od 1%.

E-12 niz: 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2; 10,0

E-24 niz: 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

EVIDENCIJA RADA NA LABORATORIJSKIM VJEŽBAMA

VJEŽBA	POTPIS	DATUM
1. MJERENJE KARAKTERISTIKE POLUVODIČKE DIODE		
2. ISPRAVLJAČKA SVOJSTVA DIODE		
3. BIPOLARNI SPOJNI TRANZISTOR - POJAČALO		
4. TRANZISTOR S EFEKTOM POLJA - SKLOPKA		
5. OPTOELEKTRONIKA - FOTOTRANZISTOR		
6. CMOS SKLOPOVI		
UKUPNO		

Komentari: