



FAKULTET ELEKTROTEHNIKE RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

SVEUČILIŠTE J. J. STROSSMAYERA
U OSIJEKU



OSNOVE MJERENJA

Priručnik za laboratorijske vježbe

Ime i prezime:

Laboratorijska grupa:

Osijek, 2023.

Izdavač
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek

Za izdavača
prof. dr. sc. Tomislav Matić

Autori
prof.dr.sc. Kruno Miličević
dr.sc. Venco Ćorluka
dr.sc. Ivan Tolić
Dalibor Buljić, dipl.ing.

Recenzenti
izv.prof.dr.sc. Davor Vinko
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek
prof.dr.sc. Roman Malarić
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva

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

Lipanj, 2023. godine

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

ISBN: 978-9538184-08-06

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku



Suglasnost za izdavanje ovog sveučilišnog udžbenika donio je Senat Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na sjednici održanoj 19. srpnja 2023. godine pod brojem 13/23.

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

dr.sc. Venco Ćorluka

Dalibor Buljić, dipl.ing.

dr.sc. Ivan Tolić

prof.dr.sc. Kruno Miličević

OSNOVE MJERENJA
Priručnik za laboratorijske vježbe

Zahvala

Autori zahvaljuju prof. dr. sc. Zdenku Godecu i mr. sc. Draženu Doriću na postavljanju temelja za laboratorijske vježbe iz mjeriteljskih predmeta na FERIT-u Osijek, pa tako i za laboratorijske vježbe opisane u ovom priručniku. Zahvaljuju se i kolegi Mariju Srnoviću na tehničkim i stručnim savjetima te Ivanu Biondiću na sudjelovanju u inicijalnom osmišljavanju koncepta vježbi i njihove provedbe.

Sadržaj

LV0: Provođenje laboratorijskih vježbi.....	6
LV1: Uvodna vježba	9
LV2: Izravna mjerenja digitalnim instrumentima	16
LV3: Izravna mjerenja analognim instrumentima	31
LV 4: Neizravna (posredna) mjerenja	44
LV 5: Mjerenja analognim osciloskopom	50
LV 6: Mjerenja digitalnim osciloskopom	62
6.1 Pitanja za pripremu	62
LV7: Utjecaj valnog oblika na pokazivanje instrumenata.....	70
LV 8: Proširenje mjernog opsega instrumenta i umjeravanje	77
LV 9: Mjerenje otpora	88
LV 10: Mjerenje snage	97
LV11: Mjerenje kapaciteta, induktiviteta i otpora	105
LV12: Mjerenje perioda i frekvencije	118
12.2.1 Mjerenje frekvencije i periode signala digitalnim brojiлом	120
LV13: Računala i mjerna oprema	127
LV14: Mjerenje mase i duljine	135
LV15: Mjerni pretvornici.....	142
Reference	153

LV0: Provođenje laboratorijskih vježbi

Laboratorijske vježbe iz kolegija *Osnove mjerenja* i *Osnove mjeriteljstva* održavaju se u Laboratoriju za električna mjerenja. Same laboratorijske vježbe povezane su s predavanjima i auditornim vježbama, gdje će se preneseno znanje s predavanja i riješenih primjera zadataka na auditornim vježbama primijeniti na praktičnom dijelu rada u laboratoriju.

Prije svake laboratorijske vježbe obvezno je odgovoriti na pitanja iz pripreme vježbe s pomoću odslušanih predavanja i auditornih vježbi, odnosno pripadajućih materijala koje ste dobili kao teorijski uvod za vježbe na internetskim stranicama predmeta, odnosno putem *Learning Management sustava* (LMS, npr. Merlin, Moodle i sl.).

Priručnik za laboratorijske vježbe obavezan je na svakoj vježbi. Student tijekom vježbi radi potrebna mjerenja i zabilješke o obavljenim mjernim postupcima, a mjerne rezultate upisuje u predviđene tablice. Svaki mjerni instrument posjeduje svoju knjižicu te je iz knjižice instrumenta za uspješno odrađivanje vježbi u pravilu potrebno proučiti relevantne podatke. Nakon provedenih vježbi, mjerni se rezultati sistematiziraju i iskazuju na zahtijevani način te se izrađuju potrebni dijagrami. Potrebno je do kraja popuniti predložak, uključujući i zadatke za izvještaj. Pritom pod „Komentar vježbe“ studenti mogu navesti svoje dojmove - primjerice, ono što su uočili na vježbi kao neobično ili neočekivano, što su novo naučili; mogu usporediti rezultate mjerenja dobivene različitim metodama ili instrumentima, navesti prijedloge za poboljšanje vježbe i sl. Popunjeno izvješće s odrađene laboratorijske ili laboratorijskih vježbi potrebno je dostaviti na uvid i provjeru u narednom terminu vježbi.

Prije rada u laboratoriju studenti moraju potpisati izjavu da su im poznate opasnosti u laboratoriju te da su svjesni mjera koje trebaju trajno poduzimati za sigurnost života, zdravlja i imovine.

OSNOVE ZAŠTITE PRI RADU U LABORATORIJU

Prilikom boravka u laboratoriju studenti se moraju odgovorno ponašati i pridržavati se pravila ponašanja koja će im pojasniti nastavnik. Neodgovorno ponašanje i rad u laboratoriju opasan je za samu osobu kao i ostale sudionike te opremu u laboratoriju. Zbog toga je potrebno savjesno obavljati sve obveze propisane radom na siguran način.

Naputci za rad na siguran način:

- nikada ne raditi samostalno; treba biti siguran da nam netko uvijek može priskočiti u pomoć ako zatreba;
- prije uporabe mjerne opreme, proučiti upute za uporabu;
- uvijek isključiti napajanje prije bilo kakvog prespajanja vodiča ili mjerne opreme;
- nositi suhu odjeću i obuću te ne rukovati mokrim rukama vodičima i mjernom opremom;
- prije spajanja provjeriti ispravnost vodiča;
- prilikom spajanja uvijek zadnje spojiti vodič s točkom najvećeg potencijala;
- u slučaju opasnosti odmah isključiti glavnu sklopku električnog napajanja laboratorija;
- u slučaju udara električnom strujom, postupiti prema uputama za pružanje prve pomoći, telefon Hitne pomoći 194;
- prije uključenja opreme (prvog uključenja i/ili prije ponovnog uključenja nakon prespajanja opreme) svakako zvati demonstratora ili nastavnika kako bi pregledao mjerni krug.

U Tablici 0.1 prikazane su posljedice izmjenične struje mrežne frekvencije koja teče kroz trup čovjeka tijekom jedne sekunde. Osim graničnih vrijednosti struje vrlo se često navode i granične vrijednosti napona (50 V). Otpor ljudskog tijela također ima značajnu ulogu pri određivanju dozvoljenih vrijednosti

napona dodira. Otpor (impedancija) ljudskog tijela može varirati unutar širokih granica (1 k Ω - 100 k Ω) ovisno kojim se putem zatvara struja kroz ljudsko tijelo (ruka-ruka, ruka-noga...), tjelesnoj građi, prijelaznim otporima na dodirnom mjestu (dodirna površina, vlaga...).

Tablica 0.1 Utjecaj struje na ljudsko tijelo

I/mA	POSLEDICE
1	Granica osjeta
5	Bezbolan osjet
10-20	Nevoljno grčenje mišića
50	Bol, slabost, gubitak daha, grčevi u mišićima i gubitak kontrole nad njima, što onemogućava ispuštanje iz ruke vodiča pod naponom, moguća smrt
100-300	Treperenje mišića srca, ometanje rada srca, smrt

Učinkovitu zaštitu od električnog udara postizemo uzemljenjem metalnih dijelova kućišta uređaja kojim rukujemo (uređaji koji se napajaju iz mreže 230 V/400 V u pravilu su uzemljeni preko zaštitnog uzemljenja vodiča za napajanje). Kod uzemljenog kućišta, u slučaju kratkog spoja kućišta s naponom, pregara ili se automatski isključuje osigurač čime se prekida spoj i nestaje opasnost od električnog udara i oštećenja mjerne opreme.

SMJERNICE PRI RADU U LABORATORIJU

Za spajanje pojedinih pokusa prema zadanim shemama, koristiti samo ispravne i neoštećene elemente. Prilikom tvorbe mjernog kruga treba paziti na sljedeće elemente:

- čvrstoću spojnih mjesta;
- neisprepletenost spojnih vodiča;
- preglednost mjernih instrumenata;
- redoslijed spajanja (od trošila prema izvoru, odnosno od točke nižeg potencijala prema točki višeg potencijala).

Prilikom mjerenja mjernim instrumentima, mjerni instrumenti ne mjere na svom ulazu samo signale koje želimo mjeriti. Signali koje još mjerimo, u većoj ili manjoj mjeri, smetnje su koje utječu na mjerni rezultat. Smetnje se u mjerni krug mogu prenositi elektromagnetskim ili kapacitivnim putem ili preko zajedničke mase. Uvijek treba prepoznati postojanje smetnji i pokušati otkloniti (smanjiti) utjecaj na mjerni rezultat.

MJERNA OPREMA

Laboratorij je opremljen radnim stolovima. U sklopu svakog radnog stola nalaze se dva radna mjesta koja su opremljena izvorom napajanja (panelom) istosmjernog i izmjeničnog napona 50 V i 250 V. Slika 0.1. prikazuje panel.



Slika 0.1 Panel na radnom mjestu

Preostala su mjerna oprema koja će se koristiti za provedbu laboratorijskih vježbi analogni i digitalni osciloskopi, analogni i digitalni multimetri, funkcijski generatori, digitalna brojila, analogni i digitalni vatmetri, strujna mjerna kliješta, prijenosni izvori, itd.

LV1: Uvodna vježba

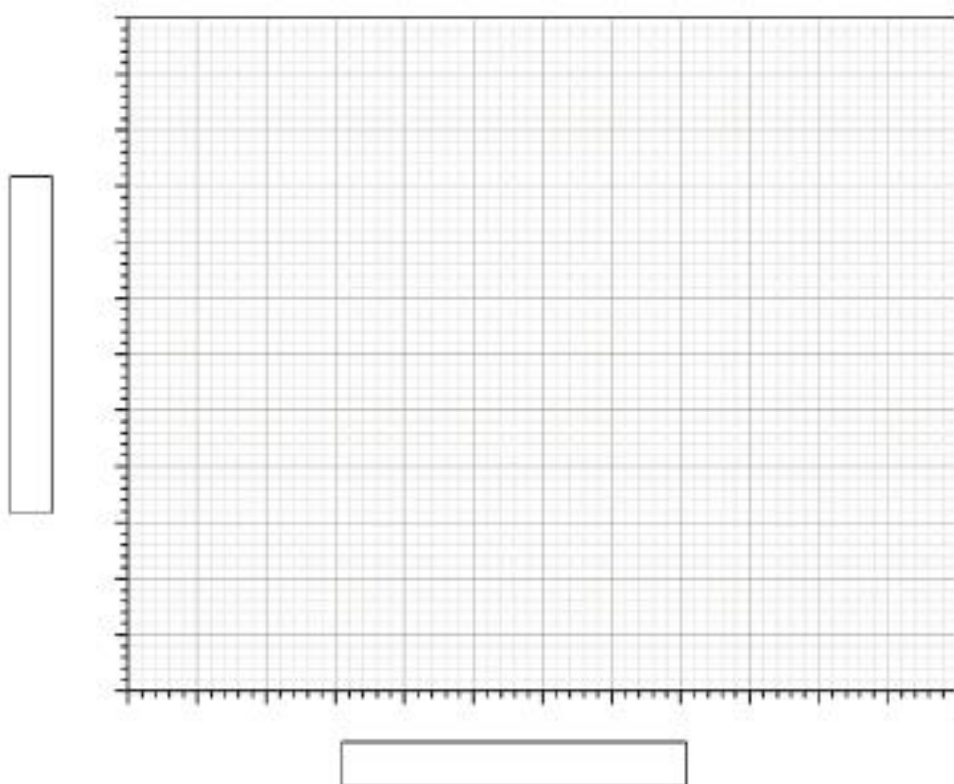
U ovoj vježbi studenti će se upoznati s laboratorijem u kojemu će se izvoditi vježbe te će im se ukratko objasniti osnovni načini mjerenja analognim i digitalnim instrumentom, kao i iskazivanje rezultata.

1.1 PITANJA ZA PRIPREMU

1. Objasnite razliku između analognog i digitalnog mjernog instrumenta.
2. Prilikom mjerenja nepoznate mjerene veličine (napona ili struje), s kojeg se mjernog područja započinje mjerenje? Zašto?
3. Objasnite pojmove otpor i otpornost.
4. Što znači DC i AC? Objasnite značaj navedenih oznaka u postupku mjerenja.
5. Koje se sve fizikalne veličine mogu mjeriti mjernim instrumentima (analognim i digitalnim)?
6. Što je obuhvatni faktor?

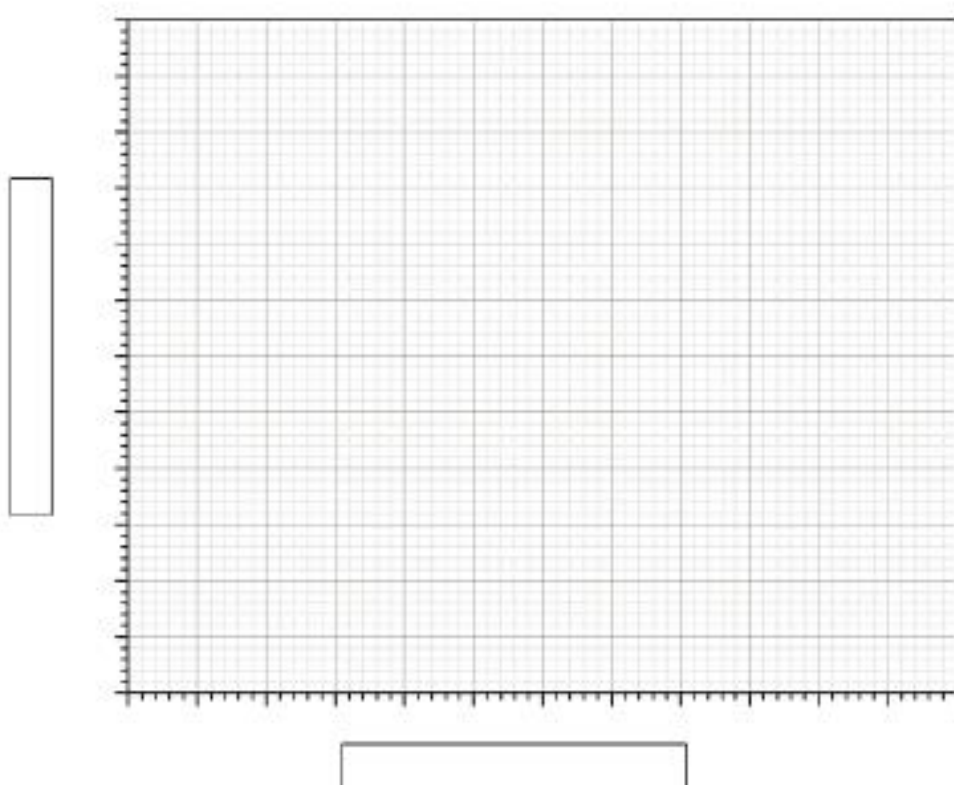
7. Za sedam odnosa izmjerene vrijednosti i vrijednosti mjernog dometa (M/D) u granicama od 0,1 do 1,0 odredite i nacrtajte krivulju promjene relativne pogreške mjernih rezultata (očitanja) dobivenih instrumentom razreda točnosti $r.t. = 1,0$.

M/D	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0
G_r							



8. Za sedam odnosa M/D (od 0,1 do 1,0) odredite i nacrtajte krivulje promjene relativne i apsolutne pogreške digitalnog instrumenta s $3 \frac{1}{2}$ znamenke ($MPDZ = 1999$) i dometom od 199,9 V (ako se preklopka instrumenta postavlja u položaj 200 V), ako je granična pogreška iskazana kao: (0,5 % očitavanja + 3 digita).

M/D	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0
G_r							
G_a							



9. Na digitalnom voltmetru očitano je 128,47 V, a procijenjena je mjerna nesigurnost 2,36 V. Kako glasi ispravno iskazan mjerni rezultat na S i N razini?

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

1.2 RAD U LABORATORIJU

1.2.1. POSTUPAK MJERENJA MJERNIM INSTRUMENTIMA

Opis zadatka

U ovoj vježbi izvršit će se mjerenje jedne mjerne veličine (napona) dvama instrumentima (digitalni i analogni) i prezentirati na koji se način trebaju obaviti sva mjerenja u narednim vježbama. Nakon obavljenih mjerenja iz knjižice instrumenata treba prepisati u Tablicu 1.1 potrebne podatke koji su vezani uz mjerne postupke. Također, iskažite rezultate mjerenja na S i N razini.

Popis opreme

Izvor istosmjernog napona s panela
Analogni multimetar
Digitalni multimetar
Spojni vodiči

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Odabrati na instrumentima odgovarajući mjerni domet i priključnice spojiti na odgovarajuće stezaljke instrumenta.
- 3) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Postupak mjerenja

- 1) Uključiti izvor napajanja i očitati izmjerene vrijednosti.
- 2) Isključiti izvor napajanja i odspojiti instrumente.
- 3) Prepisati potrebne podatke iz knjižice instrumenata.
- 4) Izračunati i iskazati rezultate mjerenja na S i N razini.

Tablica 1.1 Podaci instrumenata

	Analogni instrument	Digitalni instrument
Naziv i model instrumenta		
Mjerni domet		
Izmjerena veličina		
Razred točnosti ili granična pogreška		
Unutrašnji otpor		
Apsolutna pogreška G_a		
Postotna pogreška $G_{\%}$		
Iskaz rezultata na S razini		
Mjesto zadnje značajne znamenke L		
Iskaz rezultata na N razini		

Prostor za računanje:

1.3 ZADACI ZA IZVJEŠTAJ

1. Kakav treba biti unutarnji otpor voltmetra, a kakav ampermetra?
2. Navedite primjer za iskaz granične pogreške kod digitalnih i analognih mjernih instrumenata.
3. Navedite primjer jednodimenzionalnog prikaza i dvodimenzionalnog prikaza iste mjerene veličine.
4. Objasnite što se smatra pod „radom na siguran način“ u laboratoriju?
5. Izračunajte tražene vrijednosti prema zadanim podacima (domet i izmjerena vrijednost) iz Tablice 1.1 za analogni i digitalni mjerni instrument korišten na vježbi. Treba odrediti apsolutnu i postotnu pogrešku. Također, iskažite rezultate mjerenja na S i N razini. Pri određivanju ukupne mjerne nesigurnosti, uzmite u obzir samo B tip mjerne nesigurnosti (možemo pretpostaviti da bi ponavljanjem mjerenja dobivali iste vrijednosti napona pa bi mjerna nesigurnost A tipa bila jednaka nuli).

$D = 20 \text{ V}$	Pogreške analognog instrumenta		Pogreške digitalnog instrumenta	
M	5 V	19 V	5 V	19 V
Razred točnosti ili granična pogreška				
Apsolutna pogreška G_a				
Postotna pogreška $G_{\%}$				
Iskaz rezultata na S razini				
Mjesto zadnje značajne znamenke L				
Iskaz rezultata na N razini				

Prostor za računanje:

6. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV2: Izravna mjerenja digitalnim instrumentima

Cilj je ove vježbe stjecanje vještine i ispravno mjerenje digitalnim mjernim instrumentima te pravilno određivanje pogrešaka mjernih rezultata. Pomoću digitalnog multimetra potrebno je izmjeriti istosmjerne i izmjenične napone i struje kao i njihovu kombinaciju, zatim otpor, kapacitet, frekvenciju i sve ostale veličine kojima instrument raspolaže.

2.1 Pitanja za pripremu

1. Koji je najvažniji dio digitalnog multimetra (DMM) i koja je njegova uloga?
2. Kako digitalni multimetar mjeri otpor?
3. Kako prepoznati koji DMM mjeri stvarnu efektivnu vrijednost?
4. Koliki je mjerni domet instrumenta s $4 \frac{1}{2}$ znamenke?
5. Kako su specificirane pogreške kod digitalnih multimetara?
6. Kako digitalni voltmetar mjeri samo izmjeničnu komponentu napona?

7. Kolika je rezolucija digitalnog voltmetra s $3\frac{1}{2}$ znamenke na mjernom opsegu 20 V?

8. Izračunajte postotnu graničnu pogrešku G % ako je digitalnim voltmetrom s $3\frac{1}{2}$ izmjeren napon 68,35 (V) na mjernom opsegu od 200 V, a pogreška je dana na sljedeći način: $\pm (1\% \text{ rdg} + 3 \text{ digit})$.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

2.2 Rad u laboratoriju

2.2.1 Mjerenje istosmjernog napona

Opis zadatka

Pomoću dvaju različitih tipova digitalnih multimetara treba izmjeriti jednu vrijednost istosmjernog napona na dvama mjernim područjima. Za svako mjerenje treba odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku. Sve rezultate mjerenja i pogreške upisati u Tablicu 2.1.

Popis opreme

Stabilizirani izvor istosmjernog napona 0-30 V s panela

Digitalni multimetar

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti digitalni multimetar paralelno stabiliziranom izvoru tako da priključnicu COM na instrumentu spojimo vodičem na (-) stezaljku stabiliziranog izvora, a priključnicu V/ Ω na instrumentu na (+) stezaljku izvora.
- 3) Prije uključanja na instrumentu preklopkom postaviti maksimalno naponsko DCV mjerno područje, a napon na izvoru 0 V.
- 4) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Postupak mjerenja

- 1) Mjeriti istosmjerni napon stabiliziranog izvora U_m jednim digitalnim instrumentom na dvama mjernim područjima (M.P.), prema uputi nastavnika.
- 2) Isto to ponoviti s drugim tipom digitalnog instrumenta.
- 3) Rezultate upisati u Tablicu 2.1.
- 4) U Tablicu 2.1 upisati deklarirane granične pogreške iz uputa za svako mjerenje.
- 5) Za svako mjerenje odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku i upisati u Tablicu 2.1.

Tablica 2.1 Rezultati mjerenja istosmjernog napona s izračunom graničnih pogrešaka

NAZIV INSTRUMENTA	U_m (DC) [V]	M.P. (DC) [V]	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [V]	G_r	$G_{\%}$ [%]

Prostor za računanje:

2.2.2 Mjerenje izmjeničnog napona

Opis zadatka

Pomoću dvaju različitih tipova digitalnih multimetara treba izmjeriti jednu vrijednost izmjeničnog napona na dvama mjernim područjima. Za svako mjerenje treba odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku. Sve rezultate mjerenja i pogreške upisati u Tablicu 2.2.

Popis opreme

Izvor izmjeničnog napona s panela laboratorijskog stola

Signal generator

Digitalni multimetar

Spojni vodiči

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti digitalni multimetar paralelno izmjeničnom izvoru s panela laboratorijskog stola tako da priključnicu COM na instrumentu spojimo vodičem na jednu stezaljku izmjeničnog izvora, a priključnicu V/ Ω na instrumentu na drugu stezaljku izmjeničnog izvora.
- 3) Za mjerenje kombinacije izmjeničnog i istosmjernog napona kao izvor koristiti signal generator frekvencije 50 Hz.
- 4) Prije uključanja na instrumentu preklopkom postaviti maksimalno naponsko ACV mjerno područje ili autorange ako je dostupno, a napon na izvoru 0 V.

5) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!

Postupak mjerenja

- 1) Mjeriti izmjenični napon izvora U_m jednim digitalnim instrumentom na dvama mjernim područjima (MP), prema uputi nastavnika.
- 2) Mjeriti kombinaciju izmjeničnog i istosmjernog napona sa signal generatora 50 Hz.
- 3) Isto to ponoviti s drugim tipom digitalnog instrumenta.
- 4) Rezultate upisati u Tablicu 2.2.
- 5) U Tablicu 2.2 za svako mjerenje upisati granične pogreške iz uputa za korišteni instrument.
- 6) Za svako mjerenje odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku i upisati u Tablicu 2.2.

Tablica 2.2 Rezultati mjerenja izmjeničnog napona s izračunom graničnih pogrešaka

NAZIV INSTRUMENTA	U_m (AC) [V]	M.P. (AC) [V]	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [V]	G_r	$G\%$ [%]
NAZIV INSTRUMENTA	U_m (AC+DC) [V]	M.P. (AC) [V]	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [V]	G_r	$G\%$ [%]

Prostor za računanje:

2.2.3 Mjerenje istosmjerne struje

Opis zadatka

Pomoću dvaju različitih tipova digitalnih multimetara treba izmjeriti jednu vrijednost istosmjerne struje od 0 do 200 mA na dvama mjernim područjima prema Tablici 2.3. Za svako mjerenje treba odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku. Sve rezultate mjerenja i pogreške upisati u Tablicu 2.3.

Popis opreme

Stabilizirani izvor istosmjernog napona 0-30 V s panela

Otporna dekada ili potencijometar

Digitalni multimetar

Spojni vodiči

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje i jesu li svi izvori isključeni.
- 2) Spojiti digitalni multimetar u seriju sa stabiliziranim istosmjernim izvorom i otporom tako da stezaljku (-) stabiliziranog izvora spojnim vodičima spojimo na jedan kraj otpora, drugi kraj otpora spojimo na priključnicu COM instrumenta, a priključnicu A (mA) na instrumentu spojimo vodičem na (+) stezaljku stabiliziranog izvora.

- 3) Prije uključenja na instrumentu preklopkom postaviti maksimalno strujno ADC mjerno područje, napon na izvoru 0 V, otpornu dekadu ili potencijometar na maksimalan iznos.
- 4) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Postupak mjerenja

- 1) Mjeriti jednu odabranu istosmjernu struju stabiliziranog izvora I_m (DC) u rasponu od 0 do 200 mA, prema uputama nastavnika ili demonstratora, na dvama mjernim područjima M.P. jednim digitalnim instrumentom. Iznos otpora odrediti tako da kroz njega poteče željena struja, ali ne više od 200 mA.
- 2) Isto to ponoviti s drugim tipom digitalnog instrumenta.
- 3) Rezultate upisati u Tablicu 2.3.
- 4) U Tablicu 2.3 upisati deklarirane granične pogreške iz uputa za svako mjerenje.
- 5) Za svako mjerenje odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku i upisati u Tablicu 2.3.

Tablica 2.3 Rezultati mjerenja istosmjerne struje s izračunom graničnih pogrešaka

NAZIV INSTRUMENTA	I_m (DC) [mA]	M.P. (DC) [mA]	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [A]	G_r	$G_{\%}$ [%]

Prostor za računanje:

2.2.4 Mjerenje izmjenične struje

Opis zadatka

Pomoću dvaju različitih tipova digitalnih multimetara treba izmjeriti jednu odabranu izmjeničnu struju u rasponu od 0 do 200 mA na dvama mjernim područjima. Za svako mjerenje treba odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku. Sve rezultate mjerenja i pogreške upisati u Tablicu 2.4.

Popis opreme

Izvor izmjeničnog napona s panela laboratorijskog stola

Signal generator

Digitalni multimetar

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti digitalni multimetar u seriju s izmjeničnim izvorom s panela laboratorijskog stola i otporom tako da priključnicu COM na instrumentu spojimo vodičem na jednu stezaljku izmjeničnog izvora, a priključnicu A (mA) na instrumentu na jedan kraj otpora. Drugi kraj otpora spojimo na drugu stezaljku izmjeničnog izvora.
- 3) Prije uključjenja na instrumentu preklopkom postaviti maksimalno strujno ACA mjerno područje, napon na izvoru 0 V, otpornu dekadu ili potencijometar na maksimalni iznos.
- 4) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Postupak mjerenja

- 1) Mjeriti izmjeničnu struju izvora I_m (AC) od 0 do 200 mA jednim digitalnim instrumentom na dvama mjernim područjima M.P. prema uputama nastavnika. Iznos otpora odrediti tako da kroz njega poteče željena struja, ali ne više od 200 mA.
- 2) Prema uputama nastavnika mjeriti kombinaciju izmjenične i istosmjerne struje (AC +DC) sa signal generatora 50 Hz.
- 3) Isto to ponoviti s drugim tipom digitalnog instrumenta.
- 4) Rezultate upisati u Tablicu 2.4.
- 5) U Tablicu 2.4 upisati deklarirane granične pogreške iz uputa za svako mjerenje.
- 6) Za svako mjerenje odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku i upisati u Tablicu 2.4.

Tablica 2.4 Rezultati mjerenja izmjenične struje s izračunom graničnih pogrešaka

NAZIV INSTRUMENTA	I_m (AC) [mA]	M.P. (AC) [mA]	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [A]	G_r	$G_{\%}$ [%]
NAZIV INSTRUMENTA	I_m (AC+DC) [mA]	M.P. (AC) [mA]	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [A]	G_r	$G_{\%}$ [%]

Prostor za računanje:

2.2.5 Mjerenje otpora

Opis zadatka

Digitalnim multimetrom izmjeriti jednu vrijednost otpora R_m na dvama različitim mjernim područjima, prema uputi nastavnika, te ih upisati u Tablicu 2.5. U istu tablicu upisati granične apsolutne, relativne i postotne pogreške, naziv instrumenta i mjerno područje (MP)

Popis opreme

Otpori razni, maketa, otporna dekada

Digitalni multimetar

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti digitalni multimetar paralelno mjerenom otporu tako da priključnicu V/ Ω na instrumentu spojimo na jedan kraj otpora, a priključnicu COM na instrumentu na drugi kraj otpora.
- 3) Prije uključjenja na instrumentu preklopkom postaviti maksimalno Ohm mjerne područje.
- 4) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Postupak mjerenja

- 1) Mjeriti vrijednost nepoznatog otpora na dvama mjernim područjima (MP) s jednim digitalnim instrumentom.
- 2) Isto to ponoviti s drugim tipom digitalnog instrumenta.
- 3) Rezultate upisati u Tablicu 2.5.
- 4) U Tablicu 2.5 upisati deklarirane granične pogreške iz uputa za svako mjerenje.
- 5) Za svako mjerenje odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku i upisati u Tablicu 2.5.

Tablica 2.5 Rezultati mjerenja otpora s izračunom graničnih pogrešaka

NAZIV INSTRUMENTA	R_m [Ω]	M.P. [Ω]	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [Ω]	G_r	$G_{\%}$ [%]
DMM 1						
DMM 2						

Prostor za računanje:

2.2.6 Mjerenje ostalih električnih i neelektričnih veličina

Opis zadatka

Ova se mjerenja odnose na one instrumente koji imaju mogućnost mjerenja drugih veličina kao npr. frekvencija, kapacitet, osvijetljenost, temperatura, vlažnost i buka. Provesti dostupna mjerenja za navedene veličine, rezultate, mjerna područja i pogreške iz uputa upisati u Tablicu 2.6.

Popis opreme

Digitalni multimetar

Oprema prema zahtjevima mjerene veličine iz uputa

Postupak mjerenja

- 1) Iz uputa za instrument proučiti koje se sve veličine mogu mjeriti; postupak i granične pogreške.

- 2) Prema postupku mjerenja pripremiti svu potrebnu opremu.
- 3) Provesti mjerenje za one veličine koji instrument ima mogućnosti, prema postupku iz uputa, te rezultate upisati u Tablicu 2.6.
- 4) U Tablicu 2.6 upisati deklarirane granične pogreške iz uputa za svako mjerenje.
- 5) Za svako mjerenje odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku i upisati u Tablicu 2.6.

Tablica 2.6 Rezultati mjerenja raznih veličina s izračunom graničnih pogrešaka

MJERENA VELIČINA	NAZIV INSTRUMENTA	IZNOS MJERENJA	M.P.	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [m.j.]	G_r	$G\%$ [%]
frekvencija f [Hz]							
kapacitet C [F]							
osvijetljenost E [lux]							
temperatura T [°C]							
vlažnost RH [%]							
Buka L [dB]							

Prostor za računanje:

2.2.7 Ispitivanje dioda i tranzistora

Opis zadatka

Ako instrument ima mogućnosti ispitivanja dioda i tranzistora, provesti ispitivanje za odabrane diode i tranzistore prema postupku iz uputa.

Popis opreme

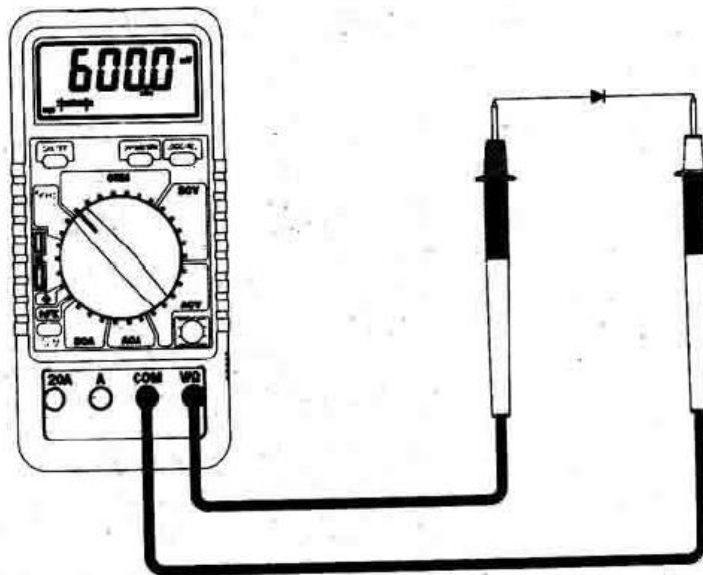
Digitalni multimetar

Poluvodičke diode

Poluvodički tranzistori PNP i NPN tipa

Postupak

- 1) Kod ispitivanja dioda staviti preklopku u položaj s oznakom  (Slika 2.1).
- 2) Priključnicu V/ Ω spojiti na anodu, a katodu diode na priključnicu COM. Ako je dioda ispravna, instrument će pokazati napon od 500 do 700 mV.
- 3) Ako se zamijene priključnice, instrument neće pokazati ništa jer je ispravna dioda polarizirana u nepropusnom smjeru. U suprotnom, ako ima nekakvo pokazivanje, dioda je neispravna.



Slika 2.1 Ispitivanje ispravnosti dioda

- 4) Kod ispitivanja tranzistora ne koriste se priključnice, već konektori na instrumentu s oznakama E (emiter), B (baza), C (kolektor) za NPN i PNP tip tranzistora.
- 5) Na priloženom tranzistoru odrediti oznake nožica E, B i C.
- 6) Umetnuti tranzistor u konektor instrumenta i paziti da se oznake tranzistora i konektora poklapaju.
- 7) Postaviti preklopnik instrumenta u položaj s oznakom h_{FE} (pojačanje).
- 8) Ispravan će tranzistor pokazati vrijednost pojačanja prema vrijednosti iz tehničkih specifikacija za zadani tip tranzistora koje se nalaze na stolu za mjerenje. Ako nema pojačanja ili odstupa od zadanih vrijednosti, tranzistor je neispravan.
- 9) Upisati vrijednosti u Tablicu 2.7.

Tablica 2.7 Rezultati ispitivanja dioda i tranzistora

NAZIV KOMPONENTE	NAZIV INSTRUMENTA	U_{AK} [mV]	U_{KA} [mV]	POJAČANJE h_{FE}	ISPRAVNO DA - NE

2.3 Zadaci za izvještaj

1. Kako digitalni instrumenti mjere napon?
2. Kako digitalni instrumenti mjere struju?
3. Koje su se sve veličine mjerile na vježbi?
4. Koji se sve instrumenti koriste na vježbama?
5. Kako se određuje rezolucija kod digitalnog instrumenta? Navedite primjer.
6. Objasnite kako se određuje granična, relativna i postotna pogreška mjerenja struje kod digitalnih instrumenata.
7. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV3: Izravna mjerenja analognim instrumentima

Cilj je ove vježbe stjecanje vještine i ispravno mjerenje analognim mjernim instrumentima te pravilno određivanje pogrešaka mjernih rezultata. Pomoću analognog multimetra potrebno je mjeriti:

- istosmjerni napon;
- izmjenični napon;
- istosmjernu struju;
- otpor;
- mjerenje ostalih električnih i neelektričnih veličina ovisno o mogućnostima multimetra.

Mjeriti u cijelom mjernom opsegu. Za svako mjerenje izračunati granične pogreške. Pažljivo pročitati upute u knjižici instrumenta.

Kada se koristi analogni univerzalni instrument, obavezno paziti da se preklopka postavi u odgovarajući položaj, spoji mjerni signal na odgovarajuće priključnice te se očitava na odgovarajućoj skali. Ako se mjeri nepoznata vrijednost napona/struje, potrebno je odabrati najveći domet.

3.1 Pitanja za pripremu

1. Koje sve vrste skale postoje? Gdje se može nalaziti nula na skali? Gdje se nalazi nula na logaritamskoj skali?
2. Koja su specifičnosti skale pri mjerenju otpora?
3. Što je razred točnosti analognog instrumenta? Koji su standardni razredi točnosti analognih instrumenata? Kako se računa granična apsolutna pogreška iz razreda točnosti?
4. Koliki je unutrašnji otpor idealnog voltmetra, a koliki idealnog ampermetra? Kako računamo unutrašnji otpor analognog voltmetra iz karakterističnog otpora r_V [Ω/V]?

5. Napišite diferencijalnu jednadžbu gibanja kazaljke te pojasnite sve veličine koje se nalaze u jednadžbi i njihove mjerne jedinice.
6. Riješite jednadžbu gibanja ako mehanizmom teče struja DC struja $I = 200 \text{ mA}$. Još je poznato: $J = 10^{-5} \text{ kgm}^2/\text{rad}$, $P = 5 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2/(\text{rad} \cdot \text{s})$, $D = 25 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2/(\text{rad} \cdot \text{s}^2)$ i $k_i = \frac{5\pi}{9} 10^{-3} \text{ Nm/A}$. Također, poznati su početni uvjeti: $\alpha(t = 0) = 0 \text{ rad}$ i $\frac{d\alpha(t=0)}{dt} = 0 \text{ rad/s}$.
7. Voltmetar je spojen na realni istosmjerni (DC) naponski izvor napona praznog hoda $E = 12 \text{ V}$ i unutrašnjeg otpora $R = 50 \Omega$ (ovo su tipične vrijednosti unutrašnjeg otpora kod funkcijskog generatora). Odredite pokazivanje voltmetra ako je:
- Voltmetar realan unutrašnjeg otpora $200 \text{ k}\Omega$
 - Voltmetar realan unutrašnjeg otpora $50 \text{ k}\Omega$
 - Voltmetar idealan

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

3.2 Rad u laboratoriju

3.2.1 Mjerenje istosmjernog napona

Opis zadatka

Pročitati i prepisati osnovne specifikacije analognog multimetra koji ste dobili na stolu u Tablicu 3.1, a odnose se na mjerenje napona na DC području. Izmjeriti istosmjerni napon stabiliziranog izvora na dvama različitim dometima (ograničenje pri izboru dometa maksimalna je vrijednost izlaznog napona izvora) te na svakom od dometa izmjeriti dvije različite vrijednosti napona (prvu vrijednost odabrati tako da otklon bude unutar prve polovice skale, a drugu vrijednost odabrati s druge polovice skale). Sva mjerenja provesti dvama različitim instrumentima. Rezultate mjerenja upisati u Tablicu 3.1.

Popis opreme

Stabilizirani izvor napajanja s panela

Dva različita analogna multimetra

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Uključiti stabilizirani izvor napajanja, odrediti maksimalnu vrijednost izlaznog napona napajanja iz uputa ili natpisa na samom izvoru.
- 3) Odabrati na instrumentu odgovarajući naponski domet i priključnice spojiti na odgovarajuće stezaljke instrumenta. Analogni multimetar spojiti u paralelu sa stabiliziranim istosmjernim izvorom tako da priključnicu COM na instrumentu spojimo vodičem na (-) stezaljku stabiliziranog izvora, a priključnicu V na instrumentu spojimo na (+) stezaljku stabiliziranog izvora.
- 4) Priključiti instrument i izvor napajanja te provesti mjerenja opisana u zadatku.
- 5) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Tablica 3.1 Mjerenje napona na DC području

NAZIV INSTRUMENTA	Domet (DC) [V]	Mjereno (DC) [V]	$r. t. = G_{\%,D}$ (Očitati s instrumenta ili iz dokumentacije)	$G_a[V]$	$G_{\%,M}$
(AMM 1) _____					
(AMM 2) _____					

Prostor za računanje (dovoljno je pokazati po jedan proračun za svaku traženu veličinu):

3.2.2 Mjerenje izmjeničnog napona

Opis zadatka

Pročitati i prepisati osnovne specifikacije analognog multimetra koji ste dobili na stolu u Tablicu 3.2, a odnose se na mjerenje napona na AC području. Izmjeriti izmjenični napon gradske mreže (linijski i fazni) istovremeno dvama, ne nužno istim instrumentima. Najprije pratiti dva fazna, a zatim dva linijska napona. Za svako mjerenje popuniti Tablicu 3.2.

Popis opreme

Dva analogna multimetra

Utičnica s panela

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Odabrati na instrumentu odgovarajući naponski domet i priključnice spojiti na odgovarajuće stezaljke instrumenta. Analogni multimetar spojiti paralelno u utičnicu tako da priključnicu COM na instrumentu spojimo vodičem na nulu utičnice, a priključnicu V na instrumentu spojimo na fazu utičnice. Posebno paziti na odabir priključnica pri mjerenju linijskog napona.
- 3) Spojiti instrument na fazni/linijski napon. PAŽNJA: Napon gradske mreže opasan je po život.
- 4) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Tablica 3.2 Mjerenje napona na AC području

Napon		Domet (AC) [V]	Mjereno (AC) [V]	$r. t. = G_{\%,D}$ (Očitati s instrumenta ili iz dokumentacije)	$G_a[V]$	$G_{\%,M}$
FAZNI	L1					
	L2					
LINIJSKI	L1-L2					
	L2-L3					

Prostor za računanje (dovoljno je pokazati po jedan proračun za svaku traženu veličinu):

3.2.3 Mjerenje istosmjerne struje

Opis zadatka

Pročitati i prepisati osnovne specifikacije analognih multimetara koje ste dobili na stolu u Tablicu 3.3, a odnose se na mjerenje struje na DC području. Izmjeriti jednu vrijednost struje kroz žarulju (12V, 0,6A) dvama različitim instrumentima na dva različita dometa. Izvor je stabilizirani izvor s panela. Rezultate mjerenja upisati u Tablicu 3.3.

Popis opreme

Žarulja (12V, 0,6A)

Stabilizirani izvor s panela

Analogni instrument

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Odabrati na instrumentu odgovarajući strujni domet i priključnice spojiti na odgovarajuće stezaljke instrumenta. Spojiti analogni multimetar u seriju sa stabiliziranim istosmjernim izvorom i žaruljom tako da priključnicu COM na instrumentu spojimo vodičem na (-) stezaljku stabiliziranog izvora, a priključnicu A (mA) na instrumentu na jedan kraj žarulje. Drugi kraj žarulje spojimo na (+) stezaljku stabiliziranog izvora.
- 3) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Tablica 3.3 Mjerenje struje na DC području

NAZIV INSTRUMENTA	Domet (DC) [A]	Mjereno (DC) [A]	$r. t. = G_{\%,D}$ (Očitati s instrumenta ili iz dokumentacije)	G_a [A]	$G_{\%,M}$
(AMM 1) _____					
(AMM 2) _____					

Prostor za računanje:

3.2.4 Mjerenje izmjenične struje

Opis zadatka

Pročitati i prepisati osnovne specifikacije analognih multimetara koje ste dobili na stolu u Tablicu 3.4, a odnose se na mjerenje struje na AC području. Izmjeriti jednu vrijednost struje žarulje na dvama različitim dometima. Izvor je gradska mreža. Rezultate mjerenja upisati u Tablicu 3.4.

Popis opreme

Žarulja (230 V)

Analogni instrument

Utičnica s panela

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Odabrati na instrumentu odgovarajući strujni domet i priključnice spojiti na odgovarajuće stezaljke instrumenta. Spojiti analogni multimetar u seriju s utičnicom i žaruljom tako da priključnicu COM na instrumentu spojimo vodičem na nulu utičnice, a priključnicu A (mA) na instrumentu na jedan kraj žarulje. Drugi kraj žarulje spojimo na fazu utičnice.
- 3) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**
- 4) Prije promjene dometa obavezno isključiti napajanje. Nije dopušteno mijenjati strujni domet (položaj preklopke) dok krugom teče struja (posebno ako krug sadrži zavojnice/transformatore).

Tablica 3.4 Mjerenja struje na AC području

NAZIV INSTRUMENTA	Domet (AC) [A]	Mjereno (AC) [A]	$r. t. = G_{\%,D}$ (Očitati s instrumenta ili iz dokumentacije)	G_a [A]	$G_{\%,M}$
(AMM 1) _____					
(AMM 2) _____					

Prostor za računanje:

3.2.5 Mjerenje otpora

Opis zadatka

Pročitati i prepisati osnovne specifikacije analognih multimetara koje ste dobili na stolu u Tablicu 3.5, a odnose se na mjerenje otpora. Izmjeriti dvije različite vrijednosti otpora pomoću dekade na dvama različitim multiplikatorima (dometima). Rezultate mjerenja unijeti u Tablicu 3.5.

Popis opreme

Otpornička dekada

Analogni instrument

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Odabrati na instrumentu odgovarajući položaj preklopke i priključnice kratko spojiti te podesiti potencijetrom na instrumentu otklon kazaljke na nulu na skali za mjerenje otpora.
- 3) Nakon podešavanja nul položaja priključnice spojiti na otpornu dekadu.
- 4) Na dekadi postaviti dvije različite vrijednosti otpora i za svaku vrijednost provesti mjerenja na dvama različitim multiplikatorima (dometima).
- 5) Pri ovom mjerenju nema dodatnog izvora napajanja, tj. izvor napajanja nalazi se unutar samog instrumenta pa nema izravne opasnosti pri izvođenju ovog mjerenja. (Napomena: Inače je pogubno za instrument ako se preklopka postavi u položaj za mjerenje otpora te se mjeri napon ili struja)
- 6) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Tablica 3.5 Mjerenje otpora

NAZIV INSTRUMENTA	Multiplikator [1]	Mjereno [Ω]	$r. t. = G_{\%,D}$ (Očitati s instrumenta ili iz dokumentacije)	G_a [Ω]	$G_{\%,M}$
(AMM 1) _____					

Prostor za računanje:

3.2.6 Mjerenje ostalih električnih i neelektričnih veličina

Opis zadatka

Pročitati i prepisati osnovne specifikacije analognih multimetara koje ste dobili na stolu u Tablicu 3.6, a odnose se na mjerenje neelektričnih veličina (frekvencije, kapaciteta, osvjetljenosti, temperature, vlažnosti i buke). Moguće je da neke od navedenih veličina instrument ne može mjeriti, stoga pripadne retke u Tablici 3.6 treba prekrižiti. Proučiti iz uputa način spajanja instrumenta pri mjerenju neelektričnih veličina.

Popis opreme

Analogni multimetar

Kondenzator

Funkcijski generator

Spojni vodiči

Postupak

- 6) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 7) Iz uputa za instrument proučiti koje se sve veličine mogu mjeriti, postupak i granične pogreške.
- 8) Prema postupku mjerenja, pripremiti svu potrebnu opremu.
- 9) Provesti mjerenje za one veličine koji instrument ima mogućnosti te rezultate upisati u Tablicu 3.6.
- 10) U Tablicu 3.6 upisati deklarirane granične pogreške iz uputa za svako mjerenje.
- 11) Za svako mjerenje odrediti graničnu apsolutnu, relativnu i postotnu pogrešku i upisati u Tablicu 3.6.

Tablica 3.6 Mjerenje ostalih električnih i neelektričnih veličina

MJERENA VELIČINA	NAZIV INSTRUMENTA	IZNOS MJERENJA	M.P.	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [m.j.]	$G_{\%,M}$
frekvencija f [Hz]						
kapacitet C [F]						
osvjetljenost E [lux]						
temperatura T [°C]						
vlažnost						

<i>RH</i> [%]						
buka <i>L</i> [dB]						

Prostor za računanje:

3.3 Zadaci za izvještaj

1. Koji je sklop potrebno dodati otklonskom mehanizmu s permanentnim magnetom i pomičnim svitkom kako bi mogao mjeriti izmjenične veličine (struju i napon)?
2. Izračunajte faktor oblika za sinusni valni oblik pomoću integrala.
3. Što je pogreška paralakse? Kako se ona može umanjiti? Kolika je razlučivost ljudskog oka?
4. Objasnite zašto je instrument, čija se granična pogreška iskazuje s obzirom na domet, najtočniji (najmanja relativna pogreška s obzirom na mjerenu vrijednost) kada je otklon kazaljke što veći.
5. Odredite omjer amplitude oscilacija na frekvenciji gradske mreže (osnovni/prvi harmonik) i amplitude otklona kazaljke uzrokovanog nultim harmonikom ($\frac{\hat{\alpha}(1)}{\hat{\alpha}(\omega=0)}$). Neka je otklonski mehanizam s pomičnim svitkom podešen za mjerenje napona na DC području. Neka su parametri otklonskog mehanizma $\omega_0 = 5 \text{ 1/s}$ i $s = 0,5$.
6. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV 4: Neizravna (posredna) mjerenja

U ovoj će se vježbi studenti upoznati s nekim od metoda i primjera neizravnih (posrednih mjerenja) te s izračunom mjerne nesigurnosti za takva mjerenja.

4.1 Pitanja za pripremu

1. Što je matematički model mjerenja i kako se prema njemu računa složena mjerna nesigurnost?

2. Kako se nazivaju parcijalne derivacije u izrazu za složenu mjernu nesigurnost?

3. Pod kojom je pretpostavkom opravdano koristiti izraz za izračun složene mjerne nesigurnosti?

4. Kako korelacija mjerenih varijabli može utjecati na iznos mjerne nesigurnosti?

5. Otpornost otpornika zadana je izrazom:

$$R = \frac{U}{I}$$

Odredite mjernu nesigurnost otpornosti R ako su dani sljedeći podatci na S razini: napon $U=(21,33\pm0,21)$ V i struja $I=(80,00\pm0,10)$ mA. Iskažite rezultat na S i N razini.

6. Na raspolaganju imamo dva kondenzatora $C_1 = 100$ nF i $C_2 = 470$ nF s tolerancijom (graničnom pogreškom) od ± 10 %. Potrebno je procijeniti mjernu nesigurnost nadomjesnog kapaciteta spajanjem navedenih dvaju kondenzatora:

- a) serijski
- b) paralelno

Iskažite rezultat na S i N razini.

7. Masa tijela m izmjerena je nul-metodom (polužnom vagom) pomoću dvaju utega $m_1 = (1,0000 \pm 0,0050)$ kg i $m_2 = (0,5000 \pm 0,0040)$ kg. Koliko iznosi mjerna nesigurnost izmjerene mase (uz zanemarenje nesigurnosti određivanja ravnotežnog položaja vage)?
8. Pri mjerenju snage vatmetrom ($P = I^2 R$), na otporniku poznatog otpora $R = (1,0000 \pm 0,0040)$ Ω , izmjerena je struja $I = (10,000 \pm 0,050)$ A. Koliko iznosi postotna nesigurnost $u_{\%}(P)$ izmjerene snage?

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

4.2 Rad u laboratoriju

4.2.1 Mjerenje otpora U-I metodom

Opis zadatka

Cilj je izmjeriti otpor R te iskazati mjerni rezultat na S i N razini. Izmjeriti otpor U-I metodom.

Popis opreme

Voltmetar

Ampermetar

Istosmjerni izvor napajanja s panela

Otpornik s panela (10 k Ω)

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti izvor, ampermetar, voltmetar i otpornik s panela.
- 3) Očitavanja napona i struje ponoviti pet puta s razmacima od pola minute. Rezultate mjerenja upisati u Tablicu 4.1. Nakon obrade rezultata popuniti Tablicu 4.2.
- 4) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Tablica 4.1 Mjerenje otpora U-I metodom

Br.	U [V]	$u_A(\bar{U})$ [V]	$u_B(\bar{U})$ [V]	I [A]	$u_A(\bar{I})$ [A]	$u_B(\bar{I})$ [A]	$\bar{R}$ [Ω]
1							
2							
3							
4							
5							
X	$\bar{U}$ [V]	$u(\bar{U})$ [V]		$\bar{I}$ [A]	$u(\bar{I})$ [A]		$u(\bar{R})$ [Ω]
X							

Prostor za računanje:

Tablica 4.2 Iskaz rezultata mjerenja na S i N razini

S razina R [Ω]	L	N razina R [Ω]

Prostor za računanje:

4.2.2 Serijski/paralelni spoj kondenzatora

Opis zadatka

Izmjeriti kapacitet dvaju kondenzatora (po jedno mjerenje, odnosno potrebno je uvažiti samo nesigurnost B tipa) te, na temelju graničnih pogrešaka mjernog uređaja, procijeniti mjernu nesigurnost pojedinog kondenzatora. Kondenzatore spojiti serijski, a zatim i paralelno te ponoviti mjerenja. Procijeniti mjernu nesigurnost ukupnog kapaciteta na temelju graničnih pogrešaka mjernog uređaja i posredne mjerne nesigurnosti (vidi zadatak br. 6. za pripremu) gdje je mjerna nesigurnost pojedinog kondenzatora određena graničnim pogreškama mjernog uređaja, a ne tolerancijom samog kondenzatora.

Popis opreme

Dvije kondenzatorske dekade

RLC metar

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Podesiti vrijednosti kapaciteta na dekadama (pitati nastavnika vrijednosti koje je potrebno postaviti na dekadama) i izmjeriti RLC metrom kapacitet pojedine dekade, a podatke upisati u Tablicu 4.3.
- 3) Spojiti dekade serijski i izmjeriti kapacitet RLC metrom, a izmjerenu vrijednost C_M napisati u Tablicu 4.4.
- 4) Spojiti dekade paralelno i izmjeriti kapacitet RLC metrom, a izmjerenu vrijednost C_M napisati u Tablicu 4.4.
- 5) Na temelju izmjerenih pojedinačnih vrijednosti upisanih u Tablicu 4.3, potrebno je izračunati vrijednost C_T za serijski/paralelni spoj kapaciteta te vrijednosti upisati u Tablicu 4.4.
- 6) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Tablica 4.3 Granična pogreška i mjerna nesigurnost pojedinog mjerenja kapaciteta

Oznaka RLC metra	Izmjereni kapacitet C [nF]	Granične pogreške mjernog uređaja	Mjerna nesigurnost kapaciteta $u(C)$ [nF]
		$\pm 2 \%rdg$	
		$\pm 2 \%rdg$	

Prostor za računanje:

Tablica 4.4 Mjerenja na serijsko/paralelnoj kombinaciji

Spoj	Izmjereni kapacitet C_M	Granična pogreška izmjerenog kapaciteta	Izračunati kapacitet C_T	Postotna pogreška $p\% = \frac{C_M - C_T}{C_T} * 100\%$
Serijski				
Paralelno				

Prostor za računanje:

4.3 Zadaci za izvještaj

1. Pri posrednom mjerenju otpora navedite udio mjerne nesigurnosti napona A i B tipa u ukupnoj nesigurnosti napona, a zatim istu usporedbu napravite za struju. Je li potrebno provoditi više mjerenja napona/struje u ovom slučaju ili je jedno mjerenje dovoljno?
2. Na temelju izmjerenih vrijednosti napona i struje iz Tablice 4.1, potrebno je iskazati snagu disipiranu na otporniku ($P = UI$) na S i N razini.
3. Izračunajte mjerne nesigurnosti izravnog mjerenja serijske/paralelne kombinacije na temelju graničnih pogrešaka RLC-metra, a zatim odredite mjernu nesigurnost posredno izračunatog kapaciteta ako se mjerna nesigurnost pojedinog kondenzatora preuzme iz Tablice 4.3. Je li mjerna nesigurnost veća kod izravnog ili kod neizravnog mjerenja?

Spoj	Mjerna nesigurnost određena izravnim mjerenjem RLC metrom	Posredno izračunata mjerna nesigurnost
Serijski		
Paralelno		

4. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV 5: Mjerenja analognim osciloskopom

Cilj je vježbe savladati osnovna znanja iz tehnike mjerenja i rukovanja osciloskopom. U vježbi će se provoditi mjerenja faznog pomaka napona i struje u serijskom RC i RLC krugu.

5.1. Pitanja za pripremu

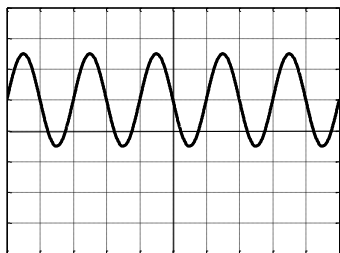
1. Navedite osnovne dijelove osciloskopa.
2. Kako se upotrebljavaju naponske sonde i zašto ih treba ugađati?
3. Što je Y-t, a što Y-X način rada osciloskopa?
4. Kako se osciloskopom mjeri struja?
5. Kako se osciloskopom mjeri fazni pomak između dvaju napona?
6. Kako se osciloskopom mjeri frekvencija napona?

7. Ako je odabrana vremenska baza s faktorom horizontalnog otklona 10 ms/DIV, koliko se perioda mrežnog napona može vidjeti na zaslonu?

8. U kojim slučajevima treba osciloskop priključiti na napajanje preko odvojnog transformatora?

9. Očitati i upisati u tablicu vršne vrijednosti napona U_m , vršnu vrijednost izmjenične komponente napona U_{ACm} , istosmjernu komponentu napona U_{DC} , frekvenciju f i periodu T , Slika 5.1.

$F_x=0,05s/DIV$, $F_y=2V/DIV$

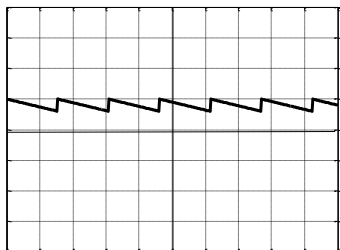


F_x [s/div]	F_y [V/div]	U_m [V]	U_{ACm} [V]	U_{DC} [V]	T [s]	f [Hz]
0,05	2					

Slika 5.1 Mjerenje sinusnog valnog oblika

10. Očitati i upisati u tablicu vršne vrijednosti napona U_m , vršnu vrijednost izmjenične komponente napona U_{ACm} , istosmjernu komponentu napona U_{DC} , frekvenciju f i periodu T , Slika 5.2.

$F_x=0,005s/DIV$, $F_y=5V/DIV$

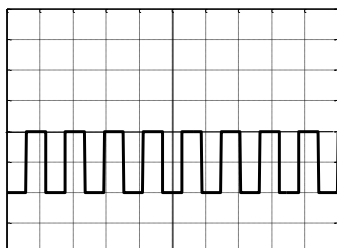


F_x [s/div]	F_y [V/div]	U_m [V]	U_{ACm} [V]	U_{DC} [V]	T [s]	f [Hz]
0,005	5					

Slika 5.2 Mjerenje pilastog valnog oblika

11. Očitati i upisati u tablicu vršne vrijednosti napona U_m , vršnu vrijednost izmjenične komponente napona U_{ACm} , istosmjernu komponentu napona U_{DC} , frekvenciju f i periodu T , Slika 5.3.

$F_x=0,001s/DIV$, $F_y=0.1V/DIV$



F_x [s/div]	F_y [V/div]	U_m [V]	U_{ACm} [V]	U_{DC} [V]	T [s]	f [Hz]
0,001	0,1					

Slika 5.3 Mjerenje pravokutnog valnog oblika

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

5.2 Rad u laboratoriju

5.2.1 Mjerenje struje

Opis zadatka

U ovom dijelu vježbe treba izmjeriti vršnu vrijednost i snimiti valni oblik struje. Kako je ulazna veličina u osciloskop uvijek napon, struja se mora neizravno mjeriti i to na dva načina - prekidanjem strujnog kruga (mjerenjem pada napona na otporu male vrijednosti) i bez prekidanja strujnog kruga korištenjem strujnih sondi (Hallova sonda i Rogowski svitak).

Popis opreme

Osciloskop

Strujna Hallova sonda ili Rogowski svitak

Otpornik $0,1 \Omega$ / 5 W (panel)

Transformator 30V/12V (panel)

BNC-banana utikač

Izvor izmjeničnog napona (panel)

Postupak spajanja

5) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.

1) Primar transformatora spojiti u seriju sa otpornikom od $0,1 \Omega$ / 5 W (panel) na izvor izmjeničnog napona s radnog panela (Slika 5.4).

2) Spojnim vodičem spojiti stezaljku B transformatora na prvi kanal CH1 osciloskopa.

3) Nul točku osciloskopa spojiti na stezaljku N izvora napona s panela.

4) Hallovu sondu ili Rogowski svitak BNC kabelom spojiti na drugi kanal CH2 osciloskopa.

5) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!

Postupak mjerenja

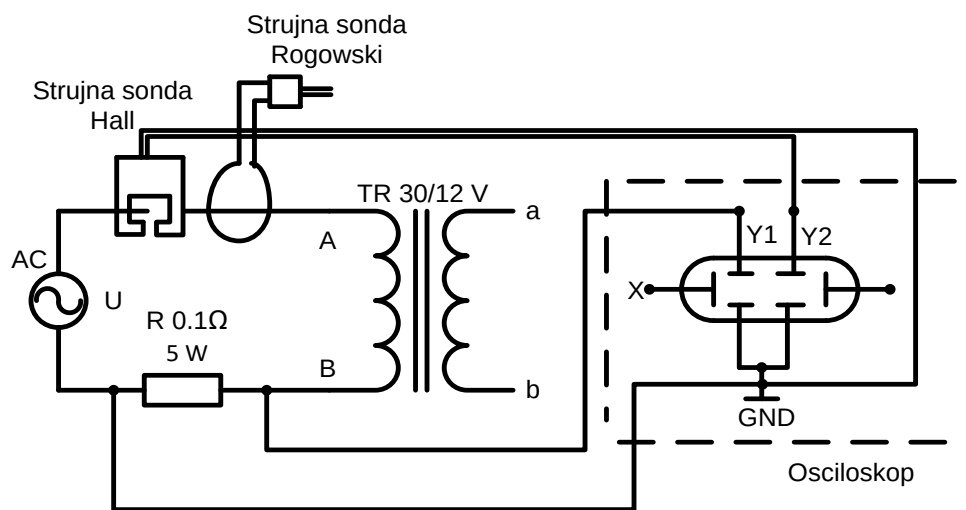
1) Uključiti osciloskop na mrežu i provesti kalibraciju.

2) Podesiti izmjenični napon s panela na 30 V 50 Hz.

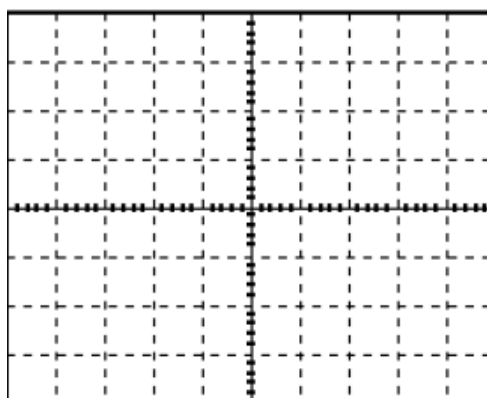
3) Obuhvatiti vodič na primarnoj strani transformatora strujnim kliještima ili Rogowskim svitkom te odabrati osjetljivost.

4) Mijenjati položaj preklopke TIME/DIV i VOLT/DIV na osciloskopu sve dok na zaslonu ne bude signal 1-2 periode i amplituda (u podjeljcima) najveća moguća, ali da ne prelazi granice zaslona.

5) Nacrtati ili snimiti valne oblike struja na prazan zaslon (Slika 5.5) i upisati (Tablica 5.1.) stvarnu vrijednost vršne struje (I_{m1} I_{m2}). Voditi računa o faktoru osjetljivosti strujnih sondi (K_{Hall}) i vertikalnog otklona (F_{y1} i F_{y2}).



Slika 5.4 Načini mjerenja struje primara transformatora osciloskopom



Slika 5.5 Valni oblik struje primara transformatora

Tablica 5.1 Parametri mjerenja

F_x [ms/div]	K_{Hall} [mV/A]	F_{y1} [V/div]	I_{m1} [A]	F_{y2} [V/div]	I_{m2} [A]

Prostor za računanje:

5.2.2 Mjerenje faznog pomaka između napona izvora i kondenzatora

Opis zadatka

Mjeriti fazni pomak između dvaju signala za spoj prema Slici 5.6 u Y-t i X-Y načinu rada. Ovaj dio vježbe ima za cilj pokazati, osim tehnike mjerenja faznog pomaka, i načine spajanja osciloskopa kod mjerenja dvaju signala istovremeno.

Popis opreme

Osciloskop (Hameg)
Funkcijski generator (HM 8030)
Otporna dekada
Kondenzatorska dekada
Odvojni transformator 220V/220V (panel)
Priključci BNC-banana – 3 kom

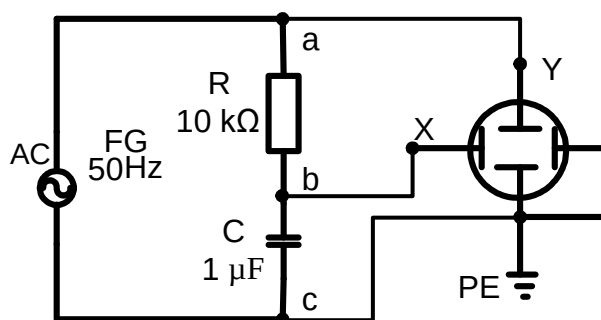
Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 6) Serijski spoj otpora 10 k Ω i kondenzatora 1 μ F (Slika 5.6) spojiti na izvor izmjeničnog napona funkcijskog generatora (priključak OUT).
- 7) Masu osciloskopa spojiti na masu FG, točka c.
- 8) Kanal CH1 (na Slici 5.6 označen s X) osciloskopa spojiti na točku b.
- 9) Drugi kanal CH2 (na Slici 5.6 označen s Y) osciloskopa spojiti na točku a.
- 10) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

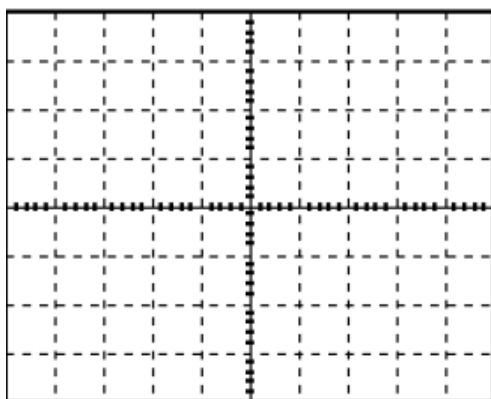
Postupak mjerenja

- 1) Uključiti osciloskop i FG na mrežni napon i provesti kalibriranje.
- 2) Namjestiti frekvenciju 50 Hz.
- 3) Pritisnuti tipku za sinusni valni oblik napona.
- 4) Uključiti na osciloskopu oba kanala pritiskom tipke DUAL.
- 5) Postaviti nultu razinu za oba kanala na sredini zaslona.
- 6) Podizati vršni napon sinusoide na FG do 5 V.
- 7) Okretanjem preklopki TIME/DIV i VOLT/DIV podesiti sliku preko cijelog zaslona za 1 periodu.
- 8) Pomicanjem signala lijevo-desno potencijetrom, X-POS dovesti u položaj za točno očitavanje. Ako slika nije mirna, treba mijenjati razinu okidanja potencijetrom TRIGGER LEVEL.
- 9) Nacrtati ili snimiti valne oblike napona izvora i kondenzatora u Y-t načinu rada na prazno mjesto zaslona (Slika 5.7).
- 10) Iz slike (Y-t način) izračunati fazni pomak $\varphi_{mj,YT}$ i upisati na predviđeno mjesto.
- 11) Kod mjerenja faznog pomaka u X-Y načinu rada potrebno je samo pritisnuti tipku X-Y na osciloskopu.
- 12) Zadržati VOLT/DIV za oba kanala kao što je bio u Y-t režimu.
- 13) Nacrtati ili snimiti valni oblik napona izvora i kondenzatora u X-Y načinu rada na prazno mjesto zaslona (Slika 5.8).
- 14) Iz slike izračunati fazni pomak $\varphi_{mj,XY}$ i upisati na predviđeno mjesto.
- 15) Kontrolirati točnost izmjerenog faznog pomaka između napona kondenzatora u_C i napona izvora u putem analitičkog izraza za φ_r . Napon $\hat{U}_C$ očitava se iz Y-t (Ch1) režima tako što se očitava vršna vrijednost sinusoide, a na isti se način očitava i vršna vrijednost napona izvora $\hat{U}$ samo s drugog kanala.

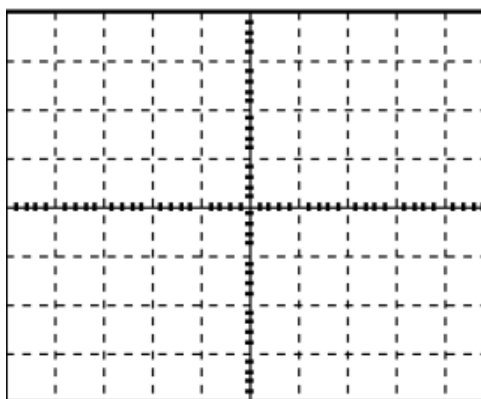
$$\varphi_r = \arccos \frac{\hat{U}_C}{\hat{U}} \quad (1)$$



Slika 5.6 Spoj za mjerenje faznog pomaka između napona izvora i kondenzatora serijskog spoja RC



Slika 5.7 Fazni pomak u Y-t načinu



Slika 5.8 Fazni pomak u X-Y načinu

Tablica 5.2a) Parametri mjerenja Y-t način

F_x [ms/div]	F_{y1} [V/div]	F_{y2} [V/div]	$\hat{U}$ [V]	$\hat{U}_C$ [V]	$\varphi_{mj,YT}$ [°]	φ_r [°]

Tablica 5.2b) Parametri mjerenja X-Y način

F_x [V/div]	F_y [V/div]	$\hat{U}$ [V]	$\hat{U}_C$ [V]	$\varphi_{mj,XY}$ [°]

Prostor za računanje:

5.2.3 Mjerenje faznog pomaka između napona na kondenzatoru i otpora

Opis zadatka

Kod ovog načina mjerenja, ako se želi istovremeno mjeriti na dvama kanalima, mora se masa osciloskopa galvaniski odvojiti od uzemljenja pomoću odvojnog transformatora 220V/220V. Ona se spaja u zajednički spoj obaju elemenata na kojima se izvodi mjerenje.

Popis opreme

Osciloskop (Hameg)

Funkcijski generator (HM 8030)

Otporna dekada

Kondenzatorska dekada

Odvojni transformator 220V/220V (panel)

Priključci BNC-banana – 3 kom

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Osciloskop ukopčati u utičnicu odvojnog transformatora (Slika 5.17).
- 3) Prvi kanal CH1 osciloskopa (X) spojiti u točku c.
- 4) Drugi kanal CH2 (Y) u točku a te je potrebno invertirati drugi kanal (INVERT).
- 5) Masu osciloskopa spojiti u točku b.

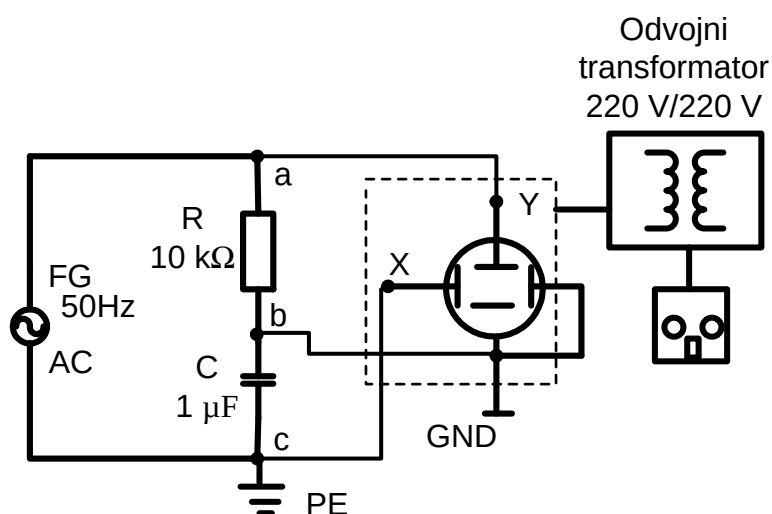
6) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!

Postupak mjerenja

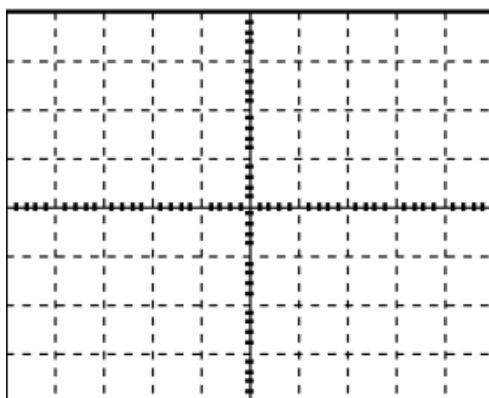
Postupak je mjerenja isti kao u prethodnom primjeru, samo što se u ovom pokusu mjeri fazni pomak napona između kondenzatora i otpora.

Odrediti fazni pomak φ_r računskim putem prema (2). Napon $\hat{U}_C$ očitava se iz Y-t režima na Ch1 tako što se očitava vršna vrijednost sinusoide, a na isti se način očitava vršna vrijednost napona na otporu $\hat{U}_R$ samo s drugog kanala. Vršna vrijednost napona izvora $\hat{U}$ očitava se tako što se uključe sklopke ADD i INVERT. Također, prije očitavanja za napon $\hat{U}$, potrebno je postaviti F_{y1} (V/div) i F_{y2} (V/div) na istu vrijednost ($F_{y1ADD} = F_{y2ADD} = F_{yADD}$). U suprotnom, rezultat očitavanja pri zbrajanju (ADD) kanala nije točan.

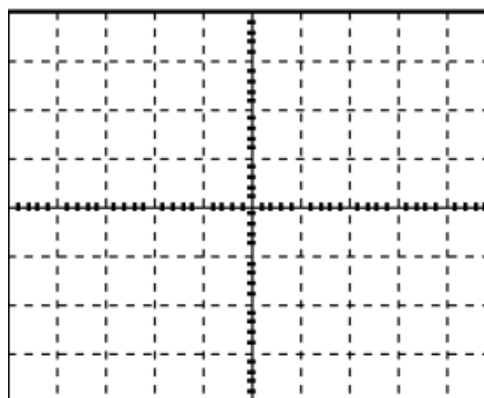
$$\varphi_r = \arccos \frac{\hat{U}_C^2 + \hat{U}_R^2 - \hat{U}^2}{2\hat{U}_C\hat{U}_R} \quad (2)$$



Slika 5.9 Spoj za mjerenje faznog pomaka između napona na otporu i kondenzatora serijskog spoja RC



Slika 5.10 Fazni pomak u Y-t načinu



Slika 5.11 Fazni pomak u X-Y načinu

Tablica 5.3a) Parametri mjerenja Y-t način

F_x [ms/div]	F_{y1} [V/div]	F_{y2} [V/div]	$F_{y_{ADD}}$ [V/div]	$\hat{U}$ [V]	$\hat{U}_C$ [V]	$\hat{U}_R$ [V]	$\varphi_{mj,YT}$ [°]	φ_r [°]

Tablica 5.3b) Parametri mjerenja X-Y način

F_x [V/div]	F_y [V/div]	$\hat{U}$ [V]	$\hat{U}_C$ [V]	$\hat{U}_R$ [V]	$\varphi_{mj,XY}$ [°]

Prostor za računanje:

5.2.4 Mjerenje faznog pomaka između napona i struje izvora

Opis zadatka

Za ovaj slučaj kod mjerenja struje treba mjeriti napon na radnom otporu jer je u fazi sa strujom izvora. Također koristiti odvojni transformator.

Popis opreme

Osciloskop (Hameg)

Funkcijski generator (HM 8030)

Otporna dekada

Kondenzatorska dekada

Odvojni transformator 220V/220V (panel)

Priključci BNC-banana – 3 kom

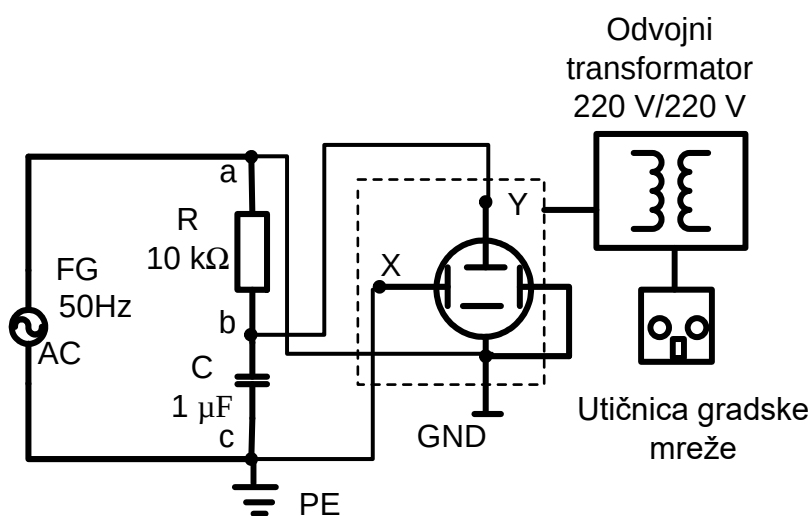
Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Osciloskop ukopčati u utičnicu odvojnog transformatora (Slika 5.12).
- 3) Prvi kanal CH1 osciloskopa (X) spojiti u točku *c*.
- 4) Drugi kanal CH2 (Y) u točku *b*.
- 5) Masu osciloskopa spojiti u točku *a*.
- 6) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

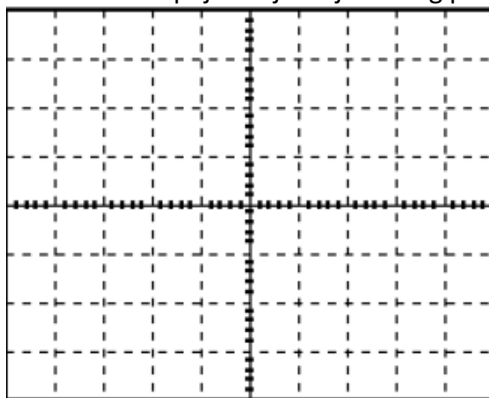
Postupak mjerenja

- 1) Postupak je mjerenja isti kao u prethodnom primjeru.
- 2) Odrediti fazni pomak φ_r računskim putem prema:

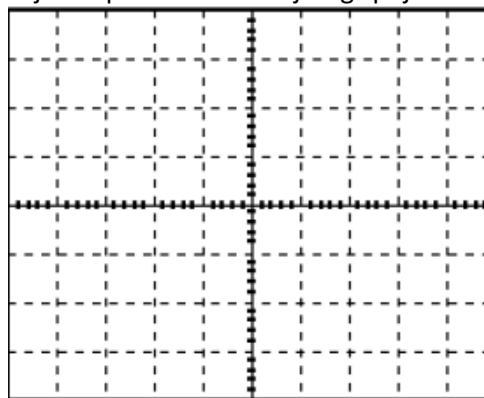
$$\varphi_r = \arccos \frac{\hat{U}_R}{\hat{U}} \quad (3)$$



Slika 5.12 Spoj za mjerenje faznog pomaka između struje i napona izvora serijskog spoja RC



Slika 5.13 Fazni pomak u Y-t načinu



Slika 5.14 Fazni pomak u X-Y načinu

Tablica 5.4a) Parametri mjerenja Y-t način

F_x [ms/div]	F_{y1} [V/div]	F_{y2} [V/div]	$\hat{U}$ [V]	$\hat{U}_R$ [V]	$\varphi_{mj,YT}$ [°]	φ_r [°]

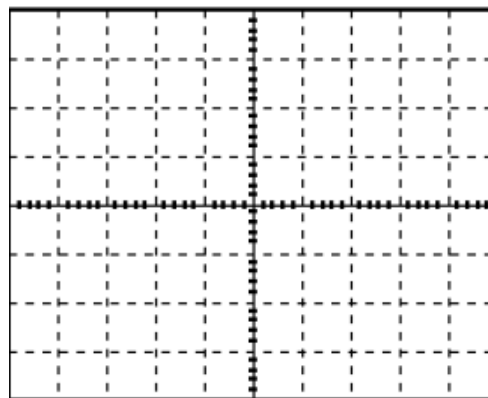
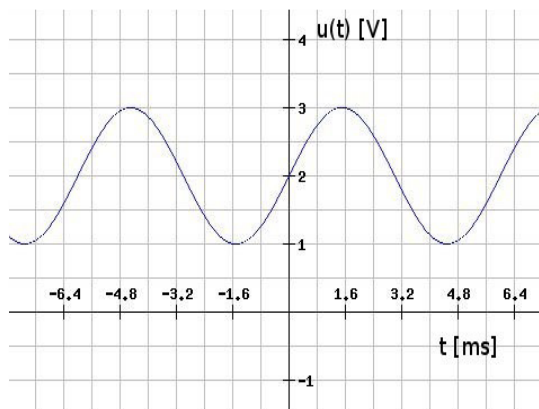
Tablica 5.4b) Parametri mjerenja X-Y način

F_x [V/div]	F_y [V/div]	$\widehat{U}$ [V]	$\widehat{U}_R$ [V]	$\varphi_{mj,XY}$ [°]

Prostor za računanje:

5.3 Zadaci za izvještaj

1. Skicirajte sliku koju će na svom zaslonu prikazati osciloskop (10 dijelova skale x 8 dijelova skale) ako je na y-ulaz doveden signal valnog oblika sa slike, a osciloskop je podešen na sljedeći način: CH: AC, VOLTS/DIV = 1,0, TIME/DIV = 0,6 ms/div, LEVEL (razina okidanja) = -0,5 V, SLOPE (nagib krivulje) = negativan. Okidanje je interno (signalom iz y-kanala), a nulta razina nalazi se na sredini zaslona.



2. Osciloskopom se mjeri punovalno ispravljen sinusni napon. Kolika je srednja vrijednost ovog napona ako se preklopnik za faktor otklona nalazi u položaju 0,5 V/cm, a na ekranu katodne cijevi dobiva se crta duljine 4 cm kada je isključen pilasti napon?

3. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV 6: Mjerenja digitalnim osciloskopom

Cilj je vježbe savladati osnovna znanja iz tehnike mjerenja i rukovanja digitalnim osciloskopom. U vježbi će se provoditi mjerenja prijelazne pojave struje i napona prvog reda na RC krugu i prijelazne pojave drugog reda na RLC krugu na pravokutni impuls ulaznog napona.

6.1 Pitanja za pripremu

1. Navedite od kojih se dijelova (sklopova) sastoje kanali Y_1 i Y_2 na digitalnom osciloskopu?
2. Napon kapaciteta u RC krugu za $t \geq 0$ opisan je dolje navedenim izrazom. Struja RC kruga može se odrediti na temelju napona kapaciteta prema izrazu. Potrebno je odrediti izraz i prikazati postupak izračuna za struju i .

$$i = C \frac{du_c}{dt}$$

3. Na temelju izraza (2), za valni oblik napona na kapacitetu tijekom prijelazne pojave i definicije vremena porasta, potrebno je povezati vrijeme porasta s vremenskom konstantom RC kruga.
4. Ako su parametri serijskog RLC kruga zadani: $R = 2000 \Omega$, $L = 400 \text{ mH}$, $C = 470 \text{ nF}$. Odredite faktor prigušenja α i rezonantnu kružnu frekvenciju ω_0 kruga.
5. Ako su zadani parametri serijskog RLC kruga: $L = 400 \text{ mH}$ i $C = 470 \text{ nF}$, u kojem se intervalu nalazi vrijednost ukupnog otpora R serijskog RLC kruga ako želimo dobiti:
 - a) Prigušeni odziv
 - b) Kritično prigušeni odziv
 - c) Pseudoperiodični odziv

6. Navedite parametre koji definiraju valne oblike tijekom prijelazne pojave.

7. Pri snimanju prijelazne pojave mreže drugog reda vremenska baza F_x odabire se na temelju dominantne vremenske konstante. Dominantna vremenska konstanta T_{dom} određena je izrazom:

$$T_{dom} = \frac{1}{\min(|\operatorname{Re}\{\lambda_1\}|, |\operatorname{Re}\{\lambda_2\}|)}$$

Kako prijelazna pojava završava nakon 3 do 5 dominantnih vremenskih konstanti, a zaslon osciloskopa ima 10 podjeljaka po X osi, može se, kao početna aproksimacija vremenske baze, uzeti $F_x \approx T_{dom}$. Potrebno je izračunati vrijednosti dominantne vremenske konstante za parametre RLC kruga koji će se koristiti na vježbi ($C=470 \text{ nF}$, $L=400 \text{ mH}$, $R_L = 320 \Omega$) pri čemu se dodatan otpor u krugu postavlja na tri različite vrijednosti kako bi se ostvarila sva tri tipa odziva (4680Ω , 1680Ω , 80Ω). Pri računanju rješenja karakteristične kvadratne jednadžbe $\lambda_{1,2}$, potrebno je uvažiti ukupni otpor u krugu, koji je zbroj dodanog otpora i otpora R_L .

	$ \operatorname{Re}\{\lambda_1\} $	$ \operatorname{Re}\{\lambda_2\} $	T_{dom}
Prigušeni odziv ($4680 [\Omega]$)			
Kritično prigušeni odziv ($1680 [\Omega]$)			
Pseudoperiodični odziv ($80 [\Omega]$)			

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

6.2 Rad u laboratoriju

6.2.1 Odziv na skok serijskog RC kruga

Opis zadatka

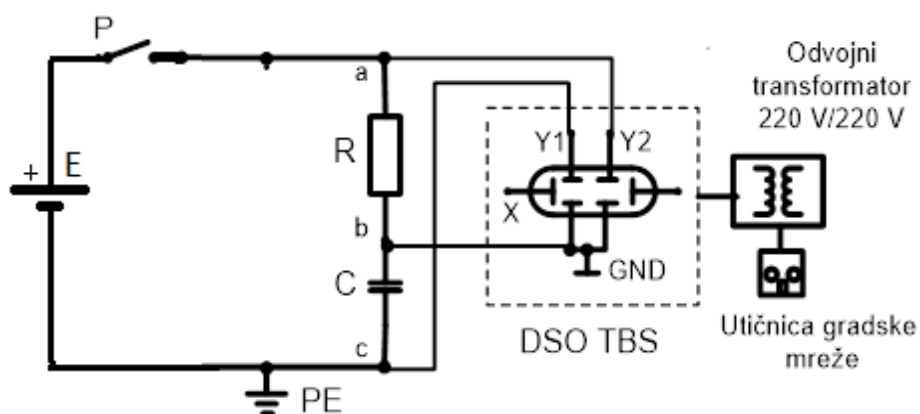
U ovom dijelu vježbe potrebno je snimiti napon na kondenzatoru i otporu prilikom uključivanja serijskog RC kruga na pravokutni impuls. Da bi se mogla snimiti prijelazna pojava od trenutka ukapčanja do ustaljenog stanja, potreban je digitalni osciloskop koji ima mogućnost pamćenja i podešavanje razine okidanja i vremenskog intervala snimanja.

Popis opreme

Digitalni osciloskop DSO TBS 1072B
Stabilizirani istosmjerni naponski izvor (panel)
Otporna dekada
Kondenzatorska dekada
Odvojni transformator 220V/220V (panel)
Prekidač P (panel)
Priklučci BNC-banana – 3 kom
Spojni vodiči

Postupak spajanja

- 11) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 12) Spojiti elemente prema Slici 6.1.
- 13) Na serijski spoj otpora $R=10\text{ k}\Omega$ i kondenzatora $C=0,47\text{ }\mu\text{F}$ priključiti izvor istosmjernog napona $E = 5\text{ [V]}$.
- 14) Osciloskop priključiti na 220 V preko odvojnog transformatora.
- 15) Kanal CH1 (Y1) osciloskopa spojiti u točku c.
- 16) Kanal CH2 (Y2) osciloskopa spojiti u točku a.
- 17) Masu osciloskopa spojiti u točku b.
- 18) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

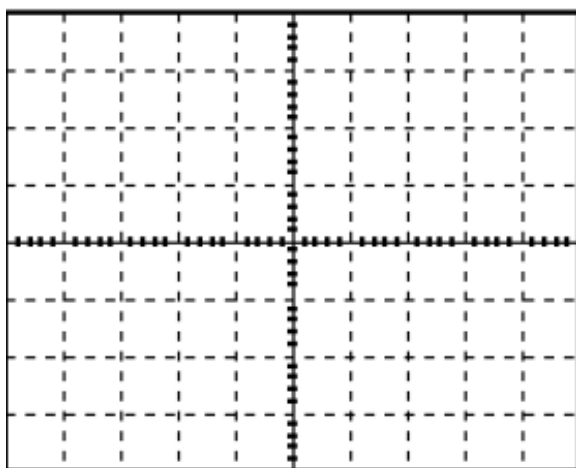


Slika 6.1 Snimanje struje i napona punjenja kondenzatora u serijskom RC spoju

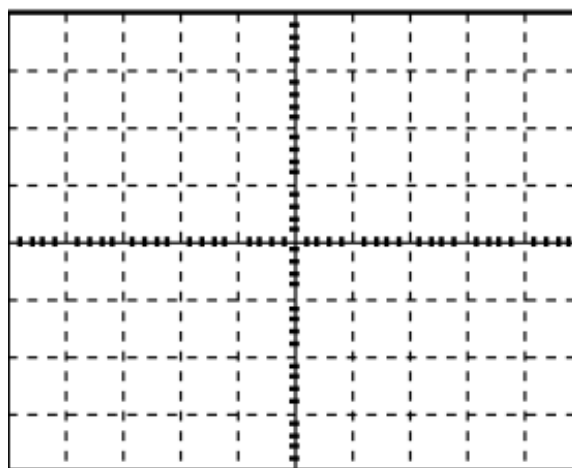
Postupak mjerenja

- 1) Namjestiti napon izvora na 5 [V].
- 2) Isprazniti kondenzator (postupak će pražnjenja biti objašnjen na vježbi – temelji se na samopražnjenju kondenzatora).
- 3) Na digitalnom osciloskopu postaviti preklopke za horizontalnu skalu $F_x[\text{TIME/DIV}]$ i vertikalnu skalu $F_y[\text{VOLT/DIV}]$ u položaj za optimalno očitavanje (signal mora trajati od trenutka ukapčanja do ustaljenog stanja, a dobra je polazna aproksimacija $F_x \approx RC$ i $F_y \approx E/2$).

- 4) Prvi je kanal potrebno INVERTIRATI.
- 5) Podesiti TRIGGER LEVEL na 1 [DIV].
- 6) Podesiti na TRIGGER MENU opciju (TYPE) na EDGE, (SOURCE) na CH1, (SLOPE) na FALLING, (MODE) na AUTO i (COUPLING) na DC.
- 7) Podesiti mjerenje parametara prijelaznih pojava tipkom MEASURE. Na CH1 potrebno je mjeriti (RISE TIME, PEAK-PEAK, HIGH), dok je na CH2 potrebno mjeriti (FALL TIME, PEAK-PEAK, HIGH).
- 8) Pritisnuti tipku SINGLE, uklopiti sklopku S i sačekati da se uključi crveno svjetlo na tipki RUN/STOP. Ako se ne uključi crveno svjetlo, provjeriti spojeve u krugu i podešenja trigeru.
- 9) Snimiti valne oblike napona i struje i staviti ih na prazna mjesta zaslona osciloskopa, Slike 6.2 i 6.3.



Slika 6.2 Napon na otporu u_R (CH2)



Slika 6.3 Napon na kondenzatoru u_C (CH1)

- 10) Za valni oblik napona na kondenzatoru $u_C(t)$, popunite Tablicu 6.1. Svi parametri iz tablice mogu se izravno očitati s osciloskopa pomoću tipke MEASURE, a zatim se na korisničkom sučelju odabire CH1 te se u novom padajućem izborniku odabiru parametri koji se žele mjeriti (RISE TIME, PEAK-PEAK,...).

Tablica 6.1 Izmjereni parametri napona na kondenzatoru za vrijeme prijelazne pojave

Parametar signala	Izmjereno	Mjerna jedinica
RISE TIME, $T_{r,C}$		
PEAK-PEAK, $U_{C,pp}$		
HIGH, $U_{C,max}$		

- 11) Za valni oblik napona na otporniku $u_R(t)$, popunite Tablicu 6.2. Svi parametri iz tablice mogu se izravno očitati s osciloskopa pomoću tipke MEASURE, a zatim se na korisničkom sučelju odabire CH2 te se u novom padajućem izborniku odabiru parametri koji se žele mjeriti (FALL TIME, PEAK-PEAK,...). Za svaku od očitanih veličina navesti i mjernu jedinicu.

Tablica 6.2 Izmjereni parametri napona na otporniku za vrijeme prijelazne pojave

Parametar signala	Izmjereno	Mjerna jedinica
FALL TIME, $T_{r,R}$		
PEAK-PEAK, $U_{R,pp}$		
HIGH, $U_{R,max}$		

6.2.2. Odziv na skok serijskog RLC kruga

Opis zadatka

Promjenom vrijednosti otpora dekada dobiti sve tri vrste odziva mreže drugog reda:

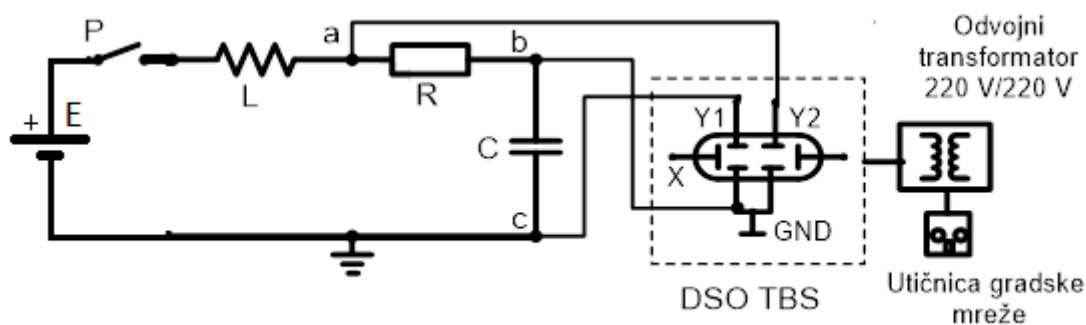
- A) Prigušeni odziv ($R = 4680 \Omega$)
- B) Kritično prigušeni odziv ($R = 1680 \Omega$)
- C) Pseudoperiodični odziv ($R = 80 \Omega$)

Popis opreme

Digitalni osciloskop DSO TBS 1072B
 Stabilizirani istosmjerni naponski izvor (panel)
 Otporna dekada
 Kondenzatorska dekada
 Zavojnica 400 mH (panel)
 Odvojni transformator 220V/220V (panel)
 Prekidač P (panel)
 Priključci BNC-banana – 3 kom
 Spojni vodiči

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti elemente prema Slici 6.4.
- 3) Na serijski spoj otpornika R, kondenzatora $C=470 \text{ nF}$ i zavojnice $L=400 \text{ mH}$ ($R_L = 320 \Omega$) priključiti izvor napona s istosmjernim izvorom $E = 5 \text{ V}$.
- 4) Osciloskop priključiti na 220 V preko odvojnog transformatora.
- 5) Kanal CH1 (Y1) osciloskopa spojiti u točku c.
- 6) Kanal CH2 (Y2) osciloskopa spojiti u točku a.
- 7) Masu osciloskopa spojiti u točku b.
- 8) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



Slika 6.4 Snimanje struje i napona punjenja kondenzatora u serijskom RLC spoju

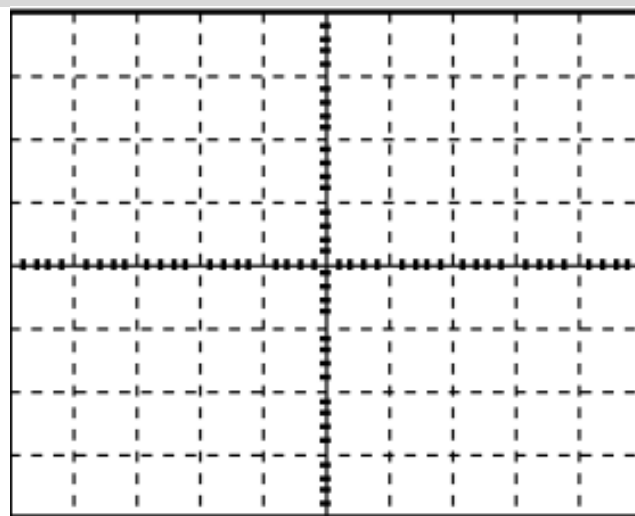
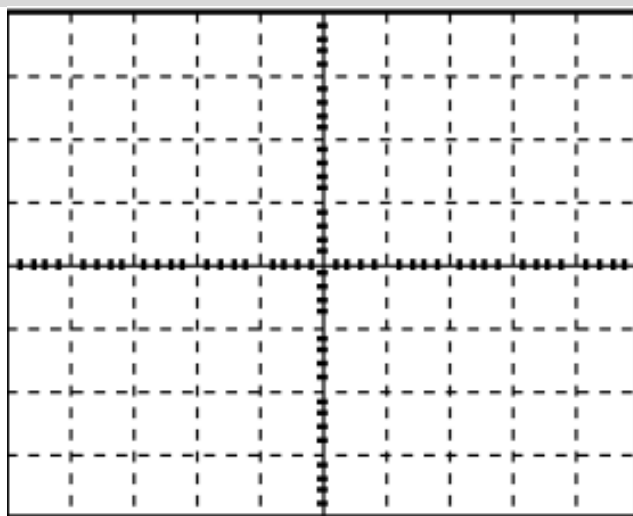
Postupak mjerenja

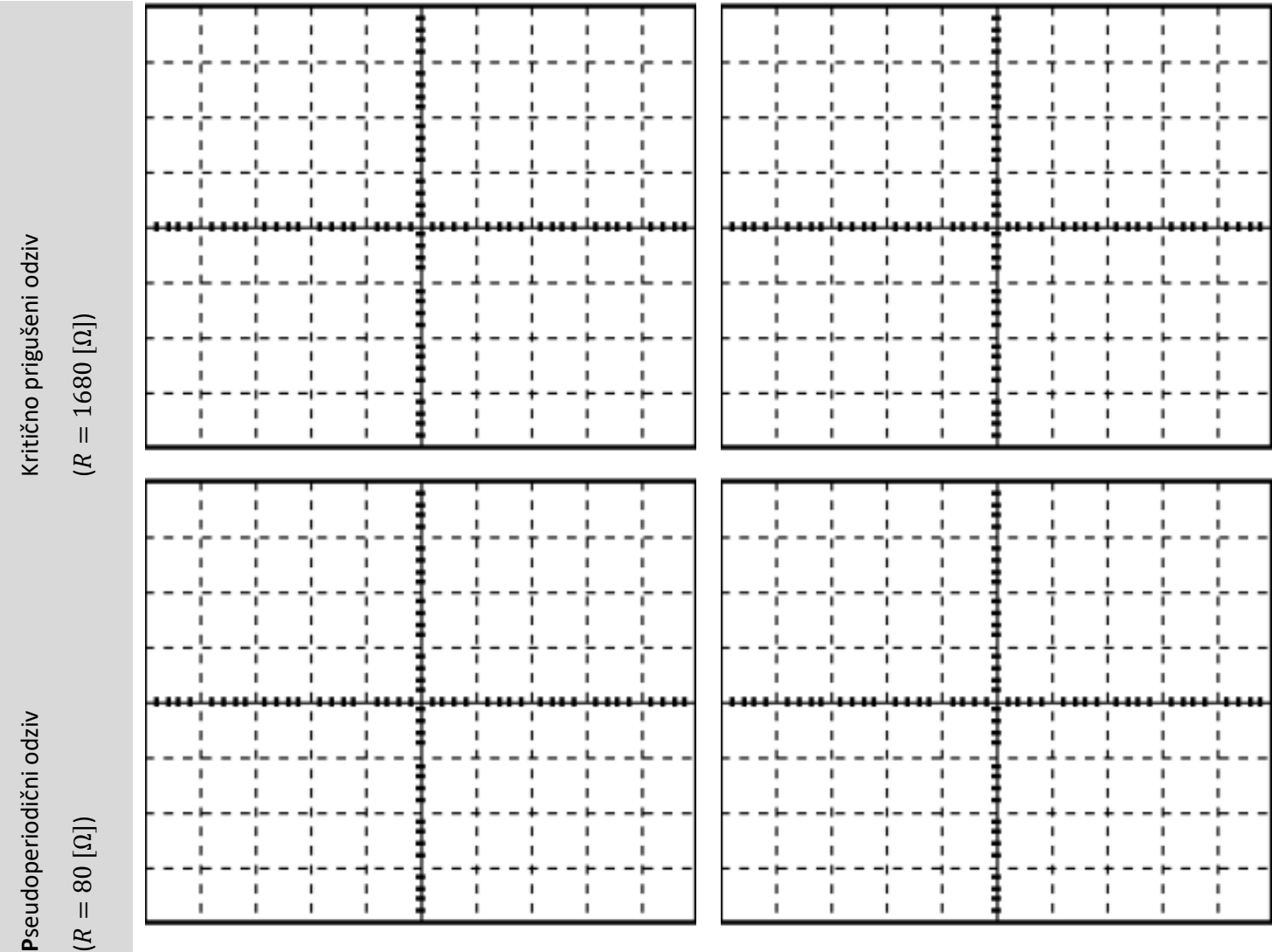
- 1) Namjestiti napon izvora na 5 V.
- 2) Isprazniti kondenzator (postupak će praznjena biti objašnjen na vježbi).
- 3) Na digitalnom osciloskopu postaviti preklopke za horizontalnu skalu F_x [TIME/DIV] i vertikalnu skalu F_y [VOLT/DIV] u položaj za optimalno očitavanje. Signal mora trajati od trenutka ukapčanja do ustaljenog stanja, a dobra je polazna aproksimacija $F_x \approx T_{dom}$ (vidi 7. zadatak iz pripreme) i $F_y \approx E/2$.
- 4) Prvi je kanal potrebno INVERTIRATI.
- 5) Podesiti TRIGGER LEVEL na 1 [DIV].
- 6) Podesiti na TRIGGER MENU opciju (TYPE) na EDGE, (SOURCE) na CH1, (SLOPE) na FALLING, (MODE) na AUTO i (COUPLING) na DC.
- 7) Podesiti mjerenje parametara prijelaznih pojava tipkom MEASURE. Na CH1 potrebno je mjeriti (RISE TIME, PEAK-PEAK, POS OVERSHOOT), dok je na CH2 potrebno mjeriti (FALL TIME, PEAK-PEAK, POS OVERSHOOT).
- 8) Pritisnuti tipku SINGLE i uključiti prekidač P te sačekati da se uključi crveno svjetlo na tipki RUN/STOP.
- 9) Očitati parametre prijelazne pojave sa zaslona osciloskopa te podatke upisati u Tablicu 6.4.
- 10) Snimiti valne oblike napona i struje na USB pomoću tipke (nacrtna disketa).
- 11) Kod predaje izvješća potrebno je zalijepiti isprintane valne oblike na odgovarajuće mjesto u Tablici 6.3.

Tablica 6.3 Valni oblici napona na otporniku u_R i kondenzatoru u_C u mreži drugog reda

u_R (CH2)

u_C (CH1)





Tablica 6.4 Parametri valnih oblika za vrijeme prijelazne pojave u mreži drugog reda

Tip odziva	Kanal	Parametar prijelazne pojave	Izmjerena vrijednost	Mjerna jedinica
Prigušeni odziv ($R = 4680 [\Omega]$)	U_C (CH1)	RISE TIME		
		PEAK-PEAK		
		POS OVERSHOOT		
	U_R (CH2)	FALL TIME		
		PEAK-PEAK		
		POS OVERSHOOT		
Kritično prigušeni odziv ($R =$	U_C (CH1)	RISE TIME PEAK-PEAK POS OVERSHOOT		

	U_R (CH2)	FALL TIME PEAK-PEAK POS OVERSHOOT		
Pseudoperiodični odziv ($R = 80 [\Omega]$)	U_C (CH1)	RISE TIME PEAK-PEAK POS OVERSHOOT		
	U_R (CH2)	FALL TIME PEAK-PEAK POS OVERSHOOT		

6.3. Pitanja za izvješće

1. U trećem zadatku iz pripreme, izveden je izraz koji povezuje vrijeme porasta s vremenskom konstantom mreže prvog reda ($T_r = \tau \ln(9)$). U Tablici 6.1 nalazi se izmjerena vrijednost vremena porasta. Potrebno je izračunati pripadnu vremensku konstantu iz izmjerenog vremena porasta. Vremensku konstantu RC kruga moguće je izračunati kao $\tau = RC$. Odredite postotnu pogrešku.
2. Usporedite i komentirajte vrijeme porasta (Tablica 6.4) napona kapaciteta u mreži drugog reda za različite tipove odziva.
3. Komentar vježbe.

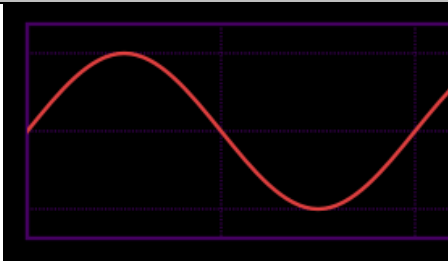
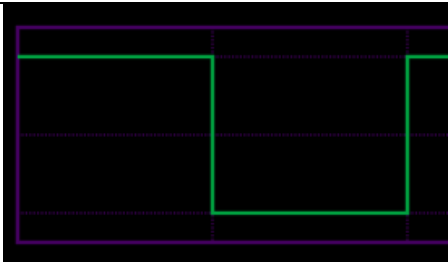
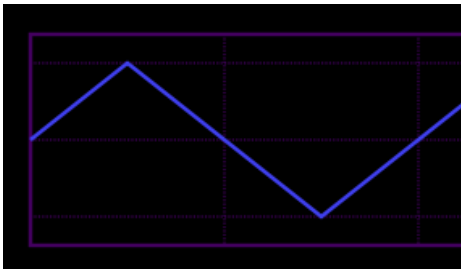
Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV7: Utjecaj valnog oblika na pokazivanje instrumenata

U ovoj se vježbi, pomoću četiriju instrumenata (voltmetra) s različitim načelima rada, mjere naponi različitih valnih oblika, a iste tjemene vrijednosti i frekvencije. Mjereći napone različitih valnih oblika, a iste tjemene vrijednosti, potrebno je utvrditi svojstva voltmetara pri niskim i višim frekvencijama.

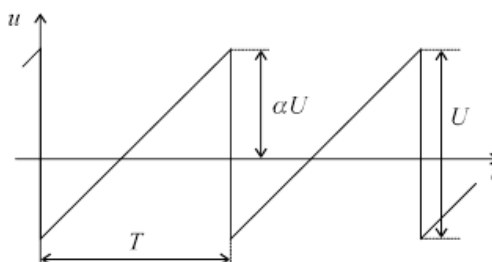
7.1 Pitanja za pripremu

1. Kako se ispravlja mjerni signal u izmjeničnim mjernim instrumentima?
2. Što je faktor oblika i tjemeni faktor? Objasnite razliku i navedite formule.
3. Kakvo može biti ispravljanje izmjeničnog signala?
4. Nabrojte moguće odzive mjernih instrumenata ovisno o načelu rada.
5. Zadana su tri valna oblika napona (sinusni, pravokutni, trokutasti) frekvencije 50 [Hz]. Potrebno je odrediti srednju, srednju ispravljenu i efektivnu vrijednost ako je vršna vrijednost svakog od napona $\hat{U} = 4 \text{ [V]}$.

Funkcija	Valni oblik
Sinusni $u(t) = \hat{U} \sin(2\pi f_0 t)$	
Pravokutni $u(t) = \begin{cases} \hat{U} & 0 < t < \frac{1}{2f_0} \\ -\hat{U} & \frac{1}{2f_0} < t < \frac{1}{f_0} \end{cases}$	
Trokutasti $u(t) = \begin{cases} 4\hat{U}f_0 t & t \in \left[0, \frac{1}{4f_0}\right] \\ -4\hat{U}f_0 \left(t - \frac{1}{4f_0}\right) + \hat{U} & t \in \left[\frac{1}{4f_0}, \frac{3}{4f_0}\right] \\ 4\hat{U}f_0 \left(t - \frac{3}{4f_0}\right) - \hat{U} & t \in \left[\frac{3}{4f_0}, \frac{1}{f_0}\right] \end{cases}$	

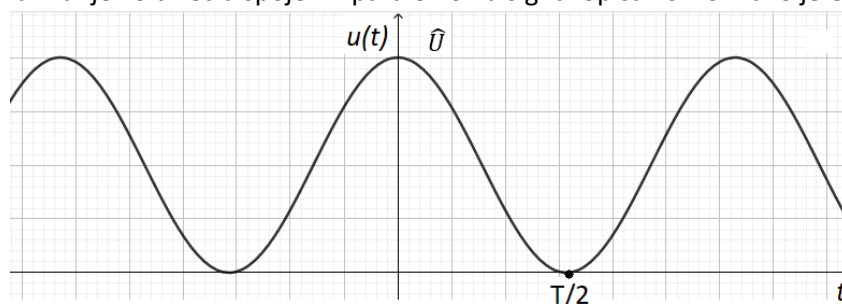
	Sinusni	Pravokutni	Trokutasti
$U(0)$			
$ U (0)$			
U			

6. Odredite pokazivanje voltmetra spojenih paralelno na signal opisan slikom ako je $U = 50 \text{ V}$, $\alpha = 1/4$.



- a) Digitalnog voltmetra s oznakom TRMS AC+DC
- b) Voltmetra s pomičnim svitkom na AC području
- c) Digitalni voltmetar bez oznake TRMS na DC području
- d) Digitalnog voltmetra s oznakom TRMS na AC području
- e) Voltmetra s pomičnim željezom

7. Odredite pokazivanje voltmetra spojenih paralelno na signal opisan slikom ako je $\hat{U} = 10\text{ V}$.



- a) Digitalnog voltmetra s oznakom TRMS AC+DC
- b) Voltmetra s pomičnim svitkom na AC području
- c) Digitalni voltmetar bez oznake TRMS na DC području
- d) Digitalnog voltmetra s oznakom TRMS na AC području
- e) Voltmetra s pomičnim željezom

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

7.2 Rad u laboratoriju

7.2.1 Mjerenje napona različitih valnih oblika

Opis zadatka

U vježbi potrebno je utvrditi pokazivanje voltmetara s različitim načelima rada mjereći napone različitih valnih oblika, a iste tjemene vrijednosti i frekvencije.

Potrebno je utvrditi pokazivanje voltmetara s različitim načelom mjerenja mjereći napone različitih valnih oblika sa superponiranom istosmjernom komponentom.

Temeljem pokazivanja mjernih instrumenata treba odrediti (zaključiti) kakav odziv imaju pojedini instrumenti.

Potrebno je utvrditi način rada voltmetra s različitim načelom mjerenja mjereći napone različitih valnih oblika, a iste tjemene vrijednosti. Potrebno je utvrditi svojstva voltmetara pri niskim i višim frekvencijama.

Popis opreme

Osciloskop

Mjerni izvor

Signal generator

Digitalni multimetri (voltmetri) s različitim načelima rada

Analogni multimetri (voltmetri) s različitim načelima rada

Spojni vodiči

BNC priključci

Načela rada mjernih instrumenata koja će se koristiti u vježbi:

- digitalni mjerni instrument koji mjeri efektivnu TRMS;
- digitalni mjerni instrument koji ima odziv na srednje ispravljenu vrijednost;
- analogni instrument s pomičnim svitkom koji ima odziv na srednju ispravljenu vrijednost;
- analogni instrument s pomičnim željezom koji ima odziv na efektivnu vrijednost.

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Odrediti koji je koji instrument prema načelima rada.
- 3) Odabrati na instrumentima odgovarajući mjerni domet i priključnice spojiti na odgovarajuće stezaljke instrumenta.

4) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!

Temeljem korištenja mjernih instrumenata pridružite pojedini instrument pripadajućoj oznaci u Tablici 7.1.

Tablica 7.1 Tablica korištenih mjernih instrumenata

Oznake instrumenata	Načelo rada	Naziv instrumenta
V_1	TRMS AC+DC	
V_2	Bez oznake TRMS	
V_3	Pomični svitak	
V_4	Pomično željezo	

1) Pogledati je li na

- 7) Ponoviti postupak mjerenja uz superponiranu istosmjernu komponentu od 3 V.

- 8) Ponoviti mjerni postupak bez istosmjernje komponente, ali pri frekvenciji od 500 Hz.

- 9) Ponoviti mjerni postupak bez istosmjerne komponente, ali s frekvencijom od 1 Hz.

Tablica 7.2 Rezultati mjerenja različitih valnih oblika i frekvencija pri $U_{pp} = 8$ [V]

			V_1			V_2		V_3		V_4
$f[\text{Hz}]$	$U(0)$	Valni oblik	DC	AC	DC+AC	DC	AC	DC	AC	DC+AC
50	0 V	Sinusni								
		Trokutasti								
		Pravokutni								
50	3 V	Sinusni								
		Trokutasti								
		Pravokutni								
500	0 V	Sinusni								
		Trokutasti								
		Pravokutni								
1	0 V	Sinusni								
		Trokutasti								
		Pravokutni								

7.3 Zadaci za izvještaj

1. Izračunajte postotnu pogrešku zbog valnog oblika ako instrumentom koji ima odziv na ispravljenu srednju vrijednost, a kalibriran je za pokazivanje efektivne vrijednosti sinusnog valnog oblika, mjerimo napon iste ispravljene srednje vrijednosti, ali
 - a) trokutastog valnog oblika
 - b) pravokutnog valnog oblika
 - c) sinusnog valnog oblika.
2. Što će pokazati voltmetar s odzivom na srednju vrijednost ako ga priključimo na napon gradske mreže?
3. Izračunajte postotnu pogrešku zbog valnog oblika ako instrumentom koji ima odziv na tjemenu vrijednost, a kalibriran je za pokazivanje efektivne vrijednosti sinusnog valnog oblika, mjerimo napon iste tjemene vrijednosti, ali
 - a) trokutastog valnog oblika
 - b) pravokutnog valnog oblika
 - c) sinusnog valnog oblika.
4. Za pokazivanja voltmetar V_1 iz Tablice 7.2 vrijedi izraz:

$$U_{\text{TRMS,AC+DC}} = \sqrt{U_{\text{TRMS,DC}}^2 + U_{\text{TRMS,AC}}^2}$$

Provjerite tako što ćete popuniti Tablicu 7.3.

Tablica 7.3 Rezultati mjerenja različitih valnih oblika i frekvencija temeljem izračuna

			V_1		
$f[\text{Hz}]$	$U(0)$	Valni oblik	DC+AC Mjereno	DC+AC Računato prema izrazu (6)	Postotna pogreška $p_{\%} = \frac{U_{mj} - U_{ra}}{U_{ra}} * 100\%$
50	0 V	Sinusni			
		Trokutasti			
		Pravokutni			
50	3 V	Sinusni			
		Trokutasti			
		Pravokutni			
500	0 V	Sinusni			
		Trokutasti			
		Pravokutni			
1	0 V	Sinusni			
		Trokutasti			
		Pravokutni			

5. Komentar vježbe

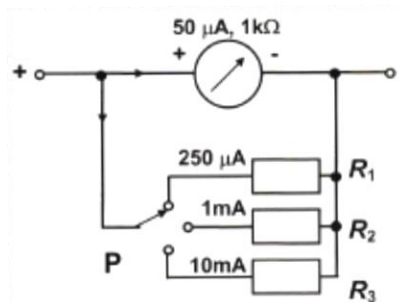
Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV 8: Proširenje mjernog opsega instrumenta i umjeravanje

U ovoj će se vježbi studenti upoznati s nekim metodama za proširenje strujnog i naponskog mjernog područja te s umjeravanjem i izračunom pripadajućih pogrešaka za takva mjerenja.

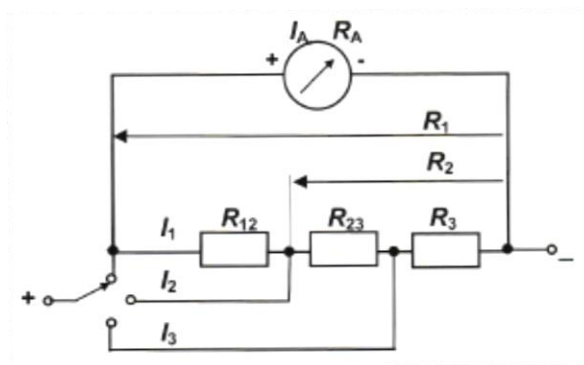
8.1 Pitanja za pripremu

1. Odredite vrijednosti otpora (R_1, R_2, R_3) za spoj prema Slici 8.1 ako su poznati parametri otklonskog mehanizma ($50 \mu\text{A}$, $1 \text{ k}\Omega$) i prošireni mjerni opsezi ($250 \mu\text{A}$, 1 mA , 10 mA). Također, odredite unutrašnji otpor instrumenta nakon proširenja i disipaciju svakog suotpota.



Slika 8.1 Način proširenja mjernog opsega ampermetra

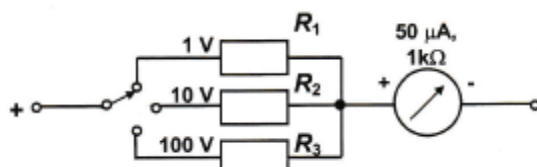
2. Izvedite jednačbe za proračun Aryntonovog shunta (Slika 8.2).



Slika 8.2 Aryntonov shunt

3. Često su otpornosti shuntova vrlo mali (reda $\text{m}\Omega$) pa se zbog toga izrađuju od dijela žice. Izračunajte duljinu bakrene žice ($\rho = 0,0175 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$) površine poprečnog presjeka $1,5 \text{ mm}^2$ ako se zahtijeva suotpornik od $1 \text{ m}\Omega$.

4. Odredite vrijednosti otpora (R_1, R_2, R_3) za spoj prema Slici 8.3 ako su poznati parametri otklonskog mehanizma ($50 \mu\text{A}$, $1 \text{ k}\Omega$) i prošireni mjerni opsezi (1 V , 10 V , 100 V). Također, odredite unutrašnji otpor instrumenta nakon proširenja i disipaciju svakog otpora.



Slika 8.3 Proširenje mjernog opsega voltmetra na više područja

5. Objasniti što je umjeravanje i zbog čega se koristi umjeravanje?

6. Što je nazivno područje uporabe mjerila?

7. Što su to utjecajne veličine, na što utječu i kako? Objasnite.

8. Koji su kriteriji ispravnosti mjerila?

9. Provjerite točnost analognog instrumenta razreda točnosti 0,5 temeljem umjeravanja navedenog instrumenta prikazanog tablicom. Pojašnjenje oznaka: U_V (napon na digitalnom instrumentu-etalonu) i U_X (napon na analognom instrumentu-umjeravanom).

U_V [V]	0,09	5,13	10,21	15,20	20,22	25,34	29,89
U_X [V]	0,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

8.2 Rad u laboratoriju

8.2.1 Proširenje i umjeravanje strujnog mjernog područja

Opis zadatka

Proširiti strujno mjerno područje otklonskog mehanizma te provesti umjeravanje proširenih područja.

Popis opreme

Otklonski mehanizam

Otpornička dekada

Stabilizirani izvor napajanja s panela

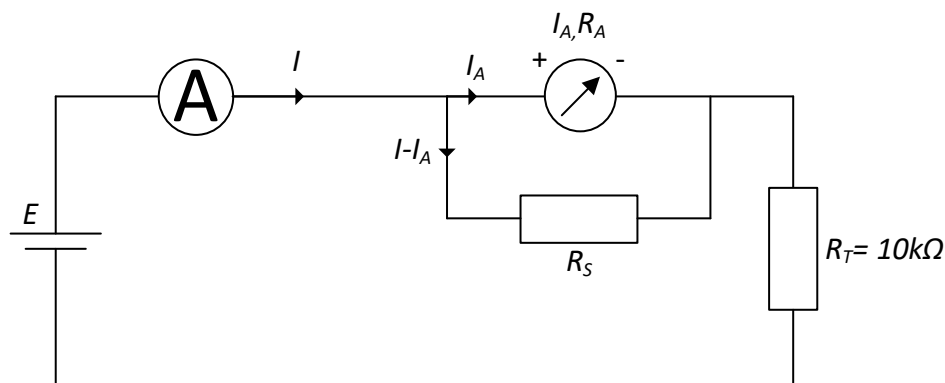
Klizni otpornik

Otpornik s panela $R_T = 10\text{ k}\Omega$

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Proučiti dobiveni mjerni instrument kojemu se proširuje strujni mjerni opseg.
- 3) Izmjeriti ommetrom unutrašnji otpor R_A neproširenog mjernog instrumenta. Ovakav se mjerni instrument (otklonski mehanizam) može koristiti za mjerenje struje i napona. Treba odrediti naponski U_U i strujni I_A opseg neproširenog instrumenta (vrlo često potrebno je koristiti Ohmov zakon za izračun trećeg podatka koji nije dostupan). Podatke unesite u Tablicu 8.1.
- 4) Odrediti vrijednost suotpornika $R_S = R_A \frac{I_A}{I - I_A}$ za dva dometa D koje zadaje nastavnik.
- 5) Proširiti strujni mjerni opseg instrumenta prema Slici 8.4.



Slika 8.4 Proširenje mjernog opsega ampermetra

6) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!

- 7) Nakon proširenja provesti umjeravanje. Koristiti digitalni (etalonski) ampermetar čije pokazivanje uzimamo kao točnu vrijednost I_T . Pokazivanje proširenog otklonskog mehanizma I_M provjeriti u jedanaest jednako razmaknutih mjernih točaka u rasponu novog mjernog područja te rezultate unijeti u Tablicu 8.2. Za prvo očitavanje uzeti nulti položaj.
- 8) Odrediti pogreške. Odrediti razred točnosti (r.t.) proširenog instrumenta, Tablica 8.2.
- 9) Nacrtati krivulju relativne pogreške i krivulju ispravka, Slika 8.5 i 8.6. Pri crtanju krivulje relativne pogreške na ordinati se nalazi p_r (iz Tablice 8.2), dok se pri crtanju krivulje ispravka na ordinati nalazi ispravak I . Pri crtanju obiju krivulja na apscisi se nalazi etalonska vrijednost I_T . Dakle, na Slici 8.5 i 8.6 potrebno je imati po dvije krivulje s dvjema različitim skalama na osima ordinata i zajedničkom apscisom. Potrebno je naznačiti (ili različitim bojama ili različitim tipom crte, isprekidana/puna linija) koja je krivulja ispravka, a koje je krivulja relativne pogreške.

Tablica 8.1 Parametri otklonskog mehanizma

R_A [Ω]	I_A [A]	U_U [V]

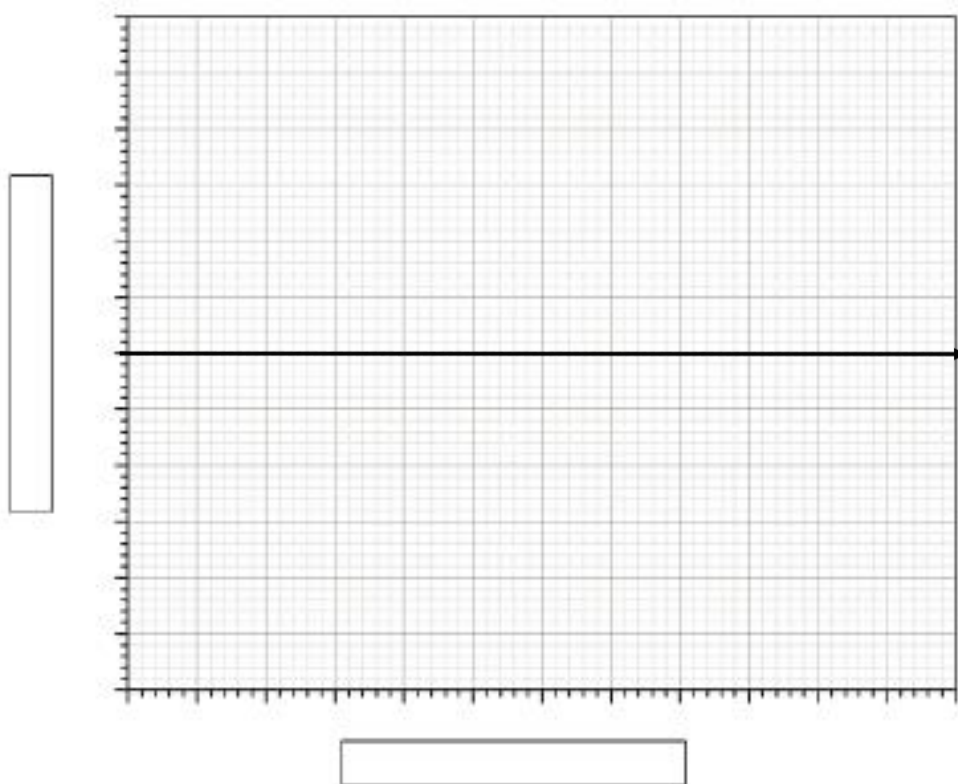
Prostor za računanje:

Tablica 8.2 Umjeravanje ampermetra

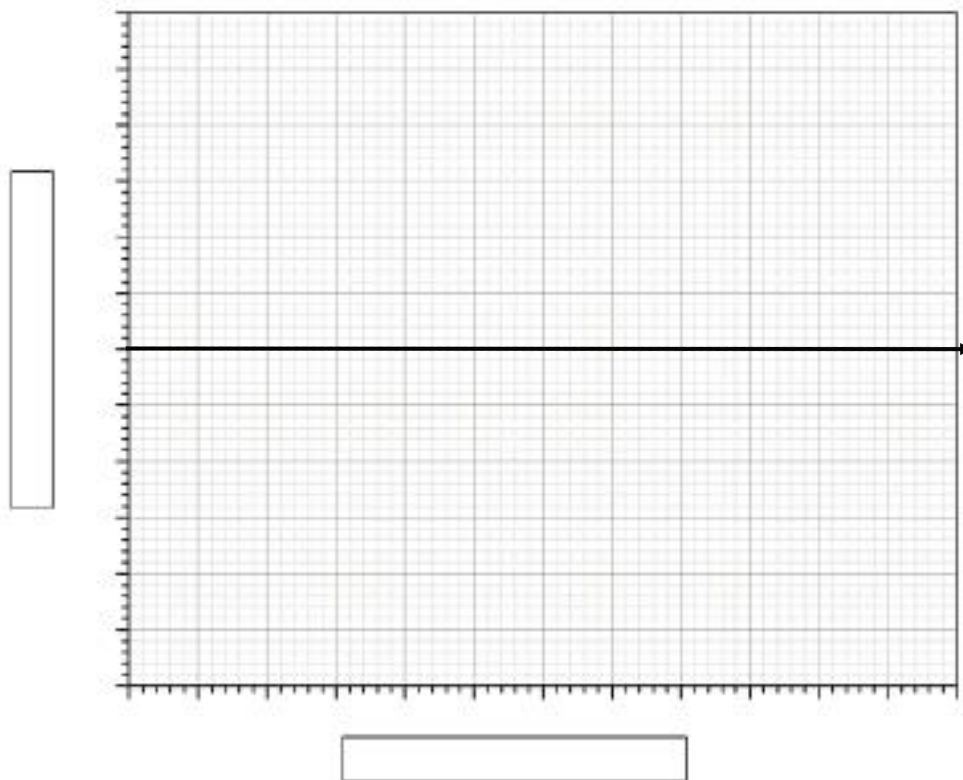
Br.	Domet [A]	R_S [Ω]	I_M [A]	I_T [A]	$p_a = I_M - I_T$ [A]	$I = -p_a$ [A]	$p_r = \frac{I_M - I_T}{I_T}$	$\max(I_M - I_T)$ [A]	r.t.= $\frac{\max(I_M - I_T)}{D} \cdot 100$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

11									
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Prostor za računanje:



Slika 8.5 Krivulja relativne pogreške i krivulja ispravka ampermetra za 1. domet (_____)



Slika 8.6 Krivulja relativne pogreške i krivulja ispravka ampermetra za 2. domet (_____)

8.2.2 Proširenje i umjeravanje naponskog mjernog područja

Opis zadatka

Proširiti naponsko i strujno mjerno područje otklonskog mehanizma te provesti umjeravanje proširenih područja.

Popis opreme

Otklonski mehanizam

Otpornička dekada

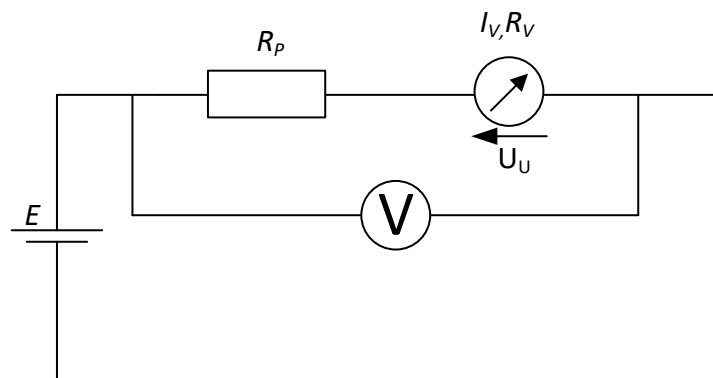
Stabilizirani izvor napajanja s panela

Klizni otpornik

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Isti instrument (otklonski mehanizam) sada treba koristiti kao voltmetar na dva dometa D koja zadaje nastavnik.
- 3) Prema Slici 8.7 odrediti vrijednost predotpora $R_P = \frac{R_U}{U_U} (U - U_U)$ i upisati ih u Tablicu 8.3.
- 4) Proširiti naponski mjerni opseg instrumenta prema Slici 8.7.



Slika 8.7 Proširenje mjernog opsega voltmetra

5) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!

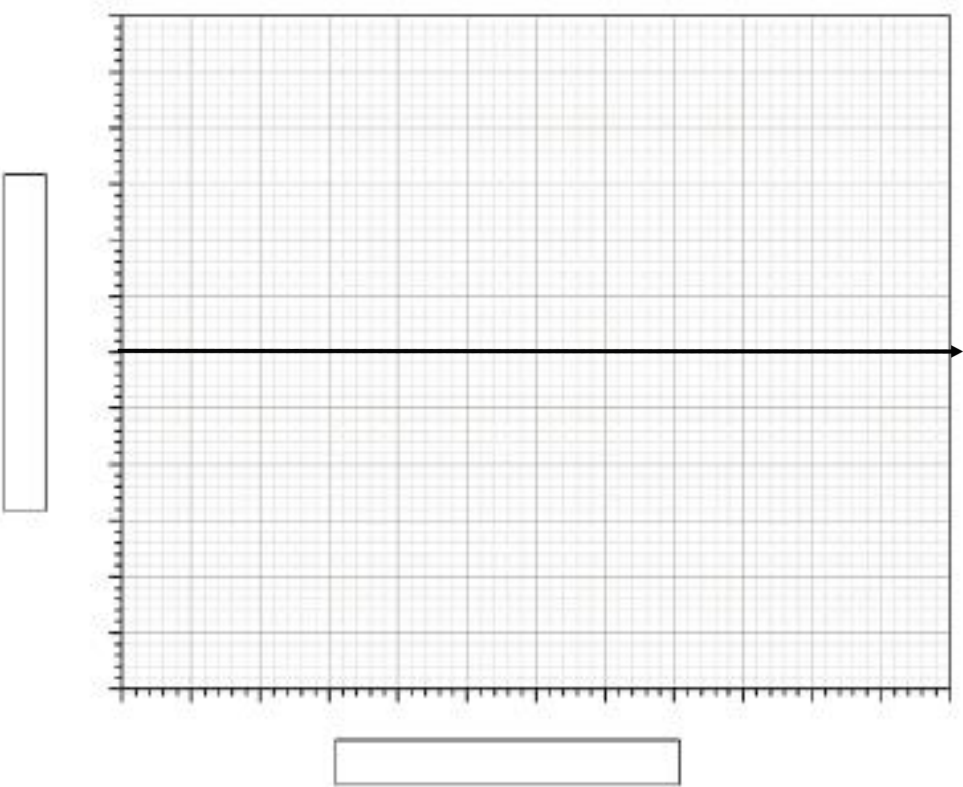
- 6) Pokazivanje provjeriti u jednako razmaknutim mjernim točkama u rasponu novog mjernog područja te rezultate unijeti u Tablicu 8.3.
- 7) Odrediti pogreške. Odrediti razred točnosti proširenog instrumenta. Nacrtati krivulju relativne pogreške i krivulju ispravka.

Tablica 8.3 Umjeravanje voltmetra

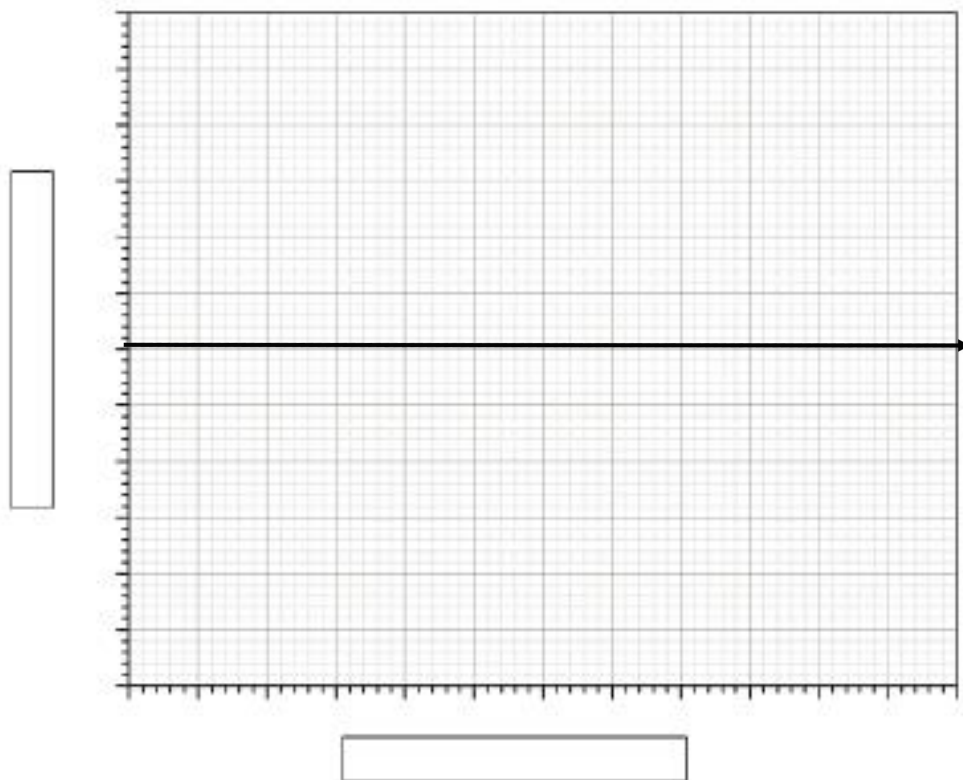
Br.	Domet [V]	R_p [Ω]	U_M [V]	U_T [V]	$p_a = U_M - U_T$ [V]	$I = -p_a$ [A]	$p_r = \frac{U_M - U_T}{U_T}$	$\max(U_M - U_T)$ [V]	r.t.= $\frac{\max(U_M - U_T)}{D} \cdot 100$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
1									
2									
3									
4									

5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									

Prostor za računanje:



Slika 8.8 Krivulja relativne pogreške i krivulja ispravka voltmetra za 1. dometa (_____)



Slika 8.9 Krivulja relativne pogreške i krivulja ispravka voltmetra za 2. domet (_____)

- 8) Iz vrijednosti otpora voltmetra i njegova mjernog dometa treba odrediti iznos karakteristične vrijednosti r_V za neprošireni i prošireni voltmetar.

	Dometa [V]	$R_V = R_p + R_A [\Omega]$	$r_V [\Omega/V]$
Neprošireni			
Prvi dometa			
Drugi dometa			

Prostor za računanje:

- 9) Proučiti priloženu knjižicu univerzalnog analognog mjernog instrumenta i provjeriti njegov razred točnosti, karakterističnu vrijednost, način preklapanja mjernih područja, unutarnji otpor i struju za maksimalni otklon temeljnog mjernog sustava, način zaštite instrumenta u slučaju prevelike struje, temperaturnu kompenzaciju svitka i sl. Na primjeru priloženog instrumenta treba uvidjeti smisao proširivanja mjernog opsega instrumenta.
- 10) Rastaviti jedan digitalni i jedan analogni instrument kako bi se vidjeli dodatni otpori za proširenje mjernog dometa u instrumentima.

8.3 Zadaci za izvještaj

1. Ako je strujni domet proširen prema Slici 8.4, izračunajte mjernu nesigurnost za oba proširena opsega struje/instrumenta. Iskažite rezultat na S i N razini. Vrijednosti otpora za proširenje dometa uzeti iz Tablice 8.2 i pretpostaviti njihove granične pogreške od 1 %. Parametre otklonskog mehanizma (I_A, R_A) preuzeti iz Tablice 8.1 s graničnim pogreškama od 1 %.
2. Ako je naponski domet proširen prema Slici 8.7, izračunajte mjernu nesigurnost za oba proširena naponska opsega U instrumenta. Iskažite rezultat na S i N razini. Vrijednosti otpora za proširenje dometa uzeti iz Tablice 8.3 i pretpostaviti njihove granične pogreške od 1 %. Parametre otklonskog mehanizma (I_A, R_A) preuzeti iz Tablice 8.1 s graničnim pogreškama od 1 %.
3. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV 9: Mjerenje otpora

Cilj je vježbe ovladati osnovnim tehnikama mjerenja otpora raznih vrijednosti različitim metodama te odrediti pogreške mjerenja i procijeniti mjernu nesigurnost. Kako se najčešće koriste U-I, usporedne i mosne metode za mjerenje otpora, u ovoj će se vježbi provesti mjerenja ovim trima metodama na malim otporima.

9.1 Pitanja za pripremu

1. Koja se mjerna oprema koristi za mjerenje otpora U-I metodom?
2. Zašto se mora paziti na raspored spajanja ampermetra i voltmetra kod U-I metode?
3. Kada se upotrebljava metoda dviju, a kad metoda četiriju stezaljki?
4. Kada se upotrebljava naponska, a kad strujna usporedna metoda?
5. Kada je sistematska pogreška najmanja pri upotrebi usporedbenih metoda?
6. Za koje se otpore koristi Thomsonov mjerni most?

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

9.2 Rad u laboratoriju

9.2.1 U-I metoda

Opis zadatka

Ovom metodom u naponskom spoju treba izmjeriti vrijednost nepoznatog otpora R_x između 1 i 10 Ω za pet mjerenja te odrediti postotnu pogrešku mjerenja otpora $P\%(R)$ i apsolutnu mjernu nesigurnost $u_a(R)$.

Popis opreme

Stabilizirani istosmjerni izvor napajanja

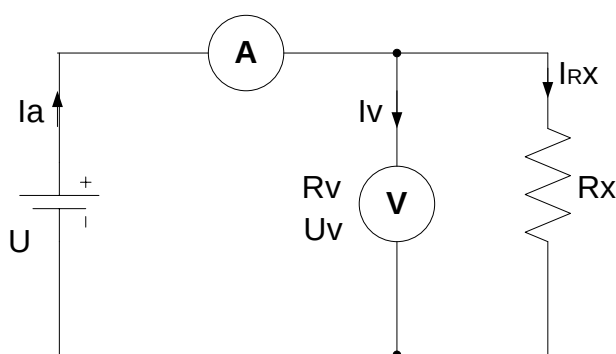
Analogni voltmetar

Digitalni ampermetar

Klizni potencijometar od 1 – 10 Ω

Postupak spajanja

- 19) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 20) Spojiti shemu prema Slici 9.1.
- 21) Ampermetar spojiti u seriju s izvorom napona.
- 22) Voltmetar spojiti paralelno nepoznatom otporu R_x .
- 23) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



Slika 9.1 Naponski spoj mjerenja otpora U-I metodom

Postupak mjerenja

- 1) Prije uključivanja mrežnog napona, napon na stabiliziranom izvoru mora biti podešen na 0 V.
- 2) Podizati napon DC izvora sve dok struja u krugu ne bude 1 A.
- 3) Očitavati vrijednosti napona U_m i struje I_m pet puta u razmacima od triju minuta i upisati u Tablicu 9.1.
- 4) Iz uputa upisati u Tablicu 9.1 granične pogreške voltmetra $G(U)$ i ampermetra $G(I)$.
- 5) Izračunati vrijednosti nepoznatog otpora R_x za svako mjerenje, postotnu pogrešku mjerenja $P\%(R)$, apsolutnu mjernu nesigurnost $u_a(R)$ i iskazati rezultat na S i N razini.

Napon izvora pri struji 1 A: $U_{DC} = \underline{\hspace{2cm}} [V]$

Tablica 9.1 Rezultati mjerenja nepoznatog otpora U-I naponskom metodom

Broj mjer.	U_m [V]	I_m [A]	R_x [Ω]	$P\%(R)$ [%]	$G(U)$	$G(I)$	$u_a(R)$ [Ω]
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
Rezultat mjerenja otpora na S razini S: $R =$							
Rezultat mjerenja otpora na N razini N: $R =$							

Prostor za računanje:

9.2.2 Usporedna metoda

Opis zadatka

Naponskom usporednom metodom izmjeriti otpor R_x iste vrijednosti mjerene U-I naponskom metodom za pet mjerenja. Izračunati pogrešku mjerenja otpora $P\%(R)$ i apsolutnu mjernu nesigurnost $u_a(R)$.

Popis opreme

Stabilizirani istosmjerni izvor napajanja

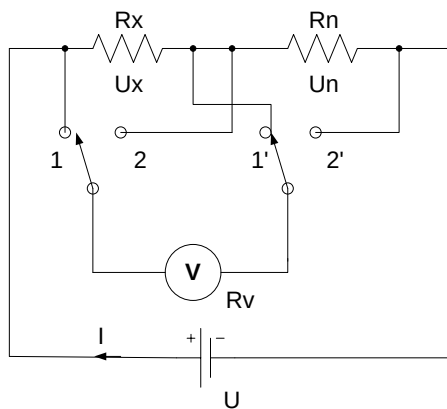
Analogni voltmetar

Otpor normale $R_n = 10 \Omega$

Klizni potencijometar od 1 – 10 Ω

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti shemu prema Slici 9.2.
- 3) Poznati otpor od $R_n = 10 \Omega$ spojiti u seriju s nepoznatim otporom R_x , a zatim tu kombinaciju na izvor napona.
- 4) Izvesti priključke na otporima za spajanje voltmetra.
- 5) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



Slika 9.2 Naponska (serijska) poredbena metoda za mjerenje otpora

Postupak mjerenja

- 1) Prije uključivanja mrežnog napona, napon na stabiliziranom izvoru mora biti podešen na 0 V.
- 2) Podizati napon DC izvora sve dok struja u krugu ne bude 1 A.
- 3) Očitavati vrijednosti napona U_x i U_n pet puta u razmacima od triju minuta i upisati u Tablicu 9.2.
- 4) Iz uputa upisati u Tablicu 9.2 granične pogreške voltmetra $G(U)$, a za poznati otpor $R_n = 10 \, \Omega$ uzeti da mu je mjerna nesigurnost $u(R_n) = 0,1 \, \%$.
- 5) Izračunati vrijednosti nepoznatog otpora R_x za svako mjerenje, postotnu pogrešku mjerenja $P\%(R)$, apsolutnu mjernu nesigurnost $u_a(R)$ i iskazati rezultat na S i N razini.

Napon izvora pri struji 1 A: $U_{DC} = \text{_____} [V]$

Tablica 9.2 Rezultati mjerenja nepoznatog otpora usporednom naponskom metodom

Broj mjer.	U_x [V]	U_n [V]	R_x [A]	R_n [Ω]	$P\%(R)$ [%]	$G(U)$	$u_a(R)$ [Ω]
1.				10			
2.				10			
3.				10			
4.				10			
5.				10			
Rezultat mjerenja otpora na S razini S: $R =$							
Rezultat mjerenja otpora na N razini N: $R =$							

Prostor za računanje:

9.2.3 Mjerenje otpora $< 1 \Omega$

Opis zadatka

Analognim Thomsonovim mostom ili digitalnim mikroohmmetrom izmjeriti otpor $0,1 \Omega$ za pet mjerenja i izračunati apsolutnu mjernu nesigurnost $u_a(R)$.

Popis opreme

Analogni Thomsonov most

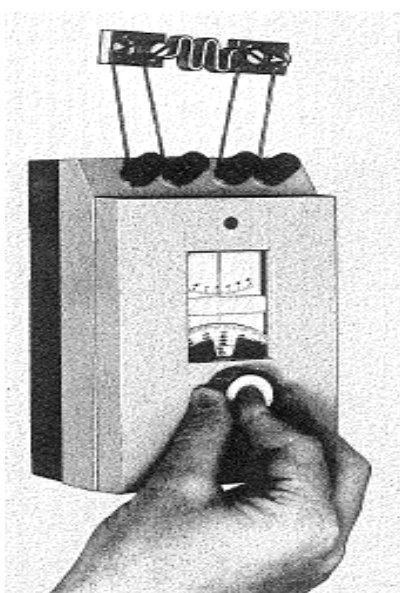
Digitalni mikroohmmetar

Otpor $0,1 \Omega / 5W$

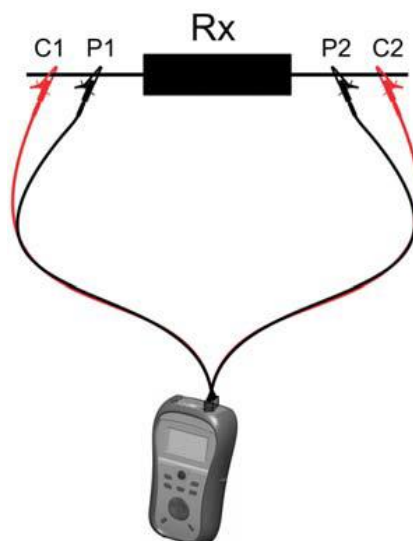
Istosmjerni stabilizirani izvor napona

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti otpor $0,1 \Omega / 5W$ na analogni Thomsonov most prema Slici 9.3a). Paziti na raspored vodiča!
- 3) Spojiti otpor $0,1 \Omega / 5W$ na digitalni mikroohmmetar prema Slici 9.3b). Paziti na raspored vodiča!
- 4) Instrument priključiti na DC izvor napona. Paziti na polaritet!
- 5) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



a)



b)

Slika 9.3 a) Mjerenje analognim Thomsonovim mostom

b) Mjerenje digitalnim mikroohmmetrom

Postupak mjerenja

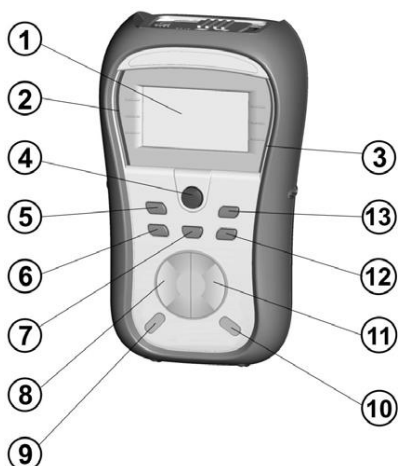
- 1) Prije uključivanja mrežnog napona, napon na stabiliziranom izvoru mora biti podešen na 0 V.
- 2) Podizati napon DC izvora sve dok struja u krugu ne bude najviše 2 A, a napon ne smije prijeći 2 V.

Za mjerenje analognim Thomsonovim mostom (Slika 9.3a):

- 3) Odabrati odgovarajuće mjerno područje okretanjem preklopnika.
- 4) Držati pritisnutu tipku potencijometra koji se nalazi na sredini instrumenta i okretati njegov kotač sve dok kazaljka galvanometra ne bude u položaju nula, odnosno dok most ne bude u ravnoteži.
- 5) Očitati vrijednost otpora na mjernoj skali pet puta u razmaku od triju minuta i upisati u Tablicu 9.3.

Za mjerenje digitalnim mikroommetrom (Slika 9.3b, 9.4):

- 6) Odabrati funkciju „RESISTANCE“ – 11.
- 7) Odabrati ograničenje struje na 2 A.
- 8) Pritisnuti tipku „TEST“ - 4 za početak mjerenja.
- 9) Očitati vrijednost otpora na LCD zaslonu – 1 pet puta u razmaku od triju minuta i upisati u Tablicu 9.3.
- 10) Nakon završetka mjerenja isključiti DC izvor napona.
- 11) Upisati iz uputa granične pogreške $G(R)$ u Tablicu 9.3.
- 12) Izračunati apsolutnu mjernu nesigurnost $u_a(R)$ i iskazati rezultat na S i N razini.



Slika 9.4 Funkcije digitalnog mikroommetra

Tablica 9.3 Rezultati mjerenja otpora 0,1 Ω /5 W

Broj mjer.	Naziv instrumenta	R_x [Ω]	$G(R)$	$u_a(R)$ [Ω]
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Rezultat mjerenja otpora na S razini S: $R =$				
Rezultat mjerenja otpora na N razini N: $R =$				

Prostor za računanje:

9.3 Zadaci za izvještaj:

1. Pri kojoj se vrijednosti iznosa mjerenog otpora otpornika s mjerenjem U-I metodom dobije jednaka apsolutna vrijednost pogreške za obje varijante spoja, naponsku i strujnu, ako je unutarnji otpor ampermetra $5\ \Omega$, a voltmetra $20\ \text{k}\Omega$?
2. Voltmetar otpora $750\ \text{k}\Omega$, izravno priključen na naponski izvor zanemarivog unutrašnjeg otpora pokazao je $150\ \text{V}$, a priključen preko mjerenog otpornika pokazao je $15,7\ \text{V}$. Koliko iznosi otpor mjerenog otpora?
3. Naponskom usporednom metodom treba odrediti nepoznati otpor R_x i poznati otpor R_n ako je zadano: $U_x = 0,45\ \text{V}$; $U_n = 0,65\ \text{V}$; $R_V = 20\ \text{k}\Omega$ i postotna pogreška $P\% = 1\ \%$.
4. Pojasnite postupak proračuna postotne pogreške mjerenja otpora naponskom usporednom metodom.
5. Objasnite postupak mjerenja Thompsonovim mjernim mostom.
6. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV 10: Mjerenje snage

Zadatak je vježbe ovladati tehnikama mjerenja snage u istosmjernim i izmjeničnim strujnim krugovima te na osnovu izmjerenih rezultata procijeniti mjernu nesigurnost. U prvom dijelu mjeriti djelatnu snagu analognim i digitalnim vatmetrom i U-I metodom kod malih otpora trošila (naponski spoj), dok u drugom dijelu izmjeriti djelatnu snagu analognim i digitalnim vatmetrom, prividnu snagu ampermetrom i voltmetrom te izračunati jalovu snagu i faktor snage za radno-induktivno trošilo.

10.1 Pitanja za pripremu

1. Kako se mjeri snaga u istosmjernom strujnom krugu?
2. Što je faktor snage?
3. Na što treba paziti kod spajanja vatmetra?
4. Zašto se pri mjerenju snage analognim vatmetrom priključuju ampermetar i voltmetar?
5. Koje vrste snaga razlikujemo u izmjeničnom strujnom krugu i kako su definirane?
6. Kako se određuju ispravci pri mjerenju snage?

7. Zašto se koriste mjerni transformatori?

8. Kako se procjenjuje mjerna nesigurnost mjerenja djelatne snage?

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

10.2 Rad u laboratoriju

10.2.1 Mjerenje djelatne snage u istosmjernom krugu – naponski spoj

Opis zadatka

Zadatak je ove vježbe ovladati tehnikama mjerenja djelatne snage u istosmjernom strujnom krugu U-I metodom i vatmetrom. Za svako mjerenje izračunati postotnu pogrešku mjerenja uzimajući u obzir potrošak instrumenata i procijeniti mjernu nesigurnost na osnovu graničnih pogrešaka.

Popis opreme

Istosmjerni stabilizirani izvor napajanja 0-60 V

Analogni vatmetar

Digitalni vatmetar

Digitalni ampermetar

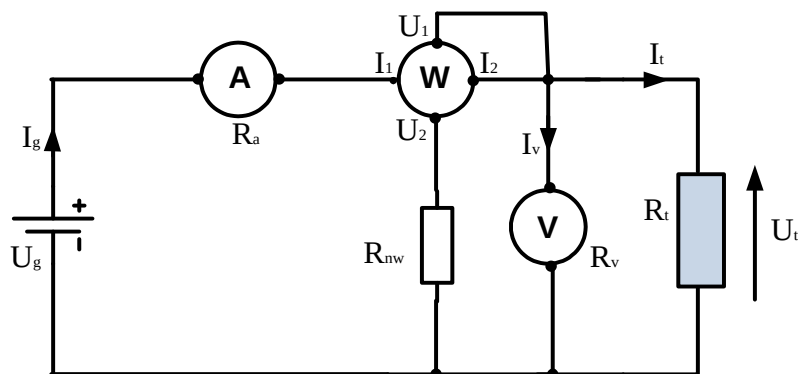
Analogni voltmetar

Trošilo – klizni potencijometar 100 Ω i žarulja 75 W

Spojni vodiči

Postupak spajanja

- 24) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 25) Spojiti shemu prema Slici 10.1, gdje otpor R_{nw} predstavlja otpor naponske grane vatmetra.
- 26) Za trošilo odabrati klizni potencijometar od 100 Ω ili žarulju od 75 W.
- 27) Digitalni ampermetar i strujne grane „I₁“ i „I₂“ vatmetra spojiti u seriju s izvorom i trošilom.
- 28) Naponsku granu vatmetra „U₁“ spojiti na jedan kraj trošila, a drugu granu „U₂“ na - pol izvora.
- 29) Drugi kraj trošila spojiti na - pol izvora.
- 30) Analogni voltmetar spojiti paralelno trošilu R_t .
- 31) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



Slika 10.1 Mjerenje djelatne snage u naponskom spoju

Postupak mjerenja

- 1) Prvo mjerenje obaviti analognim vatmetrom.
- 2) Prije uključivanja mrežnog napona, napon na stabiliziranom izvoru mora biti podešen na 0 V.
- 3) Podizati napon DC izvora do 60 V.
- 4) Očitati vrijednosti struje, napona i snage i upisati u Tablicu 10.1b.
- 5) Isto to ponoviti s digitalnim vatmetrom.
- 6) Iz uputa upisati granične pogreške vatmetra $G(W)$.
- 7) U Tablicu 10.1a upisati nazive instrumenata, unutrašnji otpor voltmetra R_v i otpore naponskih grana analognog R_{N1} i digitalnog R_{N2} vatmetra.

- 8) Za svako mjerenje izračunati postotnu pogrešku mjerenja $p\%(P)$ uzimajući u obzir potrošak instrumenata i iskazati mjerni rezultat mjerenja snage na S i N razini na osnovu graničnih pogrešaka.

Tablica 10.1a Nazivi mjernih instrumenata i vrijednosti unutrašnjih otpora

Naziv dig. vatmetra	Naziv anlg. vatmetra	Naziv ampermetra	Naziv voltmetra	R_{N1} [Ω]	R_{N2} [Ω]	R_V [Ω]

Tablica 10.1b Rezultati i pogreške mjerenja snage u naponskom spoju

Broj mjer.	U_V [V]	I_A [A]	$P_W(\text{vat.})$ [W]	$P_W(U-I)$ [W]	$p\%(P_W)$ [%]	G [W]	$u_b(P)$ [W]
1.							
2.							
	Rezultat mjerenja snage vatmetrom na S razini S: $P =$						
	Rezultat mjerenja snage vatmetrom na N razini N: $P =$						

Prostor za računanje:

10.2.2 Mjerenje snage u izmjeničnom strujnom krugu

Opis zadatka

Zadatak je ove vježbe ovladati tehnikama mjerenja snage u izmjeničnom strujnom krugu analognim i digitalnim vatmetrom. Treba izmjeriti djelatnu P , prividnu S i jalovu snagu Q te faktor snage $\cos(\varphi)$ u izmjeničnom strujnom krugu. Za svako mjerenje izračunati postotnu pogrešku mjerenja uzimajući u obzir potrošak instrumenata i procijeniti mjernu nesigurnost na osnovu graničnih pogrešaka.

Popis opreme

Izmjenični izvor napajanja s pulta 0-220 V AC

Analogni vatmetar

Digitalni vatmetar

Digitalni ampermetar

Analogni voltmetar

Jednofazni transformator 30 / 12 V / 60 VA, razreda točnosti 1, granice strujnih pogrešaka $G(I) = \pm 1,5$

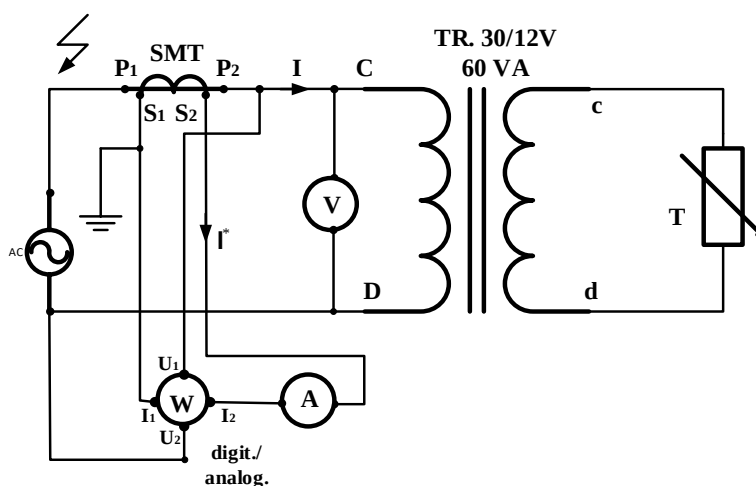
% i granice faznih pogrešaka $G(\delta) = \pm 90'$

Strujni mjerni transformator (SMT) 1 / 2,5 A

Trošilo – klizni potencijometar 100 Ω

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti shemu prema Slici 10.2.
- 3) Stezaljku „L“ izmjeničnog izvora spojiti na „P₁“ SMT, drugi kraj „P₂“ na „C“ primara transformatora 30/12 V.
- 4) Drugi kraj „D“ primara transformatora 30/12 V spojiti na stezaljku „N“ izmjeničnog izvora.
- 5) Paralelno primaru TR. 30/12 V priključiti analogni voltmetar V.
- 6) Sekundarnu stezaljku „S₂“ SMT spojiti na ulaz digitalnog ampermetra A, a izlaz na ulaznu strujnu granu vatmetra „I₂“.
- 7) Izlaznu granu vatmetra „I₁“ spojiti na sekundarnu stezaljku „S₁“ i obavezno ju uzemljiti!
- 8) Naponske grane vatmetra „U₁“ i „U₂“ spojiti paralelno voltmetru V.
- 9) Sekundarnu stezaljku „c“ TR. 30/12 V spojiti na jedan kraj trošila T, a drugi kraj trošila na stezaljku „d“.
- 10) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



Slika 10.2 Mjerenje snage u izmjeničnom strujnom krugu pomoću SMT-a

Postupak mjerenja

- 1) Prvo mjerenje obaviti analognim vatmetrom.
- 2) Prije uključivanja mrežnog napona, napon na stabiliziranom izvoru mora biti podešen na 0 V.
- 3) Podizati napon AC izvora do 30 V.
- 4) Kliznim potencijetrom od 100 Ω kao trošilom namjestiti struju primara 0,4 A.
- 5) Očitati vrijednosti struje, napona i djelatne snage i upisati u Tablicu 10.2b.
- 6) Isto to ponoviti s digitalnim vatmetrom.
- 7) Iz uputa upisati granične pogreške vatmetra $G(W)$ u Tablicu 10.2c.
- 8) U Tablicu 10.2a upisati nazive instrumenata, unutrašnji otpor voltmetra R_V , otpore naponskih grana R_N analognog i digitalnog vatmetra, prijenosni omjer i graničnu pogrešku SMT-a.
- 9) Za svako mjerenje izračunati prividnu S , jalovu Q i faktor snage $\cos(\varphi)$ i iskazati mjerni rezultat mjerenja snage na S i N razini na osnovu graničnih pogrešaka i upisati u Tablicu 10.2c.

Tablica 10.2a Nazivi i unutrašnji otpori instrumenata, podaci za SMT

Naziv vatmetra	Naziv ampermetra	Naziv voltmetra	Prijenosni omjer k_I	$G_I(\text{SMT})$	R_V [Ω]	R_N [Ω]

Tablica 10.2b Vrijednosti za napon, struju, djelatnu, prividnu, jalovu i faktor snage

Broj mjer.	U_V [V]	I_A (A)	P_W [W]	S [VA]	Q [Var]	$\cos(\varphi)$
1.						
2.						

Tablica 10.2c Granične pogreške i mjerna nesigurnost mjerenja snage

G [W]	$u_b(P)$	S razina P_W	N razina P_W

Prostor za računanje:

10.3 Zadaci za izvještaj:

1. Snaga istosmjernog tereta otpora $R_t = 500 \, \Omega$ mjeri se ampermetrom otpora $R_a = 0,05 \, \Omega$ i voltmetrom otpora $R_v = 10 \, k\Omega$. Koliki je postotni iznos korekcije zbog potroška instrumenta za naponski i strujni spoj?
2. Koliko iznosi djelatna snaga trošila ako je vatmetar sa 150 podjeljaka skale nazivnog faktora snage $\cos(\phi_N) = 0,2$ na naponskom mjernom području 75 V i strujnom mjernom području 5 A imao otklon $\alpha = 130$ podjeljaka?
3. Koliku djelatnu snagu troši trošilo impedancije $Z = (50 + j100) \, \Omega$, priključeno na izmjenični napon faktora oblika $\xi = 1.3$, ako instrument umjeren za pokazivanje efektivne vrijednosti sinusne struje spojen u seriju s trošilom pokazuje 1,65 A?
4. Kako izmjeriti jalovu snagu u jednofaznoj mreži pomoću voltmetra, ampermetra i vatmetra?
5. Pojasniti postupak proračuna mjerne nesigurnosti na 5 razini mjerenja djelatne snage u zadatku 10.2.2.
6. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV11: Mjerenje kapaciteta, induktiviteta i otpora

U ovoj će se vježbi studenti upoznati s mjerenjem nadomjesnih parametara otpornika, kondenzatora i zavojnice.

11.1 Pitanja za pripremu

1. Objasniti pojmove:

- Otpornik, otpor, otpornost
- Kondenzator, kapacitet, kapacitivnost
- Zavojnica, induktivitet, induktivnost

2. Objasniti pojmove: faktor dobrote, kut gubitaka, kut impedancije, kut admitancije.

3. Koliko iznosi faktor dobrote, kut gubitaka, kut impedancije i kut admitancije kod:

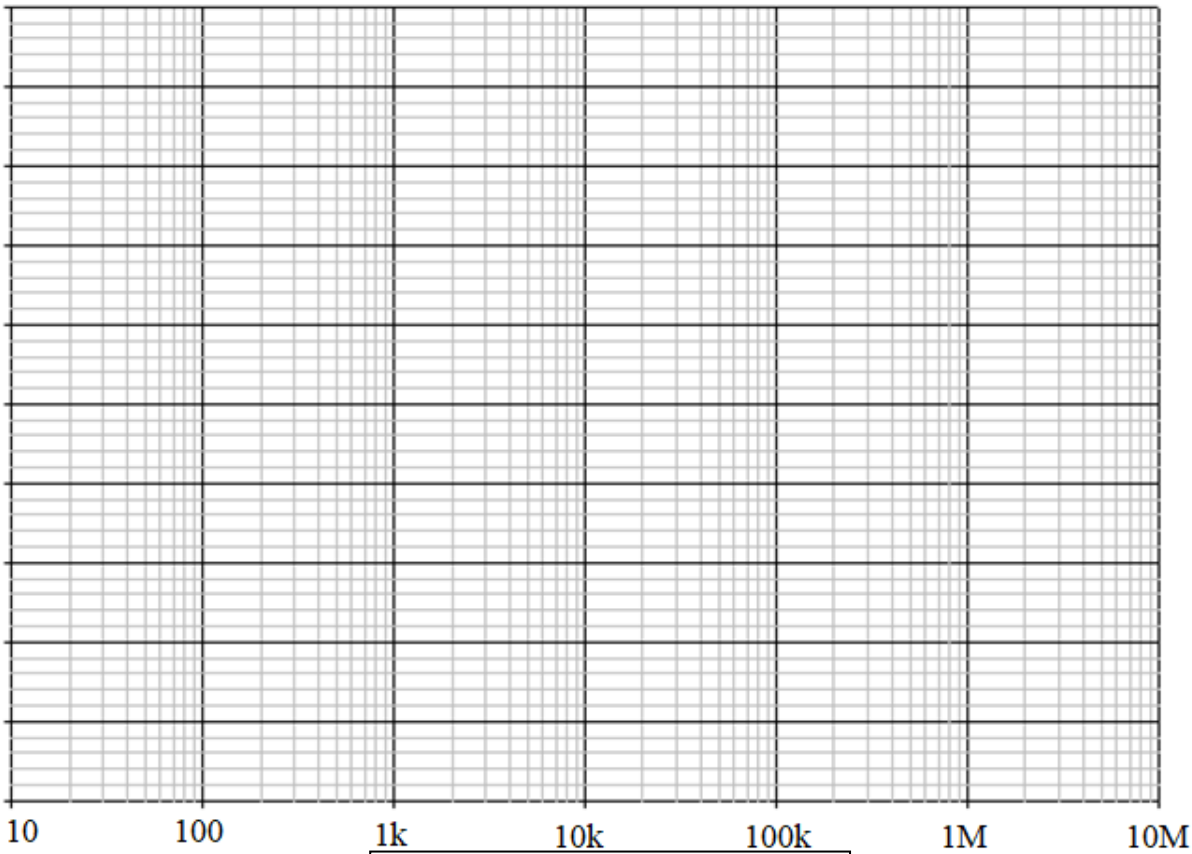
- Idealnog otpornika (otpora)
- Idealnog kondenzatora (kapaciteta)
- Idealne zavojnice (induktiviteta)

4. Nacrtajte ovisnost $|Z(\omega)|_{dB}$ i $\varphi(\omega)$ za slučaj serijskog RL spoja pri čemu je $R = 100 \Omega$, $L = 1 \text{ mH}$ i raspon frekvencija od 10 Hz do 10 MHz. Neka je bazna impedancija 1Ω .

$f \text{ [Hz]}$	10	20	100	300	1 k	4 k	10 k	50 k	100 k	1 M	10 M
$ Z \text{ [}\Omega\text{]}$											
$\theta \text{ [}^\circ\text{]}$											

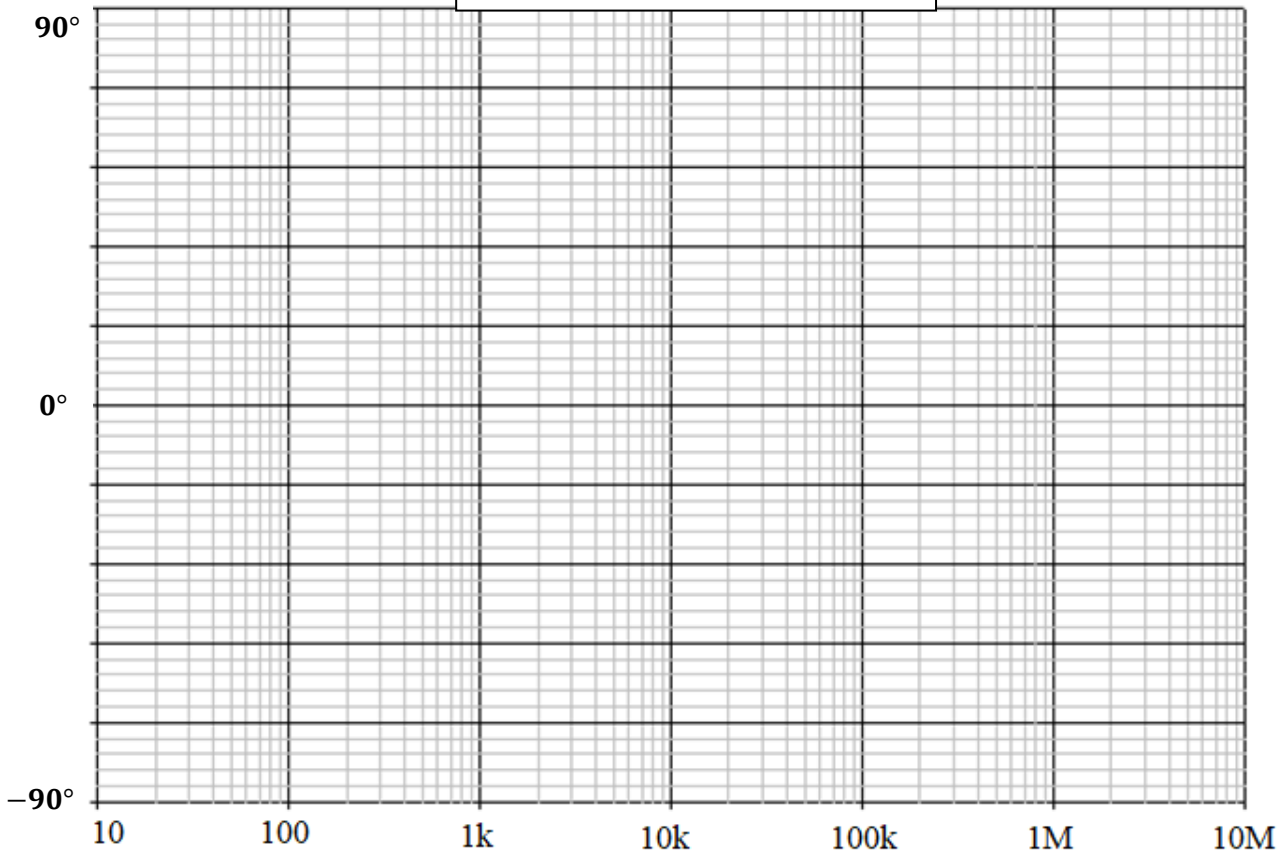
Prostor za računanje:

Modul impedancije [dB]



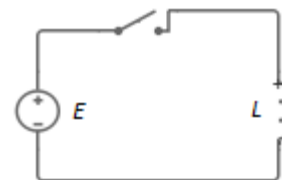
Frekvencija [Hz]

Kut impedancije [°]

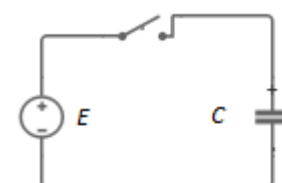


Frekvencija [Hz]

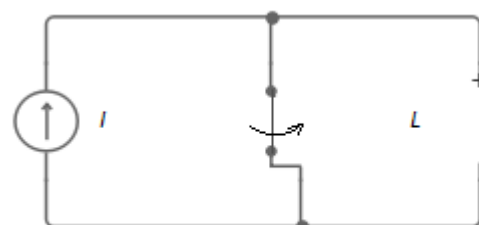
5. Što mislite što se događa s naponom i strujom/tokom induktiviteta nakon uklopa sklopke? Shema se nalazi na slici desno. Pretpostavite da je induktivitet prije uklopa sklopke bio prazan, tj. da je struja/tok prije uklopa nula.



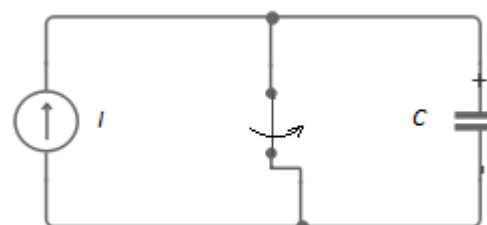
6. Što mislite što se događa s naponom/nabojem i strujom kapaciteta nakon uklopa sklopke? Shema se nalazi na slici desno. Pretpostavite da je kondenzator prije uklopa sklopke bio prazan, tj. da je napon/naboj kondenzatora prije uklopa nula. Ovaj se slučaj može promatrati kao specijalan slučaj RC kruga pri čemu R teži nuli.



7. Što mislite što se događa s naponom i strujom/tokom induktiviteta nakon isklopa sklopke? Shema se nalazi na slici desno. Pretpostavite da je induktivitet prije isklopa sklopke bio prazan, tj. da je struja/tok prije uklopa nula.



8. Što mislite što se događa s naponom/nabojem i strujom kapaciteta nakon isklopa sklopke? Pretpostavite da je kapacitet prije isklopa sklopke bio prazan, tj. da je napon/naboj prije isklopa nula.



Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

11.2 Rad u laboratoriju

11.2.1 Mjerenje nadomjesnih parametara otpornika

Opis zadatka

Izmjeriti nadomjesne parametre otpornika pri različitim frekvencijama pomoću RLC metra.

Popis opreme

RLC metar (HAMEG HM8018 RLC)

Otpornik

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Pomoću RLC metra izmjeriti nadomjesne parametre otpornika ($R_x, L_x, |Z|, \theta$) iznosa nazivnog otpora $R_1 \in [1\Omega, 1M\Omega]$, a za točnu vrijednost pitati demonstratora/laboranta/nastavnika. Mjerenja je potrebno napraviti pri svim frekvencijama koje RLC metar omogućava.

3) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!

Tablica 11.1 Rezultati mjerenja za otpornik

f [kHz]	R_s [_____]	L_s [_____]	R_p [_____]	C_p [_____]	$ Z $ [_____]	θ [°]	$ Z $ [dB]
0,1							
0,12							
1							
10							
25							

Prostor za računanje:

11.2.2 Mjerenje nadomjesnih parametara kondenzatora

Opis zadatka

Izmjeriti nadomjesne parametre elektrolitskog i blok kondenzatora pri različitim frekvencijama pomoću RLC metra.

Popis opreme

RLC metar (HAMEG HM8018 RLC)

Blok kondenzator

Elektrolitski kondenzator

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Pomoću RLC metra izmjeriti nadomjesne parametre kondenzatora ($C_x, R_x, |Z|, \theta$) za elektrolitski kondenzator nazivne kapacitivnosti $C_1 \in [1\mu F, 1mF]$. Uključiti opciju BIAS pri mjerenju parametara elektrolitskog kondenzatora. Također, pri spajanju paziti na polarizaciju kondenzatora.
- 3) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Tablica 11.2 Rezultati mjerenja za elektrolitski kondenzator

f [kHz]	C_s [_____]	R_s [_____]	C_p [_____]	R_p [_____]	$ Z $ [_____]	θ [°]	$ Z $ [dB]
0,1							
0,12							
1							
10							
25							

Prostor za računanje:

- 4) Pomoću RLC metra izmjeriti nadomjesne parametre kondenzatora ($C_x, R_x, |Z|, \theta$) za blok kondenzator nazivne kapacitivnosti $C_2 \in [1nF, 1\mu F]$. Pri mjerenju kapaciteta blok kondenzatora opcija BIAS nije potrebna.
- 5) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**

Tablica 11.3 Rezultati mjerenja za blok kondenzator

f [kHz]	C_s [_____]	R_s [_____]	C_p [_____]	R_p [_____]	$ Z $ [_____]	θ [°]	$ Z $ [dB]
0,1							
0,12							
1							
10							
25							

Prostor za računanje:

11.2.3 Mjerenje nadomjesnih parametara zavojnice

Opis zadatka

Izmjeriti nadomjesne parametre zavojnice pri različitim frekvencijama pomoću RLC metra.

Popis opreme

RLC metar (HAMEG HM8018 RLC)

Zavojnica

Spojni vodiči

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Pomoću RLC metra izmjeriti nadomjesne parametre zračne zavojnice ($R_x, L_x, |Z|, \theta$) iznosa nazivnog induktiviteta $L_1 \in [1\mu H, 10mH]$. Mjerenja je potrebno napraviti pri svim frekvencijama koje RLC metar omogućava.

3) PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!

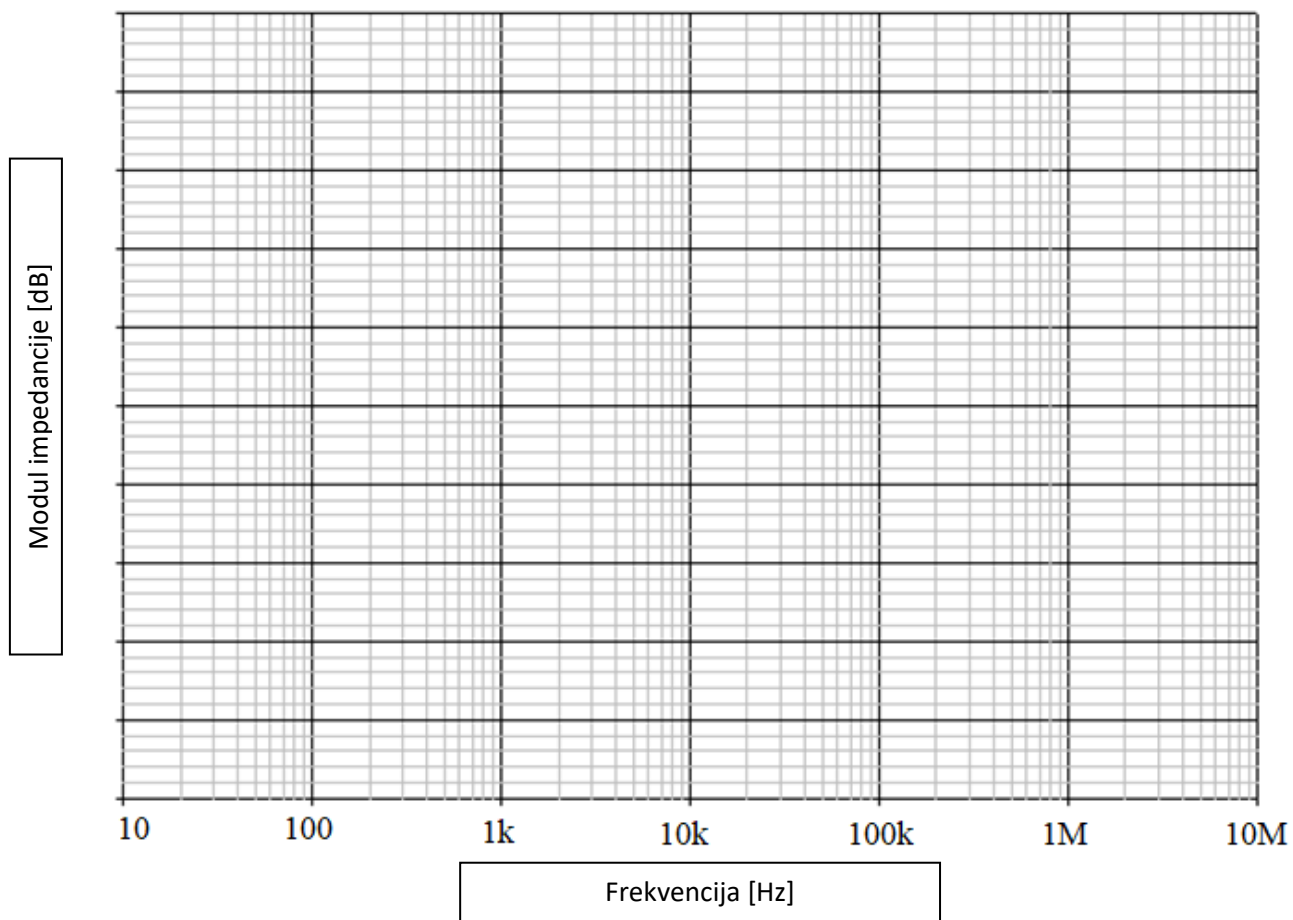
Tablica 11.4 Rezultati mjerenja za zavojnicu

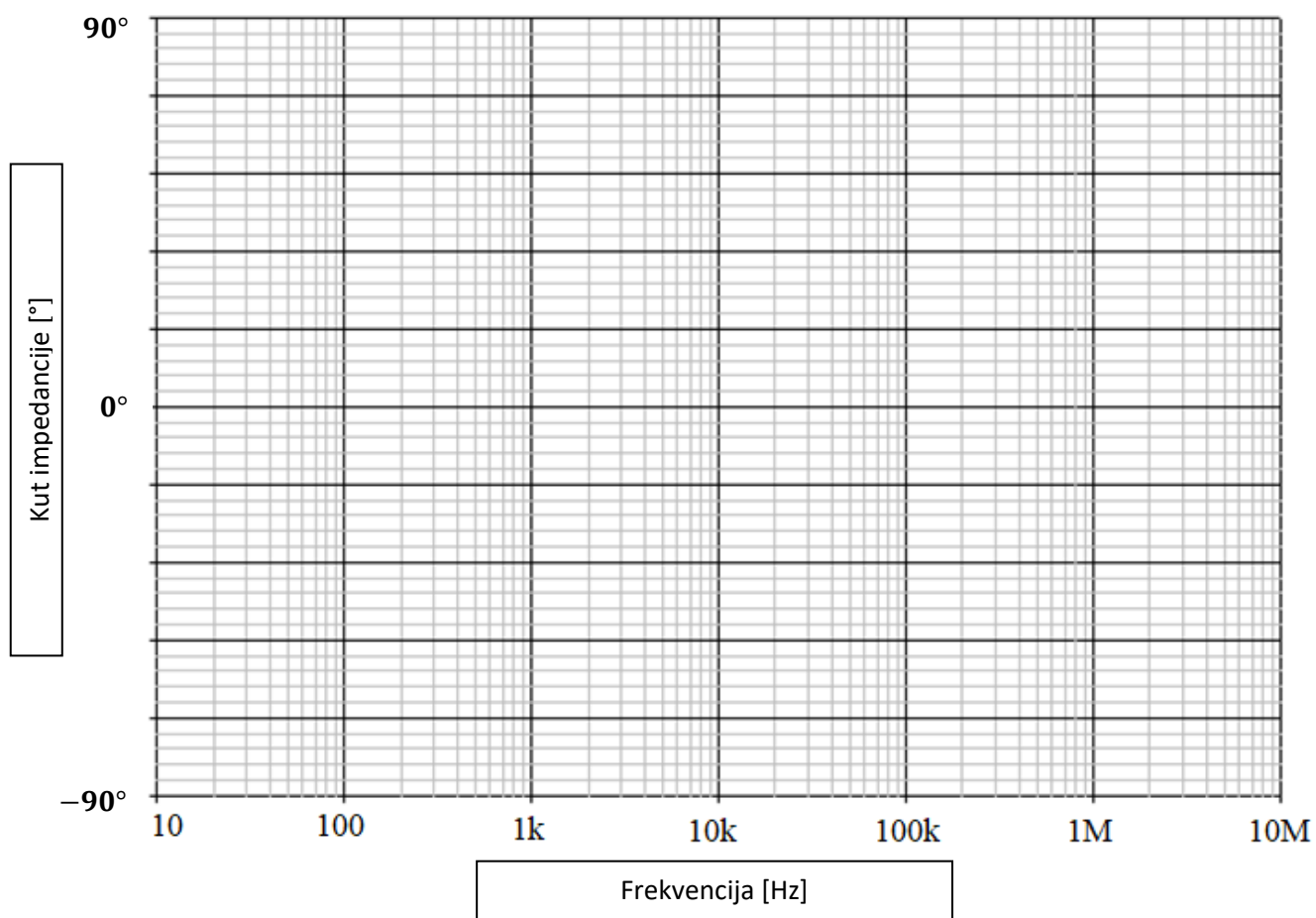
f [kHz]	R_s [_____]	L_s [_____]	R_p [_____]	L_p [_____]	$ Z $ [_____]	θ [°]	$ Z $ [dB]
0,1							
0,12							
1							
10							
25							

Prostor za računanje:

11.3 Zadaci za izvještaj

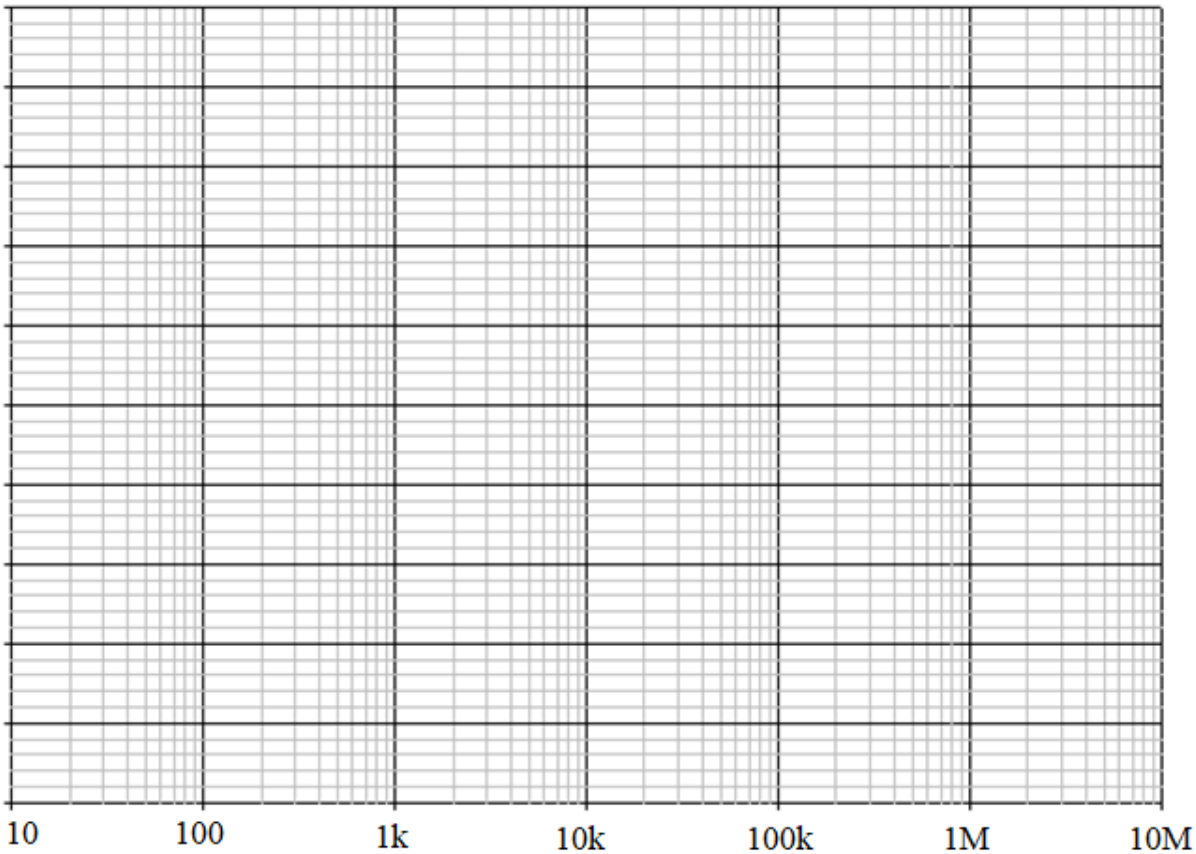
1. Na temelju izmjerenih vrijednosti nadomjesnih parametara otpornika (Tablica 11.1) nacrtajte ovisnost modula impedancije $|Z|$ i kuta impedancije θ o frekvenciji. Objasniti kako bi trebale izgledati karakteristike modula i kuta impedancije idealnog otpornika i navedite u kojem rasponu frekvencija dolazi do odstupanja izmjerene karakteristike od idealne.





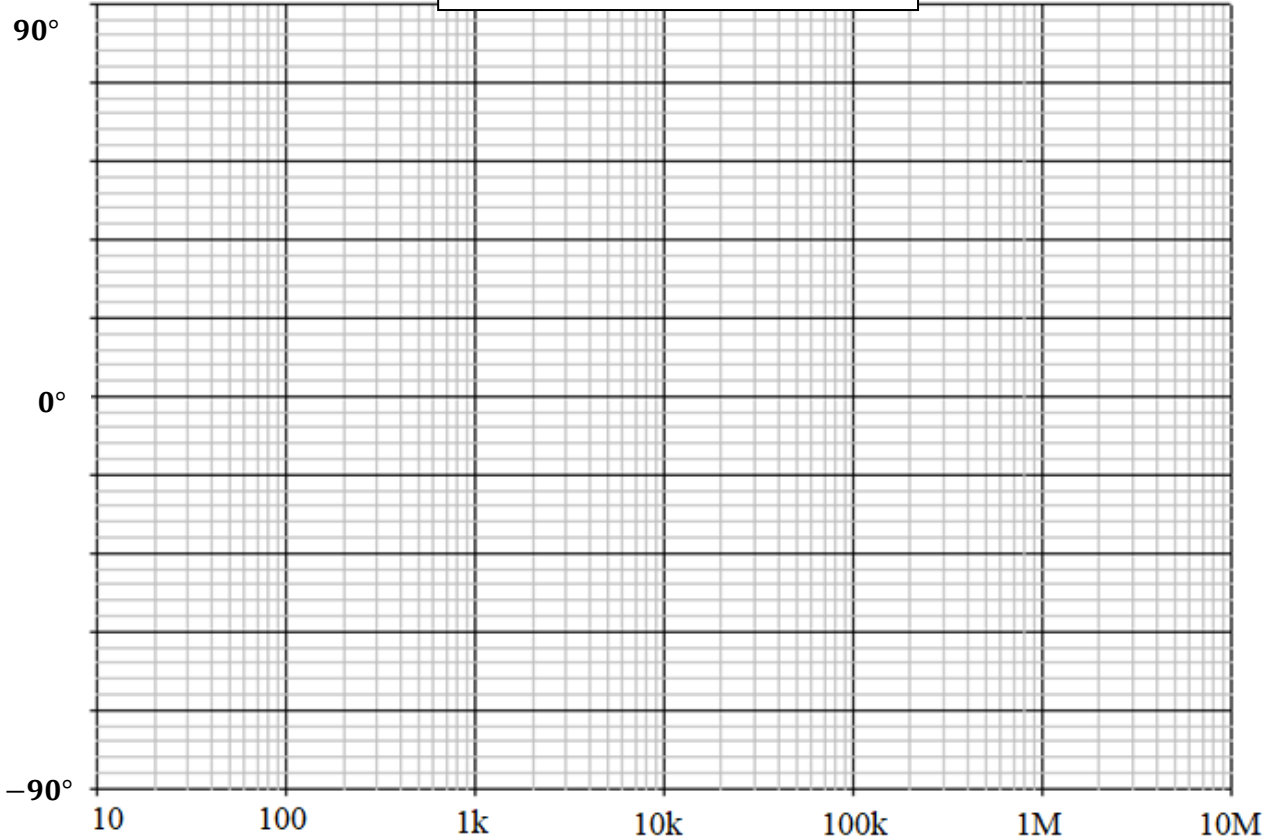
2. Na temelju izmjerenih vrijednosti nadomjesnih parametara elektrolitskog kondenzatora (Tablica 11.2) nacrtajte ovisnost modula impedancije $|Z|$ i kuta impedancije θ o frekvenciji. Objasniti kako bi trebale izgledati karakteristike modula i kuta impedancije idealnog kondenzatora i navedite u kojem rasponu frekvencija dolazi do odstupanja izmjerene karakteristike od idealne.

Modul impedancije [dB]



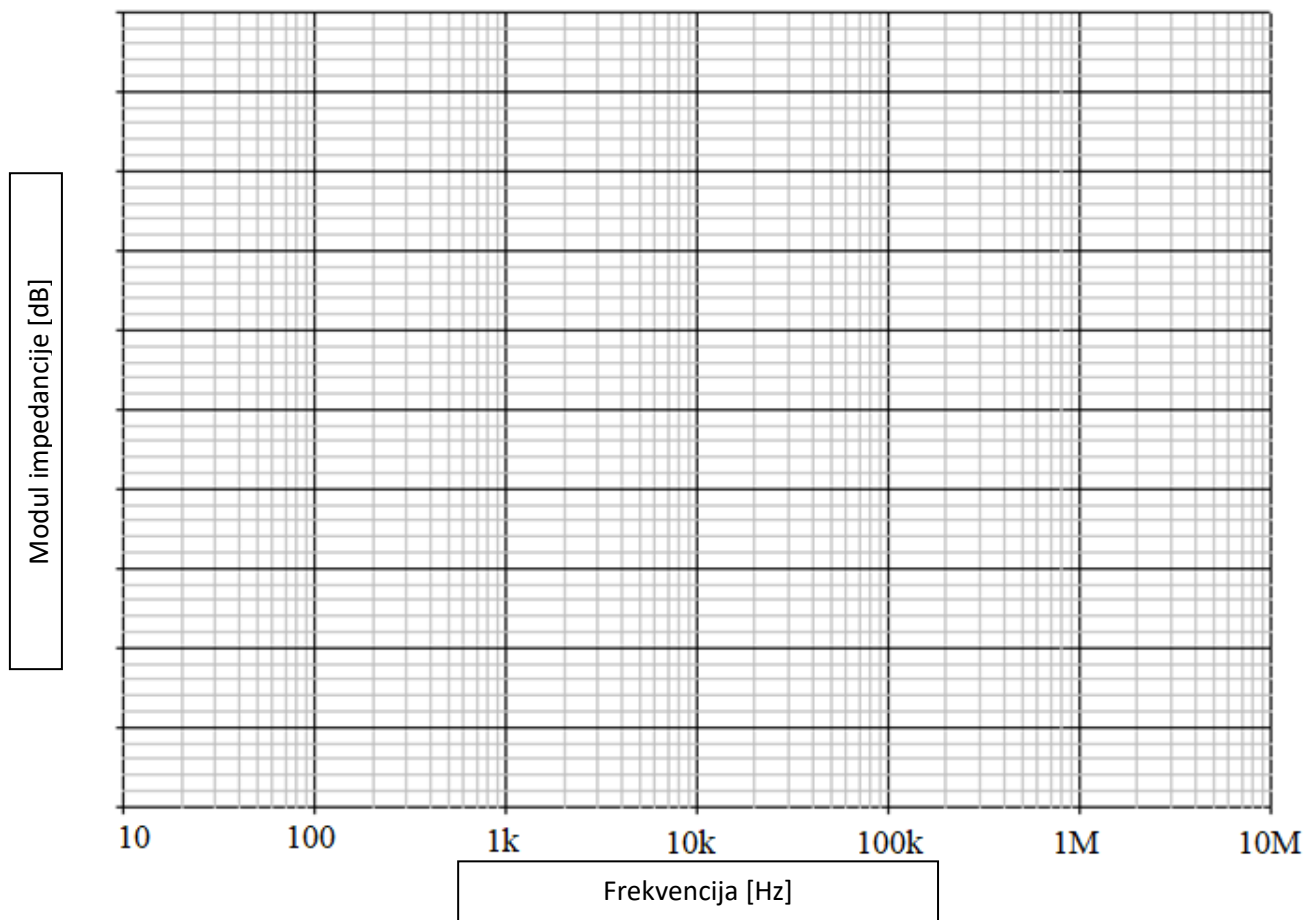
Frekvencija [Hz]

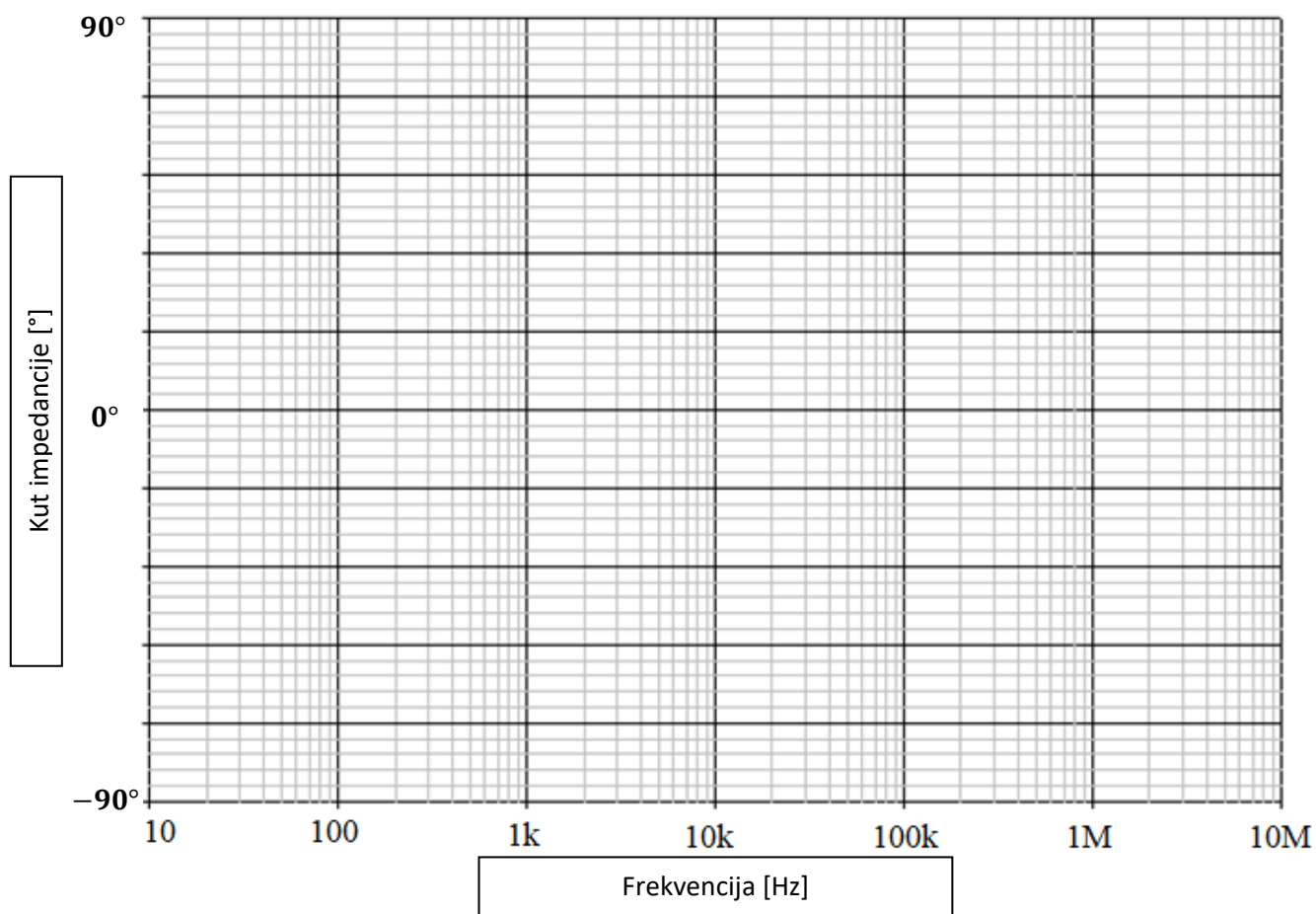
Kut impedancije [°]



Frekvencija [Hz]

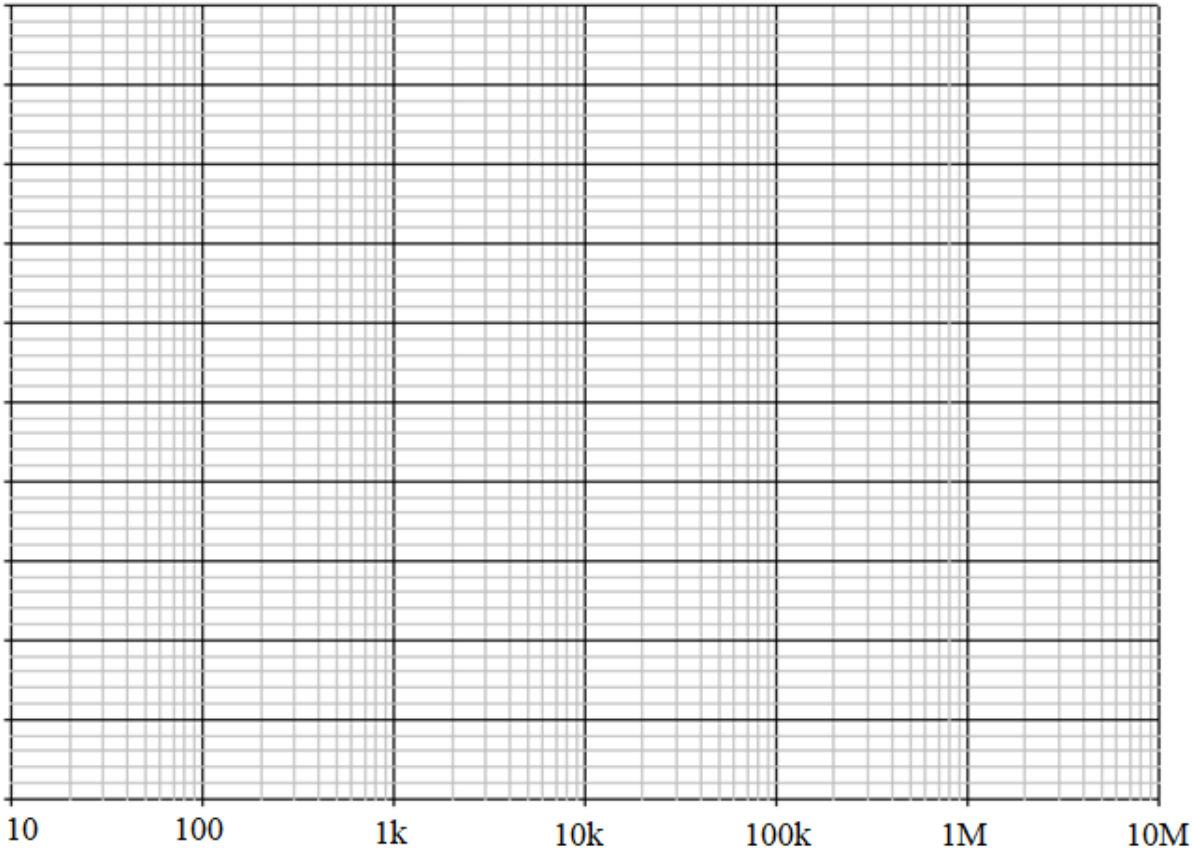
3. Na temelju izmjerenih vrijednosti nadomjesnih parametara blok kondenzatora (Tablica 11.3) nacrtajte ovisnost modula impedancije $|Z|$ i kuta impedancije θ o frekvenciji. Objasniti kako bi trebale izgledati karakteristike modula i kuta impedancije idealnog kondenzatora i navedite u kojem rasponu frekvencija dolazi do odstupanja izmjerene karakteristike od idealne.





4. Na temelju izmjerenih vrijednosti nadomjesnih parametara zavojnice (Tablica 11.4) nacrtajte ovisnost modula impedancije $|Z|$ i kuta impedancije θ o frekvenciji. Objasniti kako bi trebale izgledati karakteristike modula i kuta impedancije idealne zavojnice i navedite u kojem rasponu frekvencija dolazi do odstupanja izmjerene karakteristike od idealne.

Modul impedancije [dB]



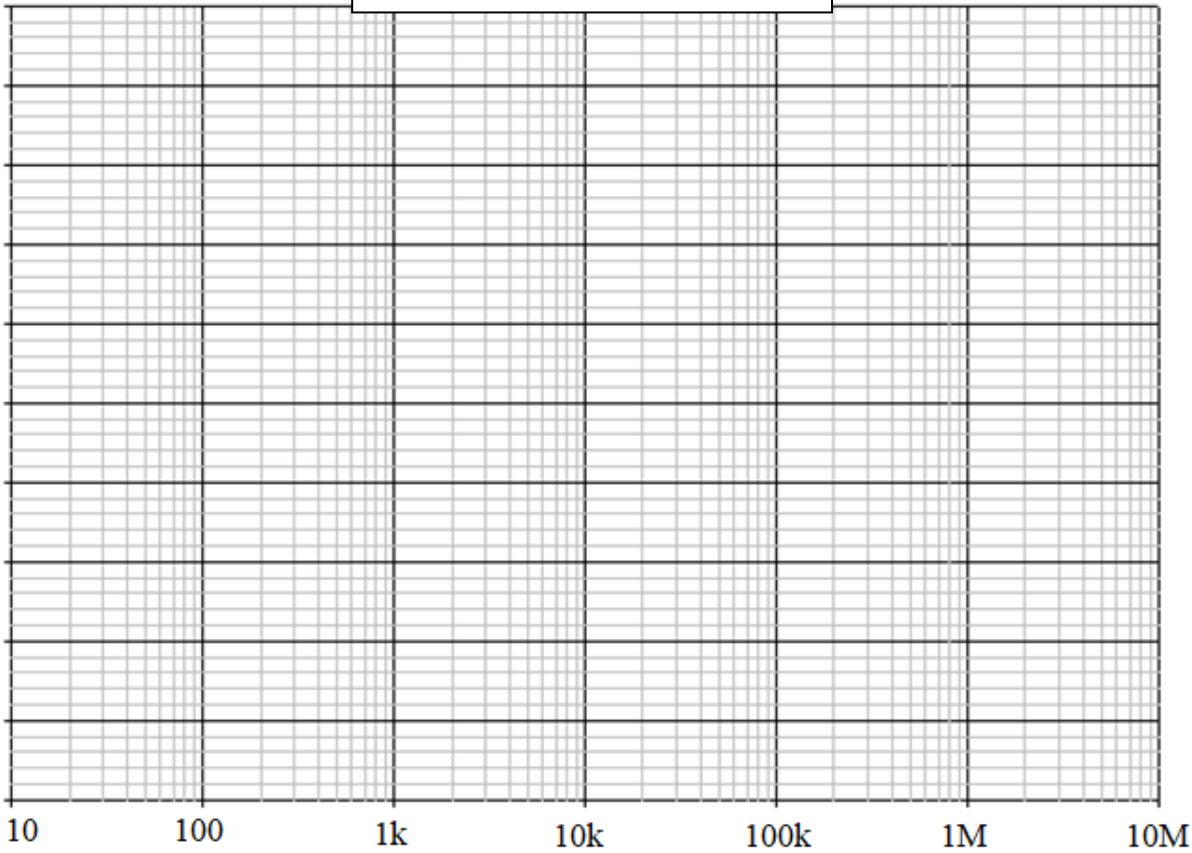
Frekvencija [Hz]

Kut impedancije [°]

90°

0°

-90°



Frekvencija [Hz]

5. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV12: Mjerenje perioda i frekvencije

Korištenjem digitalnog brojila za mjerenje frekvencije i periode signala potrebno je procijeniti relativnu i apsolutnu mjernu nesigurnost mjerenja frekvencije pravokutnog napona za cijeli frekvencijski opseg.

12.1. Pitanja za pripremu

8. Zašto se regulira temperatura oscilatora u brojilu?

9. Zašto je u digitalnom brojilu potreban T bistabil?

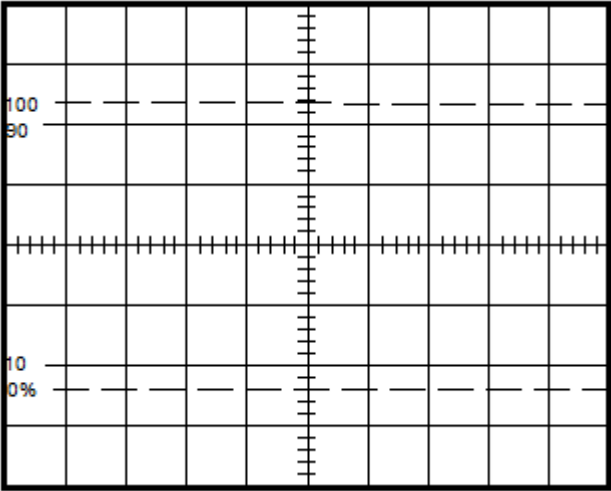
10. Opišite načelo rada digitalnog mjerila frekvencije.

11. Koliko iznosi pogreška kvantizacije digitalnog brojila?

12. Objasnite utjecaj uzorkovanja i konačnog vremenskog prozora na spektar signala.

13. Potrebno je nacrtati u mjerilu sliku na zaslonu katodnog osciloskopa u X-Y načinu rada ako je na X ulazu valni oblik opisan s: $U_x = 8\sin(2\omega t)$ [V], a na Y ulazu: $U_y = -0,5 + \sin(\omega t)$ [V]. ($F_x = 2$ [V/dijelu skale], $F_y = 0,5$ [V/dijelu skale]). Ulazna preklopka (mogući su položaji: DC, GND i AC) na X ulazu postavljena je na DC područje, dok je na Y kanalu postavljena na AC područje.

$\omega t[\text{rad}]$	0	$\pi/6$	$2\pi/6$	$3\pi/6$	$4\pi/6$	$5\pi/6$	$6\pi/6$	$7\pi/6$	$8\pi/6$	$9\pi/6$	$10\pi/6$	$11\pi/6$
$U_x[\text{V}]$												
$U_y[\text{V}]$												
$X[\text{div}]$												
$Y[\text{div}]$												



Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

12.2 Rad u laboratoriju

12.2.1 Mjerenje frekvencije i periode signala digitalnim brojilom

Opis zadatka

U laboratorijskoj vježbi potrebno je naučiti koristiti univerzalno digitalno brojilo za mjerenje frekvencije i periode signala te procijeniti relativnu i apsolutnu mjernu nesigurnost mjerenja frekvencije pravokutnog napona za cijeli frekvencijski opseg za obje vrste mjerenja (frekvencije i trajanja periode).

Popis opreme

Digitalno brojilo

Funkcijski generator (s dvama kanalima) ili dvama jednokanalnim funkcijskim generatorima

Digitalni osciloskop

Spojni vodiči

Kabel s BNC priključcima

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti digitalno brojilo s funkcijskim generatorom i digitalnim osciloskopom.
- 3) Odabrati na instrumentima odgovarajuće mjerne domete, frekvencije.

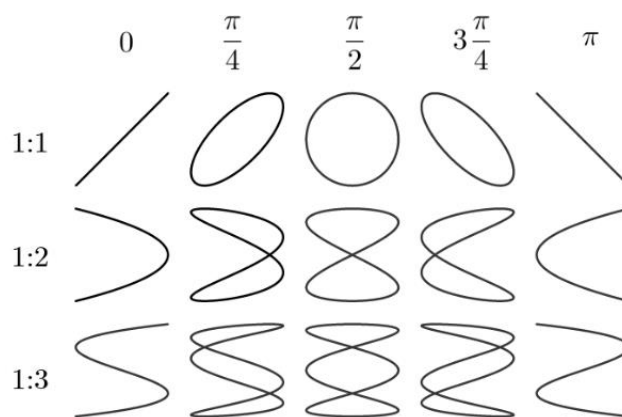
Postupak mjerenja

- 1) Uključiti digitalno brojilo i funkcijski generator da se zagriju na radnu temperaturu.
- 2) Proučiti upute u knjižici za digitalno brojilo.
- 3) Podesiti na izlazu funkcijskog generatora sinusni oblik izmjeničnog napona amplitude od 500 mV.
- 4) Pozvati demonstratora ili nastavnika zbog provjere i početka mjerenja.
- 5) Pomoću univerzalnog digitalnog brojila potrebno je izmjeriti dvije frekvencije signala funkcijskog generatora od 1 Hz do maksimalne frekvencije koju može dati (za točne iznose frekvencija, pitajte voditelja vježbi).
- 6) Izmjeriti frekvenciju i periodu na tri različita načina - univerzalnim digitalnim brojilom, usporednom metodom te očitavanjem frekvencije (perioda) s digitalnog osciloskopa, a potrebno je odrediti i frekvenciju i periodu signala.
- 7) Pri mjerenju frekvencije usporednom metodom (Lissajousove krivulje) potrebno je pratiti dva signala. Neka je na prvom kanalu osciloskopa signal nepoznate frekvencije f_x , dok je na drugom kanalu signal poznate i podesive frekvencije f_y . Potrebno je mijenjati frekvenciju f_y sve dok se na osciloskopu ne pojavi mirna slika u nekom od oblika navedenima na Slici 12.1. Omjeri frekvencije f_x/f_y koje je potrebno podesiti zadane su u Tablicama 12.1 i 12.2.
- 8) Svako mjerenje ponoviti 5 puta svakih 10 sekundi. Instrument ne isključivati radi stabilnosti rada oscilatora.

Vrsta (tip) i proizvođač digitalnog brojila: _____

Vrsta (tip) i proizvođač digitalnog osciloskopa: _____

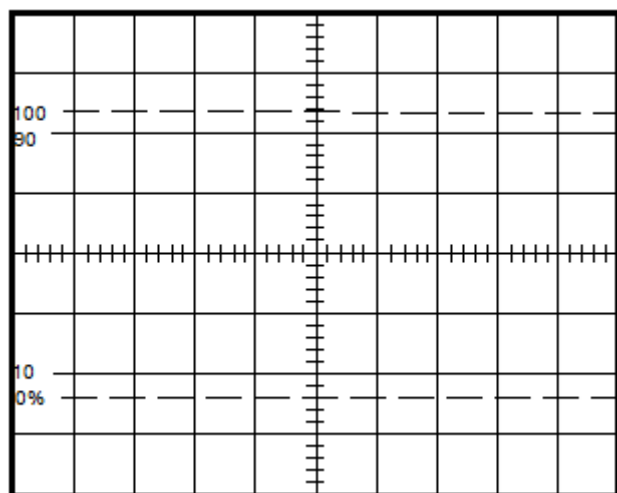
Vrsta (tip) i proizvođač funkcijskog generatora: _____



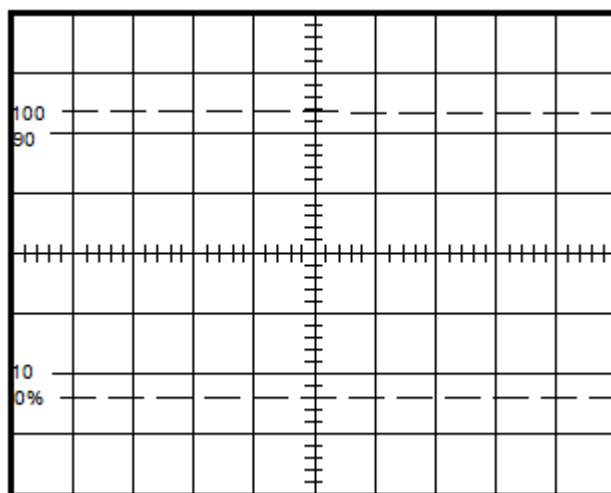
Slika 12.1. Lissajousove krivulje

Tablica 12.1 Mjerenja frekvencije i periode signala funkcijskog generatora za podešenu frekvenciju_____

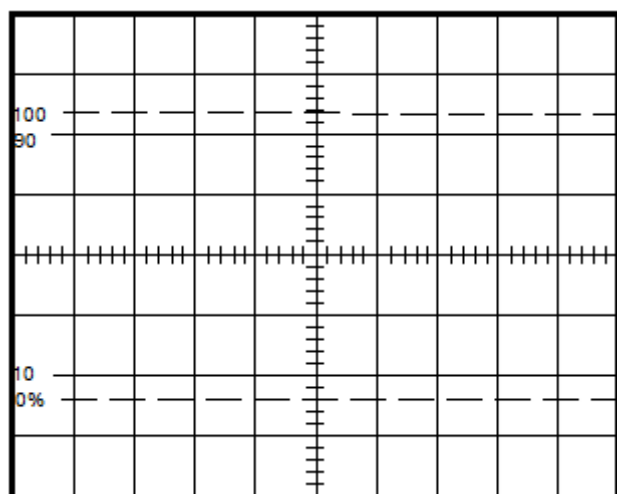
Mjerenje br.		1	2	3	4	5
Dig. brojilo	$f[\text{Hz}]$					
	$T[\text{s}]$					
Lissajousove krivulje	f_x/f_y	1:1	1:2	2:1	1:3	3:1
	$f [\text{Hz}]$					
	$T [\text{s}]$					
Digitalni osciloskop	$f [\text{Hz}]$					
	$T [\text{s}]$					



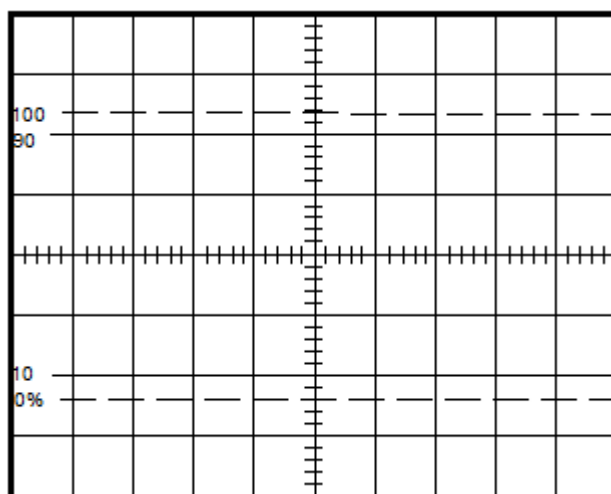
$$f_x/f_y = 1:1$$



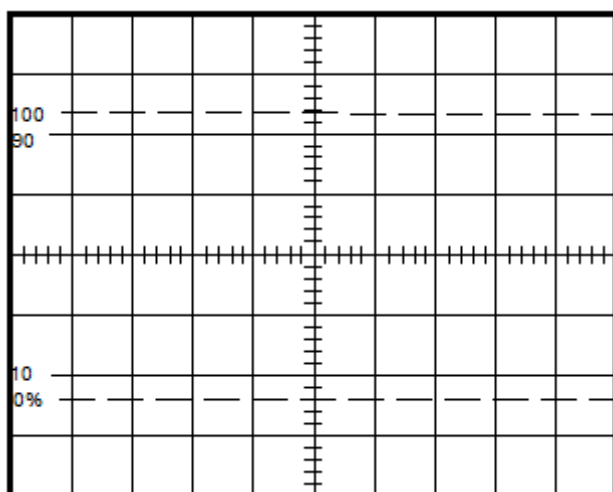
$$f_x/f_y = 1:2$$



$$f_x/f_y = 2:1$$



$$f_x/f_y = 1:3$$



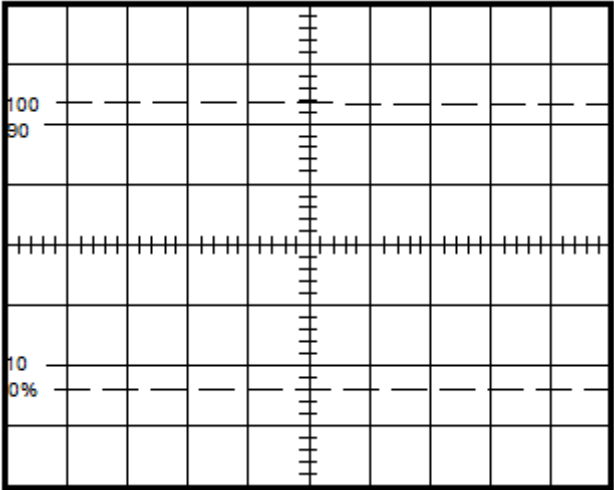
$$f_x/f_y = 3:1$$

Slika 12.2. Prikaz zaslona osciloskopa pri usporednom mjerenju frekvencije (Lissajousove krivulje)

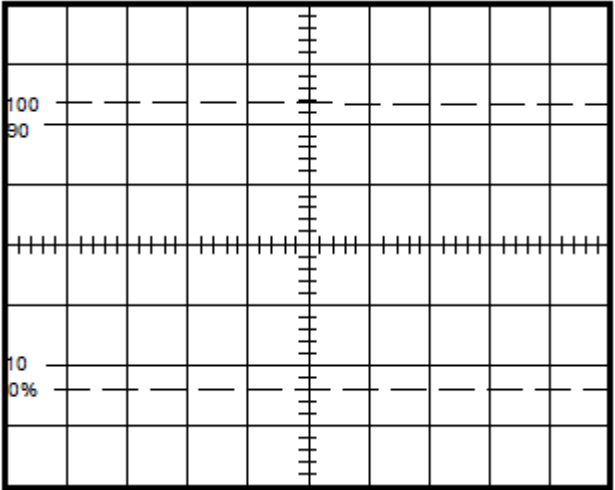
Postupak izračuna:

Tablica 12.2 Mjerenja frekvencije i periode signala funkcijskog generatora za podešenu frekvenciju_____

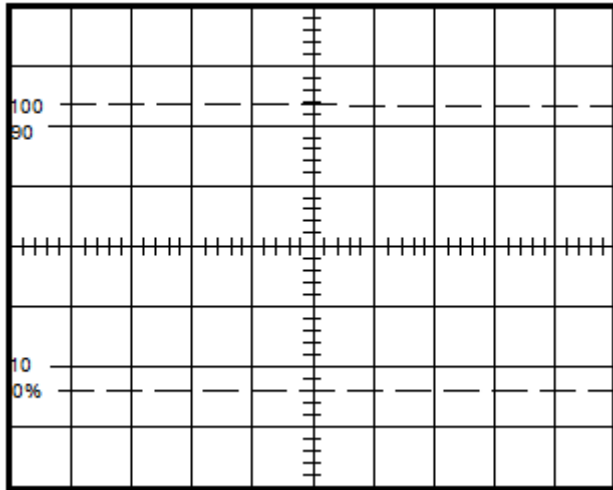
Mjerenje br.		1	2	3	4	5
Dig. brojilo	f [Hz]					
	T [s]					
Lissajousove krivulje	f_x/f_y	1:1	1:2	2:1	1:3	3:1
	f [Hz]					
	T [s]					
Digitalni osciloskop	f [Hz]					
	T [s]					



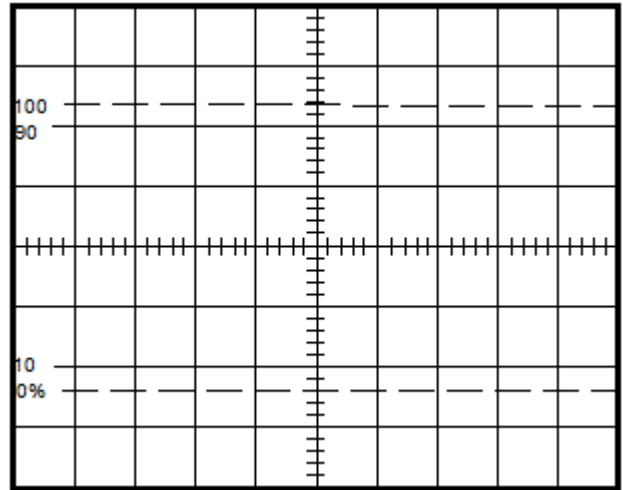
$f_x/f_y = 1:1$



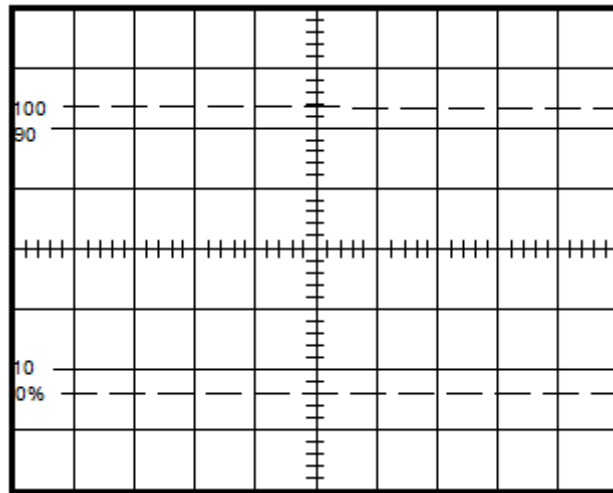
$f_x/f_y = 1:2$



$$f_x/f_y = 2:1$$



$$f_x/f_y = 1:3$$



$$f_x/f_y = 3:1$$

Slika 12.3 Prikaz zaslona osciloskopa pri usporednom mjerenju frekvencije (Lissajousove krivulje)

Postupak izračuna:

12.3 Zadaci za izvještaj

1. Nacrtajte blok shemu modernog univerzalnog brojila.
2. Odredite frekvenciju signala sinusnog valnog oblika čija je kružna frekvencija 314 rad/s .
3. Univerzalno brojilo sa 6 znamenki mjeri frekvenciju od $78,32 \text{ kHz}$. Koliko će biti pokazivanje na digitalnom pokazniku ako je logički „I“ sklop otvoren 10 ms , 100 ms , 1 s i 10 s ?
4. Kako pogreška okidanja utječe na točnost mjerenja frekvencije?
5. Koje zahtjeve postavljamo pred oscilator ugrađen u univerzalno brojilo?
6. Odredite postotnu mjernu nesigurnost izmjerenih frekvencija (Tablice 12.1 i 12.2) pomoću digitalnog brojila.

Frekvencija	Postotna mjerna nesigurnost
(iz Tablice 12.1)	
(iz Tablice 12.2)	

13 Odredite relativnu mjernu nesigurnost izmjerenih perioda (Tablice 12.1 i 12.3) pomoću digitalnog brojila.

Period	Postotna mjerna nesigurnost
 (iz Tablice 12.1)	
 (iz Tablice 12.2)	

8. Komentar vježbe

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

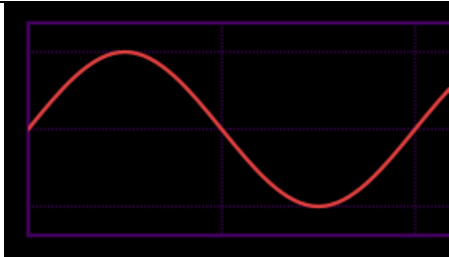
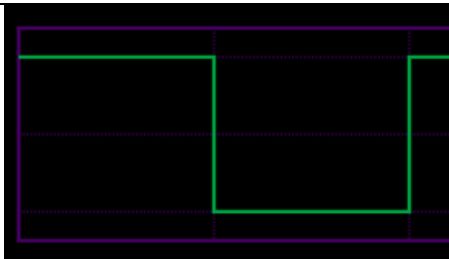
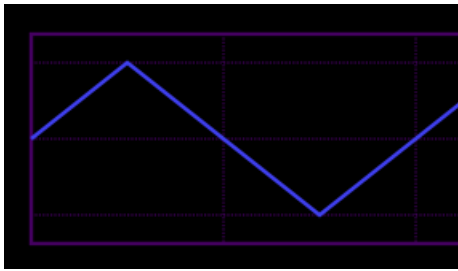
LV13: Računala i mjerna oprema

U ovoj će se vježbi studenti upoznati s jednom od mogućnosti povezivanja računala i mjerne opreme za potrebe spektralne analize signala.

13.1 Pitanja za pripremu

1. Odredite amplitudni spektar $\hat{C}(n)$ signala koji su navedeni u Tablici 13.1 ako im se doda istosmjerna komponenta iznosa $U(0)$. Odgovore napisati u Tablicu 13.2.

Tablica 13.1 Izrazi za amplitudni spektar signala

Funkcija	Valni oblik	Amplitudno-frekvencijska karakteristika
Sinusni $u(t) = \hat{U} \sin(2\pi f_0 t)$		$\hat{C}(f) = \begin{cases} \hat{U} & f = f_0 \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$
Pravokutni $u(t) = \begin{cases} \hat{U} & 0 < t < \frac{1}{2f_0} \\ -\hat{U} & \frac{1}{2f_0} < t < \frac{1}{f_0} \end{cases}$		$\hat{C}(f) = \begin{cases} \frac{4\hat{U}}{n\pi} & f = nf_0 \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$ $n = 1, 3, 5, \dots$
Trokutasti $u(t) = \begin{cases} 4\hat{U}f_0 t & t \in \left[0, \frac{1}{4f_0}\right] \\ -4\hat{U}f_0 \left(t - \frac{1}{4f_0}\right) + \hat{U} & t \in \left[\frac{1}{4f_0}, \frac{3}{4f_0}\right] \\ 4\hat{U}f_0 \left(t - \frac{3}{4f_0}\right) - \hat{U} & t \in \left[\frac{3}{4f_0}, \frac{1}{f_0}\right] \end{cases}$		$\hat{C}(f) = \begin{cases} \frac{8\hat{U}}{\pi^2 n^2} & f = nf_0 \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$ $n = 1, 3, 5, \dots$

Tablica 13.2 Amplitudni spektar signala s istosmjernom komponentom

Valni oblik, $u(t) =$	Skica valnog oblika	Spektar
$U(0) + \hat{U} \sin(2\pi f_0 t)$		$\hat{C}(n) =$

$U(0) + \begin{cases} \hat{U} & 0 < t < \frac{1}{2f_0} \\ -\hat{U} & \frac{1}{2f_0} < t < \frac{1}{f_0} \end{cases}$		$\hat{C}(n) =$
$U(0) + \begin{cases} 4\hat{U}f_0t & t \in \left[0, \frac{1}{4f_0}\right] \\ -4\hat{U}f_0\left(t - \frac{1}{4f_0}\right) + \hat{U} & t \in \left[\frac{1}{4f_0}, \frac{3}{4f_0}\right] \\ 4\hat{U}f_0\left(t - \frac{3}{4f_0}\right) - \hat{U} & t \in \left[\frac{3}{4f_0}, \frac{1}{f_0}\right] \end{cases}$		$\hat{C}(n) =$

2. Ako je podešen napon na funkcijskom generatoru 10 [V], od vrha do vrha bez istosmjerne komponente, potrebno je odrediti $\hat{C}(n)$ i $C(n)$ ($n = 0, 1, \dots, 8$) za sinusni, trokutasti i pravokutni valni oblik čije su jednačbe navedene u Tablici 13.1 te izračunate vrijednosti upisati u Tablicu 13.3.

Tablica 13.3 Izračunate vrijednosti amplitudnog spektra

n	Sinusni		Pravokutni		Trokutasti	
	$\hat{C}(n)$ [V]	$C(n)$ [V]	$\hat{C}(n)$ [V]	$C(n)$ [V]	$\hat{C}(n)$ [V]	$C(n)$ [V]
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Prostor za računanje:

3. Ako je podešen napon na funkcijskom generatoru 10 [V], od vrha do vrha s istosmjernom komponentom od 5 V, potrebno je odrediti $\hat{C}(n)$ i $C(n)$ ($n = 0, 1, \dots, 8$) za sinusni, trokutasti i pravokutni valni oblik čije su jednadžbe navedene u Tablici 13.1 te izračunate vrijednosti upisati u Tablicu 13.4.

Tablica 13.4 Izračunate vrijednosti amplitudnog spektra

n	Sinusni + DC		Pravokutni + DC		Trokutasti + DC	
	$\hat{C}(n)$ [V]	$C(n)$ [V]	$\hat{C}(n)$ [V]	$C(n)$ [V]	$\hat{C}(n)$ [V]	$C(n)$ [V]
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Prostor za računanje:

4. Pojasnite kako se određuje predznak DC komponente iz amplitudno-frekvencijske i fazno-frekvencijske karakteristike ako je signal zapisan kao:
- sinusni Fourierov red
 - kosinusni Fourierov red

5. Ako je frekvencija osnovnog harmonika $f_0 = 50$ Hz, koje vrijednosti treba upisati na prazna polja?

n	f [Hz]	ω [rad/s]
0		
	50	
		200π
	300	

6. Pri spektralnoj analizi napona na osciloskopu amplitude se iskazuju u decibelima [dB] te je potrebno preračunavati navedene vrijednosti u [V]. Koristi se izraz:

$$U [V] = 10^{U[dB]/20} \quad (1)$$

Potrebno je odrediti koliko je decibela napon od 20 V.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

13.2 Rad u laboratoriju

13.2.1 Spektralna analiza signala

Opis zadatka

Povezati funkcijski generator, digitalni osciloskop i računalo. Zadani valni oblik prenijeti iz funkcijskog generatora na digitalni osciloskop i na računalo u obliku slike i u .csv formatu koji sadrži uzorke valnog oblika. Napraviti spektralnu analizu signala pomoću digitalnog osciloskopa i programa Matlab na računalo.

Popis opreme

Funkcijski generator

Digitalni osciloskop

Računalo + internet + Matlab

Kabel s BNC priključcima

Postupak

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Spojiti osciloskop s računalom (USB) i pokrenuti na računalu program za rad s osciloskopom.
- 3) Spojiti osciloskop s funkcijskim generatorom (BNC) i podesiti frekvenciju signala na iznos koji kaže voditelj vježbi vrijednosti 10 V od vrha do vrha.
- 4) Vremensku bazu osciloskopa postaviti tako da se na zaslonu osciloskopa pojavi između 4 i 10 cijelih perioda signala. Za tri različita valna oblika (sinusni, trokutasti i pravokutni) bez istosmjerne komponente potrebno je provesti postupak kako je opisano pod sljedećim točkama.
- 5) Prenijeti sliku valnog oblika (vremenska domena, y-t režim rada) na računalo i spremiti (slika je dio izvještaja).
- 6) Prenijeti i spremiti uzorke napona koji se vidi na zaslonu osciloskopa, tj. spremiti podatke u .csv formatu.
- 7) Pokrenuti program iz Matlaba koji računa spektar iz podataka spremljenih u .csv datoteci. Očitati vrijednosti amplitude i frekvencije pojedinog harmonika i vrijednosti upisati u Tablicu 13.3. Pri očitavanju vrijednosti s osciloskopa ili računala pripaziti je li na ordinati vršna $\hat{C}(n)$ ili efektivna vrijednost $C(n)$ n-tog harmonika. Općenito vrijedi da je $\hat{C}(n) = \sqrt{2}C(n)$, za $n = 1, 2, 3 \dots$ Dobivene slike spremiti i priložiti analizi.
- 8) Podesiti vremensku bazu tako da se na zaslonu prikazuje najmanje 10-ak perioda, inače su očitavanja amplitude i frekvencije u spektralnoj analizi vrlo neprecizna. Najjednostavnije je podesiti vremensku bazu vremenske osi na dva do pet puta veću vrijednost od periode signala, što osigurava minimalno od 20 do 50 perioda na zaslonu osciloskopa.
- 9) Podesiti osciloskop tako da prikazuje spektar (FFT).
- 10) Prenijeti, spremiti sliku spektra na računalo i očitati amplitude pojedinih harmonika uz pomoć kursora na osciloskopu (u dB) te upisati u Tablicu 13.5.
- 11) Dobivene slike priložiti analizi. Pri očitavanju amplitude vrijednosti će biti u decibelima te ih je potrebno preračunati u volte prema izrazu (1).
- 12) Samo sinusnom valnom obliku potrebno je dodati istosmjernu komponentu u iznosu od 5 V i ponoviti prethodne korake od 4) do 11).

Tablica 13.5 Očitane vrijednosti spektra za frekvenciju osnovnog harmonika ($f_0 = \underline{\hspace{1cm}} [\underline{\hspace{1cm}}]$)

n	$f_n = nf_0$ [kHz]	Sinusni $C(n)$ [V]	Pravokutni $C(n)$ [V]	Trokutasti $C(n)$ [V]	Sinusni +DC $C(n)$ [V]	Sinusni $C(n)$ [dB]	Pravokutni $C(n)$ [dB]	Trokutasti $C(n)$ [dB]	Sinusni +DC $C(n)$ [dB]
		MATLAB				OSCILOSKOP (FFT)			
0									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

Prostor za računanje:

13.3 Zadaci za izvještaj

1. Na temelju izmjerenih rezultata iz Tablice 13.5, iz stupaca OSILOSKOP (FFT) potrebno je preračunati vrijednosti iz [dB] u [V]. Rezultate upisati u Tablicu 13.6.

Tablica 13.6 Spektralna analiza s osciloskopa izražena u [V]

n	$f_n = n f_0$ [kHz]	Sinusni $C(n)$ [V]	Pravokutni $C(n)$ [V]	Trokutasti $C(n)$ [V]	Sinusni + DC $C(n)$ [V]
		OSILOSKOP (FFT)			
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

Prostor za računanje:

2. Na temelju izračunatih vrijednosti iz Tablica 13.3 i 13.4 te na temelju izmjerenih vrijednosti iz Tablice 13.5 i 13.6 odredite postotnu pogrešku očitavanja efektivne vrijednosti pojedinog harmonika i vrijednosti upišite u Tablicu 13.7. Za točne vrijednosti uzmite izračunate vrijednosti prema Tablicama 13.3 i 13.4, dok za izmjerene uzmite efektivne vrijednosti prema Tablicama 13.4 i 13.5.

Tablica 13.7 Postotne pogreške efektivne vrijednosti pojedinog harmonika

n	Sinusni $p_{\%}$ [%]	Pravokutni $p_{\%}$ [%]	Trokutasti $p_{\%}$ [%]	Sinusni +DC $p_{\%}$ [%]	Sinusni $p_{\%}$ [%]	Pravokutni $p_{\%}$ [%]	Trokutasti $p_{\%}$ [%]	Sinusni +DC $p_{\%}$ [%]
	MATLAB				OSCILOSKOP (FFT)			
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

Prostor za računanje:

3. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

LV14: Mjerenje mase i duljine

U vježbi je potrebno savladati vještine mjerenja opremom za mjerenje mase i duljine. Prije početka rada s mjernom opremom potrebno je upoznati se s korištenjem mjerne opreme i proučiti knjižice mjerne opreme. Pomoću mjerne opreme za duljinu (mjerne trake, pomične mjerke, mikrometarskog vijka) potrebno je izmjeriti različite zadane elemente tijekom vježbe, a pomoću digitalne vage potrebno je izmjeriti masu priloženih uzorka. Za svu mjernu opremu, nakon provedenih mjerenja, potrebno je iskazati rezultate na traženi način.

14.1. Pitanja za pripremu

1. Navedite razrede utega.
2. Zašto elektroničku vagu treba prije umjeravanja ugoditi?
3. Koji su razredi točnosti za mjerila duljine?
4. Što je mikrometar?

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

14.2. Rad u laboratoriju

14.2.1. Mjerenje mase digitalnom vagom

Opis zadatka

U laboratorijskoj vježbi potrebno je obaviti mjerenja mase digitalnom vagom.

Popis opreme

Digitalna vaga

Utezi (priloženi uzorci)

Postupak

- 1) Pogledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Proučiti uputu u knjižici za digitalnu vagu.
- 3) Provjeriti razred točnosti digitalne vage.
- 4) Koristeći digitalnu vagu potrebno je izvagati priložene uzorke.
- 5) Po uključivanju vage potrebno je ugoditi vagu u točkama 0 g i 200 g.
- 6) Umjeriti etalon-utegom nazivne snage 200 g.
- 7) Izvagati uzorke i upisati ih u tablicu 14.1. i naznačiti na sliku 14.1-graf Umjerna krivulja.
- 8) Odrediti mjernu nesigurnost temeljem izvaganih uzoraka(u) na N razini i naznačiti ih u Tablicu 14.1. i Sliku 14.1.

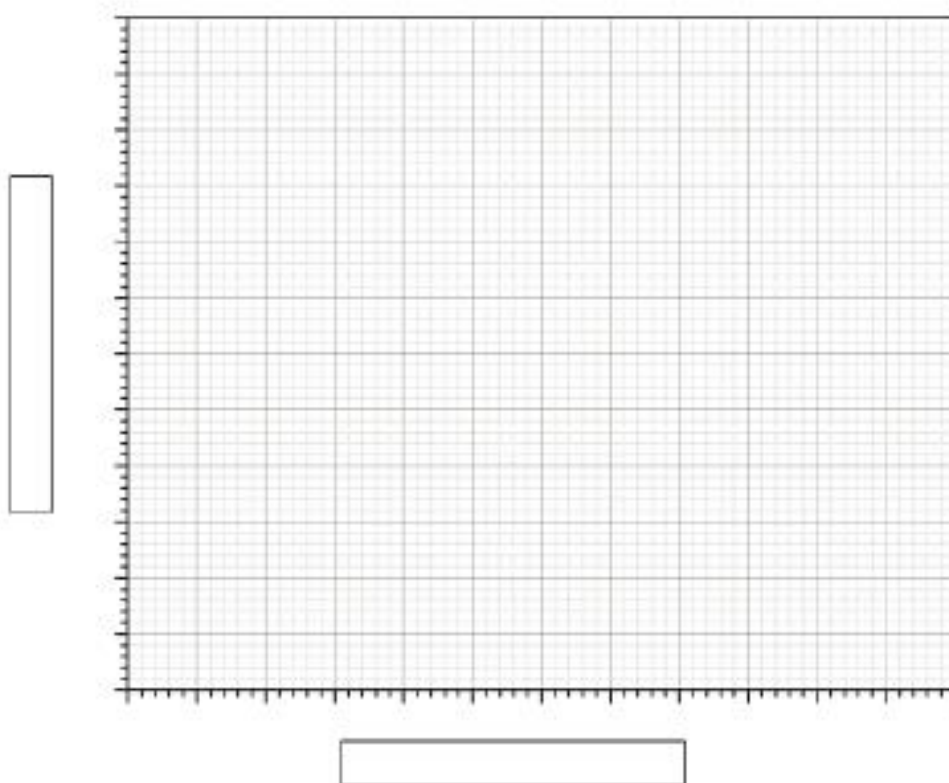
Vrsta (tip) i proizvođač vage: _____

Razred točnosti digitalne vage: _____

Tablica 14.1 Rezultati mjerenja mase

m_t (g)							
m_m (g)							
ρ_a							
u (g)							

Postupak izračuna:



Slika 14.1 Umjerna krivulja

14.2.1. Mjerenje duljine

Opis zadatka

U laboratorijskoj vježbi potrebno je obaviti mjerenja duljine (mjernom trakom, pomičnim mjerilom i mikrometrom).

Popis opreme

Mjerna traka (mjerilo duljine)

Pomično mjerilo

Mikrometar

Prstenasti uzorak

Različite vrste vodiča (žice)

Postupak mjerenja mjernom trakom

- 1) Proučiti oznake na mjerilu kao i eventualne dodatne pisane upute.
- 2) Izmjeriti mjernom trakom visinu i širinu školske ploče.
- 3) Mjerenje ponoviti pet puta i mjerne rezultate iskazati na N i S razini.
- 4) Odrediti mjernu nesigurnost određivanja površine ploče na N i S razini.

Tablica 14.2 Rezultati mjerenja školske ploče

Visina, mm					
Širina, mm					
Površina, mm ²					

Postupak izračuna:

Postupak mjerenja pomičnim mjerilom

- 1) Proučiti oznake na pomičnom mjerilu kao i eventualne dodatne pisane upute.
- 2) Izmjeriti dimenzije prstenastog uzorka za ispitivanje magnetskih svojstava materijala (površinu presjeka jezgre).
- 3) Izračunati površinu prstenastog uzorka i rezultat iskazati na *N* i *S* razini.
- 4) Izmjeriti promjer više različitih vodiča na različitim mjestima na vodiču te vrijednosti unijeti u Tablicu 14.3 mjerenja promjera vodiča, a rezultate istih prikazati na *N* i *S* razini.

Granična pogreška korištenog pomičnog mjerila: _____

Tablica 14.3 Rezultati mjerenja prstenastog uzorka

Visina, h/mm		
Promjer 1, d ₁ /mm		
Promjer 2, d ₂ /mm		
Površina, P/mm ²		

Postupak izračuna:

Tablica 14.4 Rezultati mjerenja promjera različitih vrsta vodiča

Materijal vodiča	Vodič 1	Vodič 2	Vodič 3
Redni broj mjerenja			
1. mjerenje			
2. mjerenje			
3. mjerenje			
4. mjerenje			
Rezultat mjerenja S razina			
Rezultat mjerenja N razina			

Postupak izračuna:

Postupak mjerenja mikrometrom

- 1) Proučiti oznake na mikrometru kao i eventualne dodatne pisane upute.
- 2) Izmjeriti promjer više različitih vodiča na različitim mjestima na vodiču te vrijednosti unijeti u Tablicu 14.5 mjerenja promjera vodiča, a rezultate istih prikazati na *S* i *N* razini.

Granična pogreška korištenog pomičnog mjerila: _____

Tablica 14.5 Rezultati mjerenja promjera različitih vrsta vodiča

Materijal vodiča	Vodič 1	Vodič 2	Vodič 3
Redni broj mjerenja			
1. mjerenje			
2. mjerenje			
3. mjerenje			
4. mjerenje			
Rezultat mjerenja S razina			
Rezultat mjerenja N razina			

Postupak izračuna:

14.3. Zadaci za izvještaj

1. Kako se izvode pomična mjerila s očitanjem $1/20$ mm?
2. Nabrojte oznake koje moraju biti ispisane na mjerilima duljine za opću namjenu.
3. Navedite osnovnu podjelu mjerila duljine prema namjeni i pripadnost korištenih mjerila u vježbi po osnovnoj podjeli.
4. Kako se procjenjuje mjerna nesigurnost pri mjerenju:
 - a) metrom
 - b) pomičnim mjerilom
 - c) mikrometrom
5. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

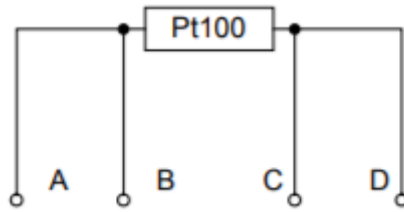
LV15: Mjerni pretvornici

Zadatak je vježbe upoznati se s načinom rada, karakteristikama i primjenom u praksi nekih mjernih pretvornika. U ovoj vježbi izvodit će se mjerenja i snimanje statičke karakteristike na mjernim pretvornicima temperature (termootpornici), elektromagnetskim (diferencijalni transformator) i fotoelektričnim (fotootpornik) mjernim pretvornicima.

15.1 Pitanja za pripremu

1. Opišite osnovne značajke i upotrebu mjernih pretvornika električnih veličina.
2. Koja je razlika između pasivnih i aktivnih mjernih pretvornika?
3. Što predstavlja statička, a što dinamička karakteristika mjernih pretvornika?
4. Navedite kojim se sve pretvornicima može mjeriti temperatura.
5. Na kojem načelu rade elektromagnetski pretvornici i gdje im je primjena?

6. Kolika je temperatura izmjerena otpornim termometrom Pt100 ako je izmjereno $R_{AD} = 168 \, \Omega$ i $R_{AB} = 10 \, \Omega$ (Slika 15.1)?



Slika 15.1 Priključnice otpornog termometra Pt100.

7. Otpor fotootpornika na udaljenosti 25 cm od žarulje iznosi 1,5 k Ω , a na 70 cm 2,85 k Ω . Kolika je osjetljivost fotootpornika?
8. Razina kapljevine u spremniku mjeri se određivanjem otpora uronjenog mjernog osjetila. Omski otpor $R(h)$ mjeri se ommetrom mjernog opsega 1 k Ω klase točnosti 0,5 %. Kalibracijska je funkcija nelinearna i dana je izrazom:

$$R(h) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot h + \beta \cdot h^2)$$

Poznat je otpor $R_0 = 100 \, \Omega$. Odrediti:

- Vrijednost parametara α i β ako je izmjereno otpor 500 Ω na razini $h = 1 \, \text{m}$ i otpor 1 k Ω na razini $h = 2 \, \text{m}$.
- Kolika je relativna pogreška izmjerene razine.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

15.2 Rad u laboratoriju

15.2.1 Mjerenje temperature

Opis zadatka

U ovoj će se vježbi izvoditi mjerenja i snimanje statičke karakteristike na mjernim pretvornicima temperature (termootpornici).

Popis opreme

Električni grijač

Vatrootporna staklena ili metalna posuda

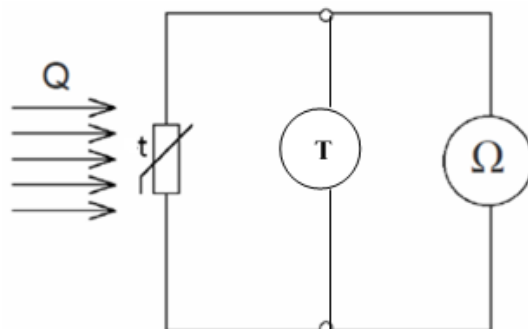
Termometar

Otporno osjetilo Pt100

Izvor izmjeničnog napona 220 V/50 Hz

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Natočiti vodu do polovice posude i staviti ju na električni grijač.
- 3) U posudu s vodom uroniti sondu Pt100 i priključiti na ommetar (Slika 15.2).
- 4) Isto tako, uroniti sondu termometra.
- 5) Priključiti utikač grijača na utičnicu 220 V AC bez uključivanja prekidača grijača.
- 6) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



Slika 15.2 Mjerenje temperature pomoću termootpornika Pt100

Postupak mjerenja

- 1) Prije zagrijavanja vode izmjeriti otpor sonde Pt100 u hladnom stanju i upisati u Tablicu 15.1.
- 2) Uključiti grijač na napon tako da se voda polako zagrijava do temperature 90 °C.
- 3) U Tablicu 15.1 upisivati vrijednosti otpora Pt100 za zadane vrijednosti temperature u Tablici 15.1.
- 4) Isto tako napraviti za hlađenje, tj. od 90 °C do sobne temperature. Ako je proces hlađenja spor, dolijevati hladnu vodu i miješati da se proces hlađenja ubrza.
- 5) Za očitane vrijednosti otpora odrediti jednadžbu regresijskog pravca $R = f(T)$ pomoću izraza:

$$\hat{y} = ax + b \quad (1)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i) - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2}, \quad b = \bar{y} - a \bar{x} \quad (2)$$

i nacrtati u priloženi dijagram (Slika 15.3)

- 6) Izračunati standardnu devijaciju i koeficijent varijacije prema izrazima:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2} \quad (3)$$

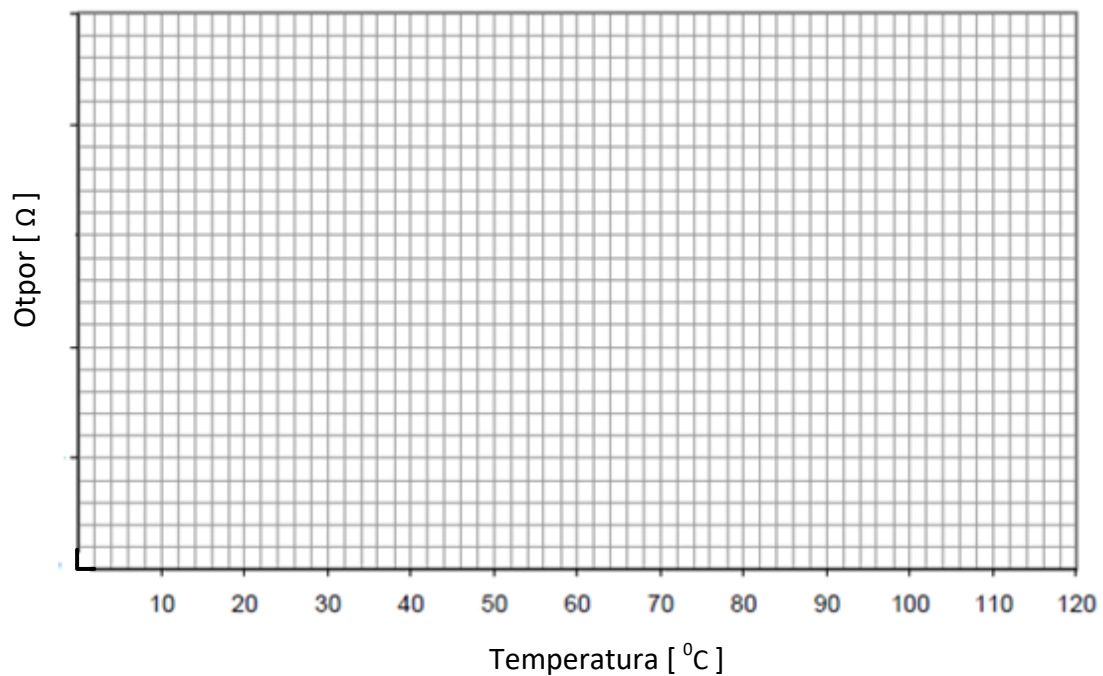
$$V_y = \frac{\sigma_y}{y} \cdot 100 \quad (4)$$

i upisati u Tablicu 15.1.

Tablica 15.1 Rezultati mjerenja otpora Pt100

$T [^{\circ}\text{C}]$	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90
$R [\Omega]$										
$T [^{\circ}\text{C}]$	90	80	70	60	50	40	35	30	25	20
$R [\Omega]$										
Pravac regresije $R = f(T)$										
Standardna devijacija σ										
Koeficijent varijacije V_y										

Prostor za računanje:



Slika 15.3 Pravac regresije (umjerna krivulja) $R = f(T)$ ovisnosti otpora o temperaturi za Pt100

15.2.2 Mjerenje pomaka

Opis zadatka

U ovoj će se vježbi izvoditi mjerenja i snimanje statičke karakteristike na elektromagnetskim (diferencijalni transformator) mjernim pretvornicima.

Popis opreme

Diferencijalni transformator

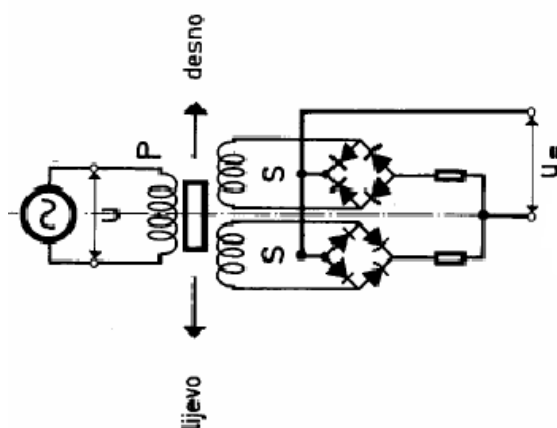
Voltmetar digitalni

Izvor izmjeničnog napona 0 – 15 V AC

Ravnalo

Postupak spajanja

- 11) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 12) Crveni vodič primara transformatora priključiti na fazu L upravljivog izmjeničnog napona na gornjem dijelu radnog stola.
- 13) Plavi vodič priključiti na neutralni vodič N promjenljivog izmjeničnog napona na radnom stolu.
- 14) Zeleni i bijeli vodič sekundarnog namota spojiti na DC digitalni voltmetar (Slika 15.4).
- 15) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



Slika 15.4 Mjerenje pomaka pomoću diferencijalnog transformatora

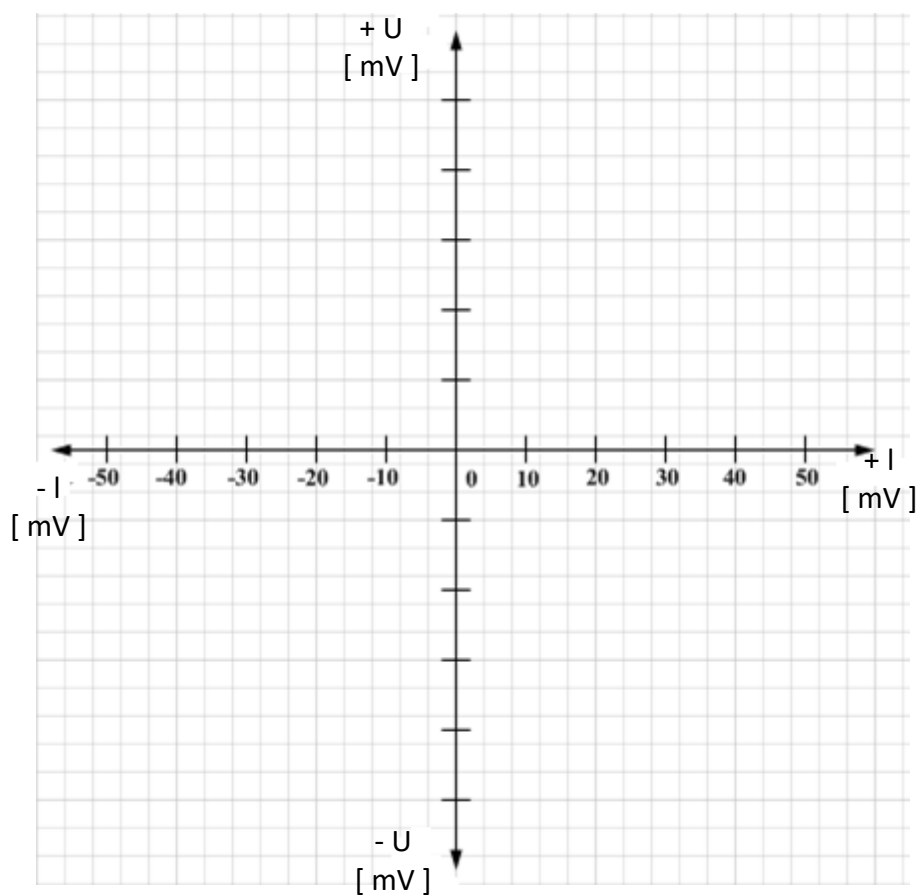
Postupak mjerenja

- 1) Primar priključiti na izmjenični napon 10 V AC.
- 2) Za 10 različitih položaja feromagnetske jezgre od početnog do završnog, očitavati napon na voltmetru i upisati u Tablicu 15.2.
- 3) Isto to ponoviti od završnog do početnog položaja.
- 4) Za očitane vrijednosti napona odrediti jednadžbu regresijskog pravca $I = f(U)$ pomoću izraza (1) i (2) i nacrtati u priloženi dijagram (Slika 15.5).
- 5) Izračunati standardnu devijaciju i koeficijent varijacije prema izrazima (3) i (4) i upisati u Tablicu 15.2.

Tablica 15.2 Rezultati mjerenja pomaka pomoću diferencijalnog transformatora

I [cm]	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
U [mV]											
I [cm]	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
U [mV]											
Pravac regresije $I = f(U)$											
Standardna devijacija σ											
Koeficijent varijacije V_y											

Prostor za računanje:



Slika 15.5 Pravac regresije (umjerna krivulja) $I = f(U)$ ovisnosti pomaka o induciranom naponu

15.2.3 Mjerenje udaljenosti

Opis zadatka

U ovoj će se vježbi izvoditi mjerenja i snimanje statičke karakteristike na fotoelektričnim (fotootpornik) mjernim pretvornicima.

Popis opreme

Žarulja 220 V

Fotootpornik

Stalak za žarulju

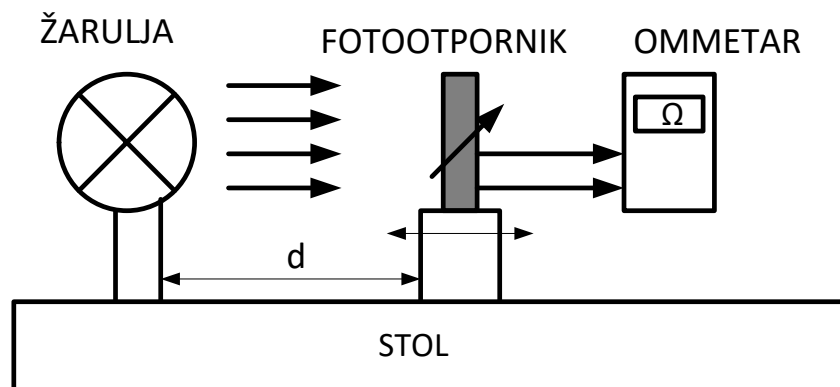
Stalak za fotootpornik

Čelična mjerna traka

Izvor izmjeničnog promjenljivog napona 0-220 V AC

Postupak spajanja

- 1) Pregledati je li na stolu sva oprema potrebna za mjerenje.
- 2) Pričvrstiti žarulju i fotootpornik na stalke (Slika 15.6).
- 3) Priključiti žarulju na promjenjivi izmjenični izvor napona 220 V AC na radnom stolu.
- 4) Krajeve fotootpornika spojiti na digitalni ommetar.
- 5) **PRIJE UKLJUČIVANJA U STRUJNI KRUG POZVATI DEMONSTRATORA ILI NASTAVNIKA!**



Slika 15.6 Mjerenje duljine pomoću fotootpornika

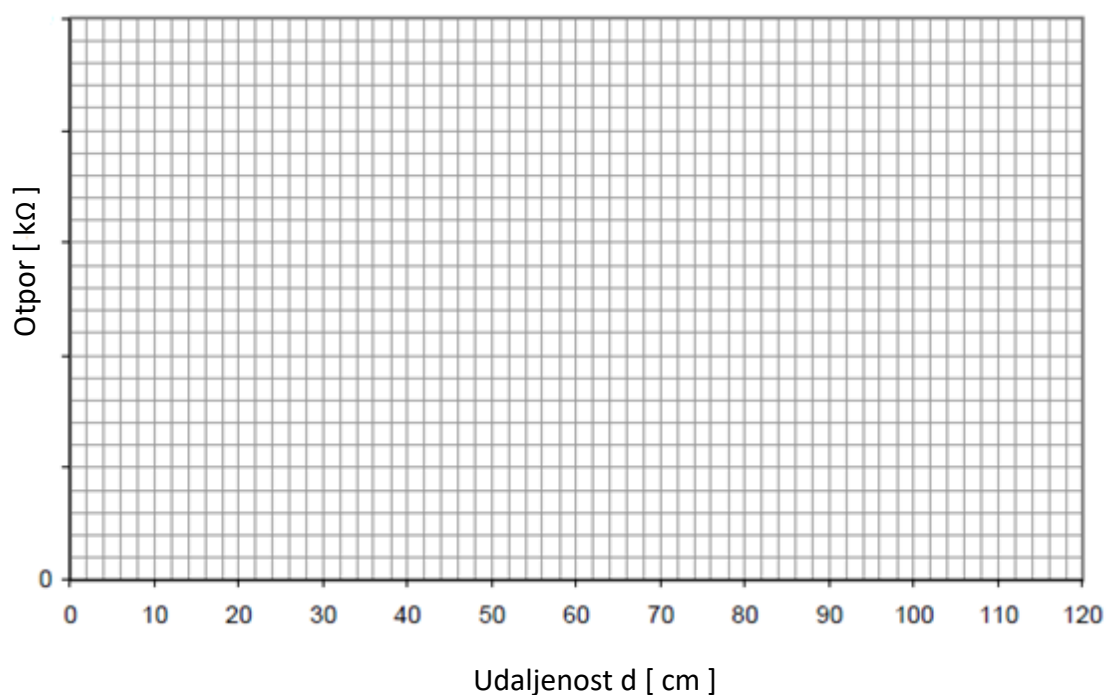
Postupak mjerenja

- 1) Podizati napon na žarulji do srednje jačine svjetla (oko 110 V AC).
- 2) Pomicati stalak fotootpornika u ravni sa žaruljom i očitavati otpor s ommetra svakih 10 cm razmaka od 10 cm do 100 cm i upisivati u Tablicu 15.3.
- 3) Isto to ponoviti za obrnuti postupak od 100 cm do 10 cm.
- 4) Za očitane vrijednosti otpora odrediti jednadžbu regresijskog pravca $d = f(R)$ pomoću izraza (1) i (2) i nacrtati u priloženi dijagram (Slika 15.7).
- 5) Izračunati standardnu devijaciju i koeficijent varijacije prema izrazima (3) i (4) i upisati u Tablicu 15.3.

Tablica 15.3 Rezultati mjerenja duljine pomoću fotootpora

d [cm]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R [Ω]										
d [cm]	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
R [Ω]										
Pravac regresije $d = f(R)$										
Standardna devijacija σ										
Koeficijent varijacije V_y										

Prostor za računanje:



Slika 15.7 Pravac regresije (umjerna krivulja) $d = f(R)$ ovisnosti duljine o otporu

15.3 Zadaci za izvještaj

1. a) Odredite kalibracijski (regresijski) pravac $y = ax+b$ za mjerni sustav s linearno statičkom karakteristikom za izmjerene podatke dane u tablici:

x	0,1	2,5	3,7	4,5	5,2	6,4	7,2	8,4	9,1	9,8
y	0,25	4,8	7,8	8,6	12,1	13,5	14,8	17,5	19,1	19,9

b) Izračunajte standardnu devijaciju i koeficijent varijacije.

c) Izračunajte standardne devijacije koeficijenata regresije σ_a i σ_b .

2. Na osnovu izmjerenih podataka, kod mjerenja temperature odredite osjetljivost otporne sonde Pt100.

3. Iz dobivenih rezultata mjerenja, odredite najveću pogrešku odstupanja od kalibracijskog pravca kod mjerenja pomaka pomoću transformatora razlike. Na kojoj se udaljenosti l (cm) nalazi ta pogreška? Iskažite rezultat na 5 razini kod te udaljenosti ako je pogreška transformatora razlike $\pm 5 \%$.

4. Komentar vježbe.

Dodatan prostor za rješavanje (ako nije bilo dovoljno mjesta ispod nekog od zadataka):

Reference

- [1] Zdenko Godec, Dražen Dorić, *Osnove mjerenja, laboratorijske vježbe*, Elektrotehnički fakultet Osijek, 1998.
- [2] Zdenko Godec, Dražen Dorić, *Električna mjerenja s laboratorijskim vježbama*, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2000.
- [3] Predrag Krčum, *Električna mjerenja*, Sveučilišni odjel za stručne studije Split, 2012.
- [4] Nihal Kularatna, *Digital and Analogue Instrumentation: Testing and measurement*, The Institution of Engineering and Technology, United Kingdom, 2002.
- [5] Agilent Technologies, Agilent 1000 Series Oscilloscopes, Datum pristupa 7. 2. 2023.: engineering.purdue.edu/ME588/SpecSheets/DSO1012A_UserGuide.pdf
- [6] Prithwiraj Purkait, *Electrical and Electronics Measurements and Instrumentation*, McGraw Hill Education India, 2013.
- [7] Vojislav Bego, *Mjerenja u elektrotehnici*, Tehnička knjiga Zagreb, 2003.
- [8] Mladen Popović, *Senzori i mjerenja*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo, BiH 2004.
- [9] Ratimir Žanetic, Renato Stipišić, *Mjerni pretvornici u procesnoj industriji*, Kemijsko-tehnološki fakultet Split, 2005.
- [10] John G. Webster, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, Springer Berlin, 1999.
- [11] R. Malarić, *Instrumentation and Measurement in Electrical Engineering*, Universal-Publishers, 2011.