

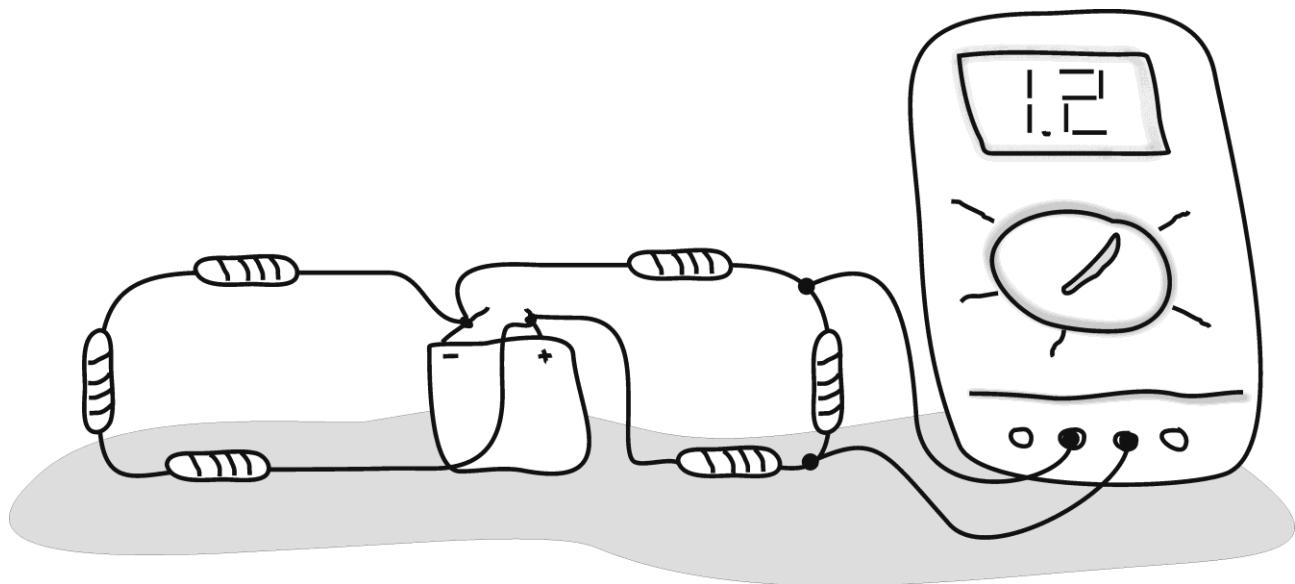
Univerzitet u Novom sadu
Fakultet tehničkih nauka
Katedra za teorijsku elektrotehniku

Laboratorijske vežbe iz predmeta

Uvod u elektrotehniku

Studijski program:
**UPRAVLJANJE RIZIKOM OD
KATASTROFALNIH DOGAĐAJA I POŽARA**

Laboratorija za teorijsku elektrotehniku,
blok "F", III sprat, učionica broj 315



dr Anamarija Juhas,
mr Miodrag Milutinov
dr Neda Pekarić Nađ

Novi Sad, 2016. godine

Наставно-научно веће Факултета које је одржано дана 23.12.2015. године, на основу предлога Одлуке Савета за библиотечку и издавачку делатност бр.: 014-112/78, је одобрило коришћење скрипте „Лабораторијске вежбе из електротехнике - Управљање ризиком од катастрофалних догађаја и пожара“, чији су аутори др Анамарија Јухас, mr Миодраг Милутинов и др Неда Пекарић-Нађ као помоћно наставно средство на студијском програму *Управљање ризиком од катастрофалних догађаја и пожара.*

Predgovor

Ove laboratorijske vežbe su namenjene studentima II godine akademskih studija na studijskom programu ČISTE ENERGETSKE TEHNOLOGIJE na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Najveći motiv za izradu laboratorijskih vežbi je želja da se obim nastave iz predmeta Osnovi Elektrotehnike prilagodi fondu časova.

Laboratorijske vežbe se održavaju u Laboratoriji za teorijsku elektrotehniku, koja pripada katedri za teorijsku elektrotehniku, i nalazi se u zgradи Fakulteta tehničkih nauka, na trećem spratu u bloku „F“, učionica broj 315. U laboratoriji se nalazi oprema i instrumenti za izvođenje laboratorijskih vežbi iz predmeta koji pripadaju departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije.

Radom u laboratoriji studenti će se upoznati sa osnovnim pravilima ponašanja u laboratoriji. U okviru laboratorijskih vežbi predviđeno je da se studenti obuče upotrebi univerzalnog mernog instrumenta za potrebe merenja jednosmerne i naizmenične jačine struje i napona, kao i za merenje otpornosti. Osim toga u okviru vežbi predviđeno je i osnovno upoznavanje studenata sa radom osciloskopa.

Laboratorijske vežbe su prilagođene studijskom programu ČISTE ENERGETSKE TEHNOLOGIJE i usklađene su sa planom i programom za predmet Osnovi Elektrotehnike. Laboratorijske vežbe obuhvataju analizu prostih i složenih električnih kola, merenje jačine struja i napona, potvrdu Omovog zakona i Kirhofovih zakona, ponašanje kondenzatora i kalema u kolima jednosmerne i naizmenične struje. Laboratorijske vežbe su pokaznog karaktera sa težnjom da motivišu studente na samostalni rad.

Autori

prof. dr Anamarija Juhas, predmetni nastavnik,

mr Miodrag Milutinov, predmetni asistent

prof. dr Neda Pekarić Nađ

U Novom Sadu, oktobar 2015.



PRAVILA PONAŠANJA U LABORATORIJI

Radi urednog i sigurnog odvijanja laboratorijskih vežbi student treba da uradi sledeće:

- a) **Priprema vežbe** - Pre dolaska na vežbu student treba da prouči i upozna teorijske osnove koje se odnose na vežbu i da prouči način izvođenja vežbe.
- b) **Povezivanje električne šeme** - Uporediti šemu spajanja i simbole u električnoj šemi sa vezama, komponentama i instrumentima koji se nalaze na radnom mestu. Spojiti napajanje pomoću kratkih žica odgovarajućih boja izolacije pri čemu **izvor napajanja mora obavezno biti isključen!!!!** Običaj je da se za + pol napajanja koristi žica sa crvenom izolacijom, za masu žica sa crnom izolacijom. Nakon toga potrebno je povezati dodatne komponente u za to određene priključke i spojiti merne instrumente vodeći računa o polaritetu napona, načinu rada i mernom opsegu instrumenata.
- c) **Provera** – Proveriti kompletan spoj, polaritete svih napona, elektrolitskih kondenzatora, instrumenata za merenje (multimetara, osciloskopa), orientaciju dioda i slično.

Nakon povezivanja električne šeme pozvati asistenta da proveri da li je sve dobro spojeno.

Asistent će uključiti izvor napajanja.

- d) **Očitavanje rezultata merenja** - Izvodi se prema planu odgovarajuće vežbe. Ako je potrebno bilo kakvo prespajanje u toku vežbe **obavezno prethodno isključiti izvor napajanja!** Uporediti izmerene rezultate s izračunatima i eventualno ponoviti merenja.
- e) **Završetak vežbe** – Nakon završetka vežbe isključiti izvor napajanja odspojiti sve kablove i ostaviti radno mesto u stanju u zatečenom stanju.
- f) Na kraju vežbe asistent pregleda dobijene rezultate i vrši proveru znanja. **Vežba je završena kada asistent to konstatiše.**

SIGURNOSNE MERE

Studenti se moraju pridržavati sledećih sigurnosnih mera:

1. Ne sme se dirati ništa osim sklopova na prednjoj ploči makete i to samo u isključenom stanju prekidača izvora napajanja.
2. Sva spajanja i promene u toku izvođenja vežbe izvoditi u isključenom (beznaponskom) stanju, dodirujući samo izolirane delove.
3. Pomoćni uređaji (osciloskopi, izvori napajanja, generatori signala i slično) napajaju se iz napona 220 V pa je za bilo kakvu intervenciju na tim instrumentima potrebno pozvati asistenta.
4. Strogo se držati plana izvođenja vežbe.
5. Na prvoj vežbi student potpisuje da je proučio ovo uputstvo i sigurnosne mere.

potpis studenta

Rad sa univerzalnim mernim instrumentom

1. Proveriti ispravnost provodnika za merenje.

Merne provodnike sa oštećenom izolacijom zameniti.

2. Pomoću preklopnika podesiti merenu veličinu i merni opseg:

a) napon AC/DC,

b) jačinu struje AC/DC, ili

c) otpornost.

3. Priključiti crni provodnik u COM priključak („–“ kraj instrumenta). Priključiti crveni provodnik („+“ kraj instrumenta) na odgovarajuće mesto u zavisnosti od toga šta se meri (napon, struju ili otpornost), kao što je ilustrovano na slikama.

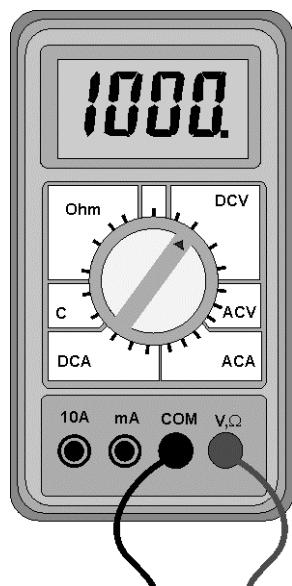
4. Pravilno vezivanje instrumenta u kolo znači:

a) za merenje napona instrument se vezuje paralelno elementu,

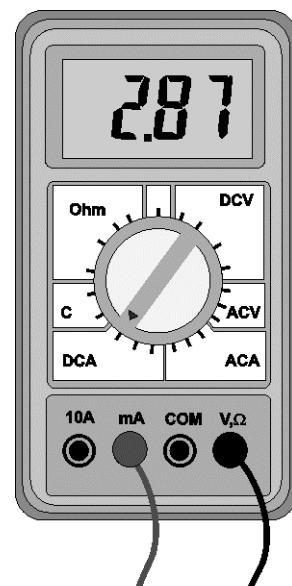
b) za merenje struje instrument se vezuje redno sa elementom.

5. Pre promene položaja preklopnika bar jedan od provodnika mora biti odspojen iz kola.

6. Nakon merenja isključite instrument.



Položaj provodnika za merenje
napona i otpornosti.



Položaj provodnika za merenje
jačine struje.

Ime i prezime:	Broj indeksa:	
Datum:	Broj grupe:	Overa:

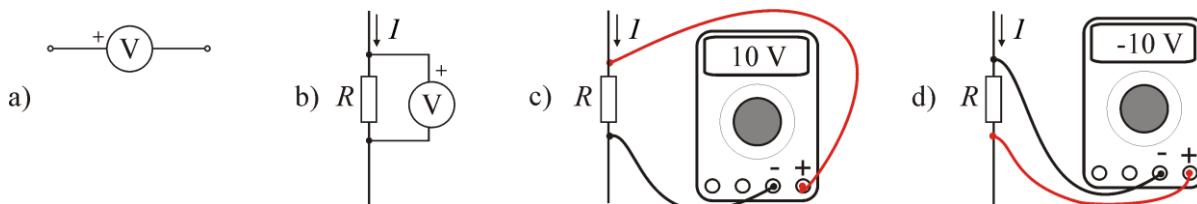
Uvod

Cilj prve vežbe je upoznavanje sa univerzalnim digitalnim mernim instrumentom (unimerom) i njegovo korišćenje za merenje vremenski konstantnog napona, jačine struje i otpornosti. Kada se unimer koristi za merenje napona onda se koristi kao voltmatar, kada se koristi za merenje jačine struje onda se koristi kao ampermetar, a kada se koristi za merenje otpornosti onda se koristi kao ommeter.

Teorija – merenja napona i struje

Voltmetar

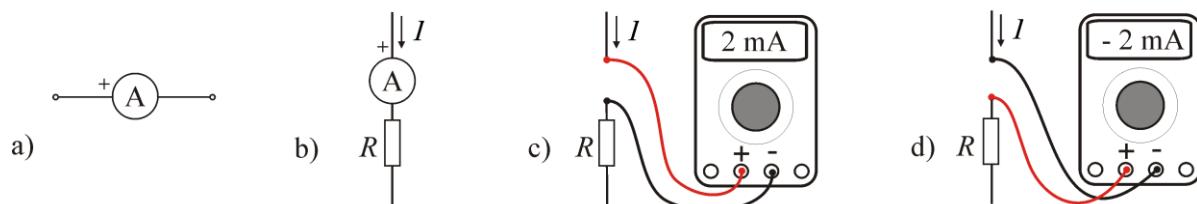
Voltmetar meri napon između dve tačke. Grafički simbol za voltmetar prikazan je na slici 1.1.a. Voltmetar ima dva priključka, koje treba vezati za tačke između kojih se meri napon. Idealan voltmetar ima beskonačno veliku otpornost i kroz njega nema struje. Primer vezivanja voltmetra prikazan je na slici 1.1.b. U ovom primeru, voltmetar meri napon na otporniku R . Pozitivan kraj voltmetra potrebno je priključiti na kraj otpornika koji se nalazi na višem potencijalu (onaj u koji struja ulazi) kao na slici 1.1.c. U suprotnom voltmetar će pokazati negativnu vrednost (slika 1.1.d).



Slika 1.1. a) Grafički simbol za voltmetar, b) primer vezivanja voltmetra,
c) i d) pokazivanja voltmetra.

Ampermetar

Ampermetar meri jačinu struje kroz neki provodnik. Grafički simbol za ampermetar prikazan je na slici 1.2.a. Merenje jačine struje vrši se tako što se provodnik u kome se meri struja prvo prekine, a nakon toga spoji tako da struja prolazi kroz ampermetar. Otpornost idealnog ampermeta je jednaka je nuli i na njemu nema pada napona. Primer vezivanja ampermeta prikazan je na slici 1.2.b. U ovom primeru, ampermetar meri jačinu struje u grani u kojoj se nalazi otpornik R . Ampermetar je potrebno vezati tako da struja ulazi u pozitivan kraj instrumenta, kao na slici 1.2.c. U suprotnom ampermetar će pokazati negativnu vrednost (slika 1.2.d).



Slika 1.2. a) Grafički simbol za ampermetar, b) primer vezivanja ampermeta,
c) i d) pokazivanja ampermeta.

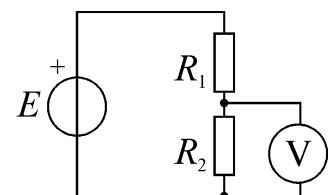
Prvi deo vežbe – merenje napona na rednoj vezi elemenata

Uvod u prvi deo vežbe - merenje napona

Kao uvod u prvi deo vežbe, spojićemo električno kolo prema električnoj šemi prikazanoj na slici 1.3. Na slici 1.4 je data skica izgleda makete i priključenih elemenata za kolo sa slike 1.3.

Na maketi spojiti kolo prema šemi sa slike 1.3 (bez priključivanja unimera) na sledeći način:

- pre povezivanja voditi računa da je generator isključen,
- na odgovarajući način povezati:
 - generator elektromotorne sile $E = 15\text{ V}$ (bez njegovog uključivanja),
 - otpornike otpornosti $R_1 = 2,2\text{ k}\Omega$ i $R_2 = 5,6\text{ k}\Omega$,
 - otpornik R_g na maketi kratko spojiti,
 - proveriti da li su svi elementi pravilno povezani.



Slika 1.3. Električna šema za merenje napona U_2 na otporniku R_2 .

Uputstvo za rad sa unimerom se nalazi na strani 1-1. Unimer se u ovom delu vežbe koristi kao voltmeter za merenje napona.

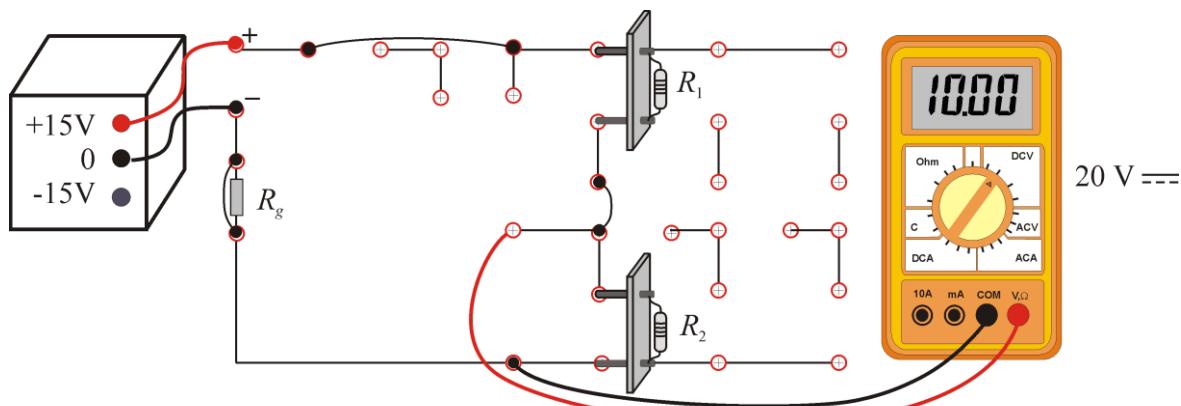
Priklučci unimera koji se koriste za merenje napona su dva krajnja desna priključka. Priklujućite crni provodnik u COM priključak (drugi sa desne strane), a crveni provodnik u krajnji desni priključak iznad kog piše V, kao na slici 1.4. S obzirom da je elektromotorna sila generatora jednaka $E = 15\text{ V}$ i da su naponi na otpornicima manji od elektromotorne sile generatora, za merenje napona dovoljan je merni opseg od $20\text{ V} \text{ ---}$. (Ako se izabere veći merni opseg, greška merenja biće veća. Ako se izabere manji merni opseg, može doći do oštećenja instrumenta.)

Vežite unimer **paralelno** sa otpornikom R_2 , kao na slici 1.4.

Uključite generator, a nakon njega i unimer. Na displeju unimera očitajte napon na otporniku R_2 .

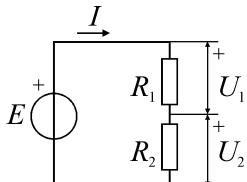
Izmerena vrednost napona na otporniku R_2 je $U_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

Isključite unimer, a nakon njega i generator.



Slika 1.4. Skica makete i priključenih elemenata za merenje napona U_2 na otporniku R_2 .

1.a. Naponski razdelnik



Naponski razdelnik.

Naponski razdelnik čine dva redno vezana otpornika priključena na generator, kao na slici. Zbir napona na otpornicima jednak je naponu generatora, $E = R_1 I + R_2 I$, odakle se dobija struja kroz generator i otpornike,

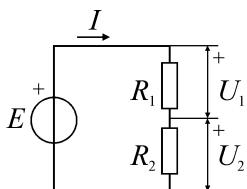
$$I = \frac{E}{R_1 + R_2}.$$

Naponi otpornika ($U_1 = R_1 I$ i $U_2 = R_2 I$) su

$$U_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2}, \quad U_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Napon svakog od otpornika je manji od napona redne veze. Napon na otporniku veće otpornosti je veći od napona na otporniku manje otpornosti.

Merenje napona



$$E = 15 \text{ V},$$

$$R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega,$$

$$R_2 = 5,6 \text{ k}\Omega$$

Izračunajte (koristeći naponski razdelnik) napone U_1 i U_2 u kolu prikazanom na slici

$$U_1 =$$

$$U_2 =$$

Na osnovu napona generatora i izračunatih vrednosti napona, odredite merni opseg koji ćete koristiti.

Merni opseg za merenje napona je: _____.

Izmerite napone U_1 i U_2 , kao i elektromotornu silu generatora,

$$U_1 =$$

$$U_2 =$$

$$E =$$

Uporedite izračunate i izmerene vrednosti: _____

Napišite jednačinu po II KZ: _____

Uvrstite izmerene vrednosti u levu stranu prethodne jednačine i izračunajte:

Da li ste dobili nulu ili neku drugu (malu) vrednost? _____

Objašnjenje: svi izmereni rezultati sadrže u sebi i grešku merenja, zbog čega se u većini slučajeva kao rezultat dobija neka mala vrednost, a ne nula.

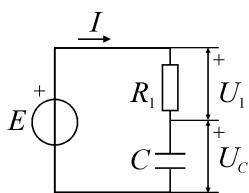
1.b. Kondenzator u kolu vremenski konstantne struje

U kolima vremenski konstantnih struja, kondenzator predstavlja prekid (tj. u grani u kojoj se kondenzator nalazi struja je jednaka nuli).

U kolima vremenski promenljivih struja, jedna od čestih primena kondenzatora je da blokira vremenski konstantnu komponentu struje.

Kondenzatori su obično smešteni u zaštitno kućište. U našem slučaju kućište je crvene boje (potražite kondenzator na stolu).

Merenje napona



$$E = 15 \text{ V},$$

$$R_l = 2,2 \text{ k}\Omega$$

Setite se da je kondenzator prekid u kolu vremenski konstantne struje. Struja u kolu prikazanom na slici jednaka je

$$I =$$

Izračunajte napone U_1 i U_C u kolu prikazanom na slici,

$$U_1 = R_l I =$$

$$U_C = E - U_1 =$$

Na osnovu napona generatora i izračunatih vrednosti napona, odredite merni opseg koji ćete koristiti.

Merni opseg za merenje napona je: _____.

Izmerite napone U_1 i U_C , kao i elektromotornu silu generatora,

$$U_1 =$$

$$U_C =$$

$$E =$$

Uporedite izračunate i izmerene vrednosti: _____

Napišite jednačinu po II KZ: _____

Uvrstite izmerene vrednosti u levu stranu prethodne jednačine i izračunajte:

Da li ste dobili nulu ili neku drugu (malu) vrednost? _____

Objasnite svojim rečima dobijeni rezultat: _____

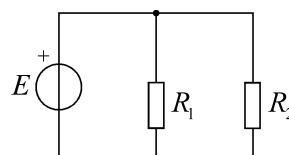
Drugi deo vežbe – merenje struje kroz paralelno vezane elemenate

Uvod u drugi deo vežbe - merenje struje

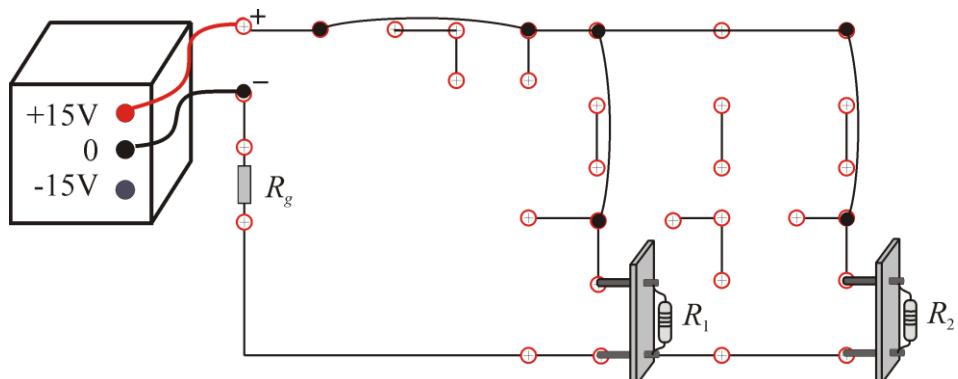
Kao uvod u drugi deo vežbe, spojimo električno kolo prema električnoj šemi prikazanoj na slici 1.5. Na slici 1.6 je data skica izgleda makete i priključenih elemenata za kolo na slici 1.5.

Na maketi spojiti kolo prema šemi sa slike 1.5 na sledeći način:

- pre povezivanja voditi računa da je generator isključen,
- na odgovarajući način povezati:
 - generator elektromotorne sile $E = 15\text{ V}$ (bez njegovog uključivanja),
 - otpornike otpornosti $R_1 = 2,2\text{ k}\Omega$ i $R_2 = 5,6\text{ k}\Omega$,
 - ukloniti kratkospojnik na otporniku R_g na maketi,
 - proveriti da li su svi elementi pravilno povezani.



Slika 1.5. Električna šema.



Slika 1.6. Skica makete i priključenih elemenata.

Unimer se u ovom delu vežbe koristi kao ampermetar za merenje struje.

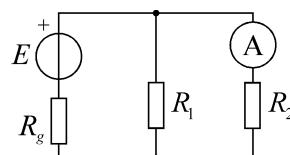
Uputstvo za rad sa unimerom se nalazi na strani 1-1. Priključci unimera koji se koriste za merenje struje su dva srednja priključka. Priključite crni provodnik u COM priključak (drugi sa desne strane), a crveni provodnik u treći priključak sa desne strane iznad kog piše mA, kao na slici 1.8.

Odredimo prvo merni opseg koji ćemo koristiti. S obzirom da je elektromotorna sila generatora jednaka $E = 15\text{ V}$ i da je $R_g = 4,7\text{ k}\Omega$, sledi da će struja kroz generator biti nekoliko mA. Zato je za merenje struje dovoljan merni opseg od 20 mA . (Ako stavite veći merni opseg imaćete veću grešku merenja.)

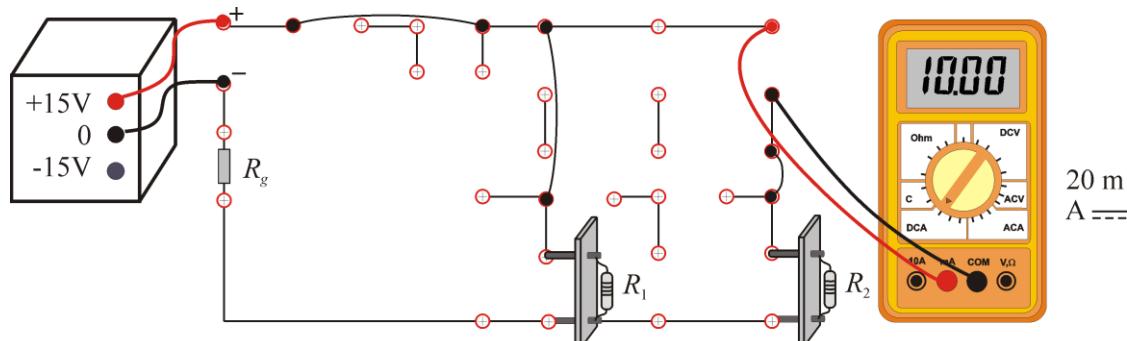
Merenje jačine struje vrši se tako što se provodnik u kome se meri struja prvo prekine, a nakon toga spoji tako da struja prolazi kroz ampermetar (uporediti šeme sa slikama 1.5 i 1.7, odnosno izgled maketa sa slikama 1.6 i 1.8). Za merenje struje kroz otpornik R_2 , potrebno je prvo prekinuti granu u kojoj se nalazi otpornik, a zatim tu granu spojiti preko ampermetra. Na taj način struja kroz otpornik R_2 prolazi kroz ampermetar. S obzirom da je struja kroz ampermetar ista kao i kroz otpornik, ampermetar je vezan **redno** sa otpornikom R_2 , kao na slikama 1.7 i 1.8.

Uključite generator, a nakon njega uključite unimer. Na displeju očitajte struju kroz otpornik R_2 . Izmerena jačina struje kroz otpornik R_2 je $I_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

Isključite unimer, a nakon njega i generator.

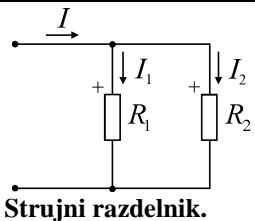


Slika 1.7. Električna šema za merenje jačine struje I_2 kroz otpornik R_2 .



Slika 1.8. Skica makete i priključenih elemenata za merenje jačine struje I_2 kroz otpornik R_2 .

2. Strujni razdelnik

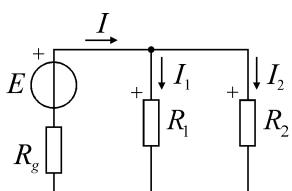


Strujni razdelnik čine dva paralelno vezana otpornika, koji dele struju I . Struje kroz otpornike u strujnom razdelniku su

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Struja kroz otpornik veće otpornosti je manja od struje kroz otpornik manje otpornosti.

Merenje struje



$$E = 15 \text{ V}, \quad R_g = 4,7 \text{ k}\Omega,$$

$$R_1 = 2,2 \text{ k}\Omega, \quad R_2 = 5,6 \text{ k}\Omega$$

Izračunajte struje I , I_1 i I_2 na sledeći način.

Kao prvi korak, zamenite paralelnu vezu otpornika R_1 i R_2 ekvivalentnim otpornikom otpornosti

$$R_{12} =$$

Nacrtajte ekvivalentno kolo koje ste dobili nakon zamene paralelne veze otpornika sa R_{12} .

Izračunajte struju kroz generator,

$$I = \frac{E}{R_g + R_{12}} =$$

Koristeći strujni razdelnik izračunajte struje I_1 i I_2 ,

$$I_1 =$$

$$I_2 =$$

Na osnovu izračunatih vrednosti struja, odredite merni opseg koji ćete koristiti. **Merni opseg je:** _____.

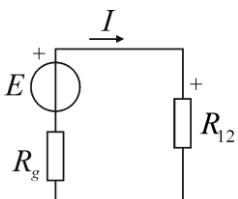
Izmerite struje I , I_1 i I_2 ,

$$I =$$

$$I_1 =$$

$$I_2 =$$

Ekvivalentno kolo:



Uporedite izračunate i izmerene vrednosti: _____

Napišite jednačinu po I KZ za gornji čvor: _____

Uvrstite izmerene vrednosti u levu stranu prethodne jednačine i izračunajte:

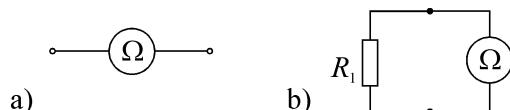
Da li ste dobili nulu ili neku drugu (malu) vrednost? _____

Objasnite svojim rečima dobijeni rezultat: _____

Treći deo vežbe: merenje otpornosti

Uvod u treći deo vežbe - merenje otpornosti

Ommeter meri otpornost. Grafički simbol za ommeter prikazan je na slici 1.9.a. Ommeter se vezuje paralelno sa otpornikom čiju otpornost meri. Primer u kojem se meri otpornost otpornika R_l prikazan je na slici 1.9.b. Pri merenju otpornosti nije potrebno priključiti generator.



Slika 1.9. a) Grafički simbol za ommeter i b) primer vezivanja ommetra.

Kao uvod u treći deo vežbe, izmerićemo otpornost otpornika R_l prema električnoj šemi prikazanoj na slici 1.9.b.

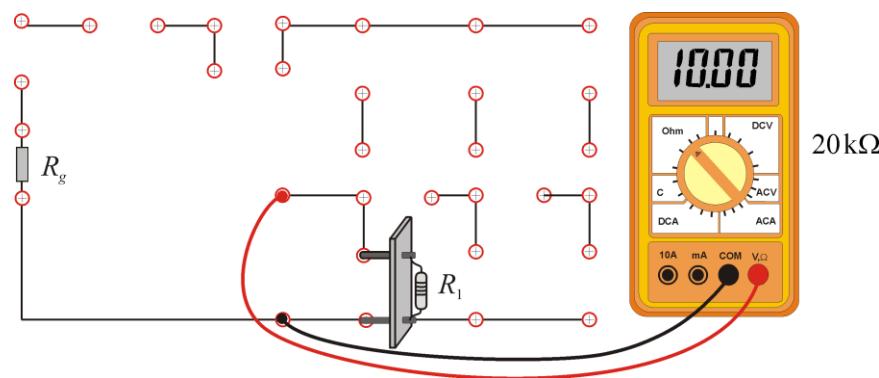
Na slici 1.10 je data skica izgleda makete i načina priključivanja unimera za merenje otpornosti otpornika R_l . Otpornik R_l je onaj koji na sebi ima tri crvene i jednu zlatnu liniju (linije na otporniku govore o njegovoj vrednosti i toleranciji sa kojom je izrađen). Na postolju otpornika R_l piše $2k2$ što znači da njegova otpornost iznosi $2,2k\Omega$. Očigledno je da je, za merenje otpornosti ovog otpornika dovoljan merni opseg od $20k\Omega$.

Priklučci unimera koji se koriste za merenje otpornosti su dva krajnja desna priključka. Priklučite crni provodnik u COM priključak (drugi sa desne strane), a crveni provodnik u krajnji desni priključak iznad kog piše Ω , kao na slici 1.10.

Vežite unimer paralelno sa otpornikom R_l , kao na slici 1.10.

Uključite unimer. Na displeju unimera očitajte otpornost otpornika. Izmerena vrednost otpornosti otpornika je $R_l = \underline{\hspace{2cm}}$.

Isključite unimer.

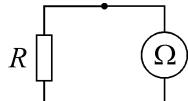


Slika 1.10. Skica makete i načina priključivanja unimera za merenje otpornosti otpornika R_l .

3. Merenje otpornosti

Merenje otpornosti otpornika

Merni opseg: $20\text{k}\Omega$.



Na stolu osim otpornika R_1 , imate još jedan otpornik.

Izmerite otpornosti ovog otpornika,

$$R_2 =$$

Na maketi se nalazi otpornik R_g . Izmerite njegovu otpornost,

$$R_g =$$

Izračunajte ekvivalentnu otpornost redne veze otpornika R_1 i R_2 ,

$$R_{12,\text{redno}} =$$

Izmerite ekvivalentnu otpornost redne veze ovih otpornika (primer izgleda redne veze otpornika na maketi možete videti na slici 1.4),

$$R_{12,\text{redno}} =$$

Uporedite izračunatu i izmerenu vrednost: _____

Izračunajte ekvivalentnu otpornost paralelne veze otpornika R_1 i R_2 ,

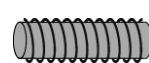
$$R_{12,\text{paralelno}} =$$

Izmerite ekvivalentnu otpornost paralelne veze ovih otpornika (primer izgleda paralelne veze otpornika na maketi možete videti na slici 1.6),

$$R_{12,\text{paralelno}} =$$

Uporedite izračunatu i izmerenu vrednost: _____

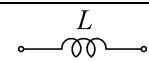
Kalem se pravi od tanke provodne žice, koja je ravnomerno i gusto namotana na jezgro (koje je obično cilindričnog oblika).



Kalem koji se koristi u ovoj vežbi nalazi se u belom kućištu.

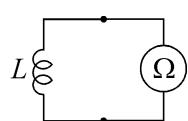


Grafički simbol za kalem u električnom kolu prikazan je na slici.



Otpornost idealnog kalema jednaka je nuli. Međutim, u praksi, žica od koje je kalem napravljen ima konačnu specifičnu otpornost, zbog čega otpornost kalema nije jednaka nuli.

Merenje otpornosti kalema



Namestite unimer na merni opseg od $2\text{k}\Omega$.

Izmerite otpornost kalema,

$$R_L =$$

Ime i prezime:	Broj indeksa:	
Datum:	Broj grupe:	Overa:

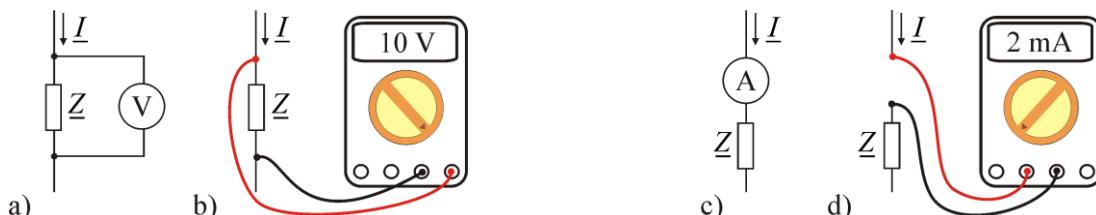
Prvi deo vežbe: merenje efektivnih vrednosti napona i struje

U prvom delu vežbe univerzalni digitalni merni instrument (unimer) se koristi za merenje efektivnih vrednosti prostoperiodičnog napona i struje.

Unimer se priključuje u kolo na isti način kao i u slučaju vremenski konstantnih struja.

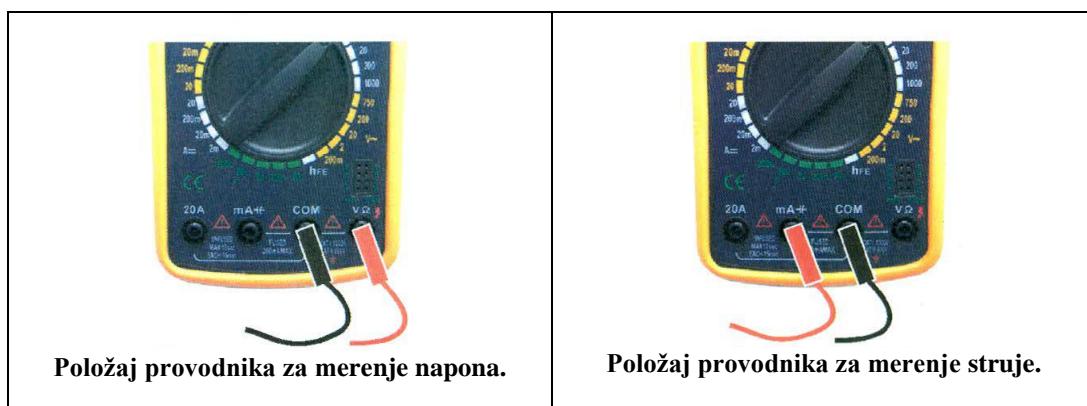
U kolima prostoperiodičnih struja, voltmetar meri efektivnu vrednost napona između dve tačke. Priključke voltmetra treba vezati za tačke između kojih se meri efektivna vrednost napona (slike 2.1.a, b).

U kolima prostoperiodičnih struja, ampermetar meri efektivnu vrednost struje kroz neki provodnik. Merenje struje vrši se tako što se provodnik u kome se meri struja prvo prekine, a nakon toga spoji takо da struja prolazi kroz ampermetar (slike 2.1.c i d).



Slika 2.1. a) i b) Primer vezivanja voltmetra, c) i d) primer vezivanja ampermetra.

Povezivanje unimera



Određivanje modula impedanse merenjem efektivnih vrednosti napona i struje

Impedansa potrošača jednaka je količniku kompleksnih predstavnika napona i struje na potrošaču (za referentne smerove napona i struje označene na slici 2.2),

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}}.$$

S obzirom da je kompleksni predstavnik napona $\underline{U} = U e^{j\theta}$, a kompleksni predstavnik struje $\underline{I} = I e^{j\psi}$, impedansa potrošača se može napisati kao

$$Z = \frac{U e^{j\theta}}{I e^{j\psi}} = \frac{U}{I} e^{j(\theta-\psi)} = \frac{U}{I} e^{j\varphi},$$

odakle se vidi da je argument impedanse jednak faznoj razlici napona i struje, $\varphi = \theta - \psi$, a moduo impedanse jednak količniku efektivnih vrednosti napona i struje,

$$Z = |\underline{Z}| = \frac{U}{I}.$$

Prema tome, merenjem efektivnih vrednosti napona i struje na potrošaču moguće je odrediti moduo impedanse potrošača.

Iz izmerenih efektivnih vrednosti napona na otporniku U_R i struje kroz otpornik I_R , s obzirom da je $\underline{Z}_R = Z_R = R$, može da se odredi njegova otpornost,

$$R = \frac{U_R}{I_R}.$$

Iz izmerenih efektivnih vrednosti napona na kalemu U_L i struje kroz kalem I_L , može da se odredi moduo impedanse kalema

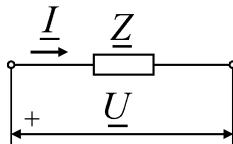
$$Z_L = \frac{U_L}{I_L}.$$

S obzirom da je

$$Z_L = |\underline{Z}_L| = |j\omega L| = \omega L,$$

gde je $\omega = 2\pi f$ (ω je kružna frekvencija, a f frekvencija) iz modula impedanse kalema može da se odredi njegova induktivnost,

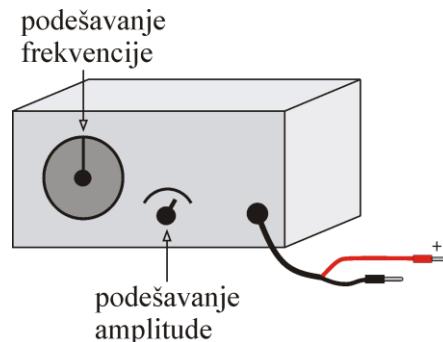
$$L = \frac{Z_L}{\omega} = \frac{Z_L}{2\pi f}.$$



Slika 2.2. Usaglašeni referentni smerovi struje i napona na potrošaču.

Električno kolo

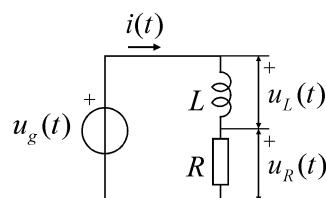
Kao izvor napajanja koristi se signal generator, čija je skica data na slici 2.3. Na slici je označen položaj dugmeta za podešavanje frekvencije i dugmeta za podešavanje amplitude. U desnom donjem uglu je prikazana sonda koja se koristi za priključivanje generatora u električno kolo.



Slika 2.3. Izgled signal generatora.

Na maketi spojiti kolo prema šemi sa slike 2.4 na sledeći način:

- pre povezivanja voditi računa da je generator isključen,
- na odgovarajući način povezati:
 - otpornik,
 - kalem,
 - otpornik R_g na maketi kratko spojiti,
 - signal generator (slika 2.3) bez njegovog uključivanja,
 - proveriti da li su svi elementi pravilno povezani.



Slika 2.4. Električno kolo.

Upotreba unimera za merenje efektivnih vrednosti napona i struje

U slučaju vremenski promenljivih struja unimer meri efektivne vrednosti napona i struje. Oznaka na instrumentu za naizmeničnu struju je \sim .

U ovoj vežbi, kada se unimer koristi za merenje efektivne vrednosti napona preklopnik treba da se namesti na naponski merni opseg od

$20\text{ V} \sim$.

Kada se unimer koristi za merenje efektivne vrednosti struje preklopnik treba da se namesti na merni opseg od

$200\text{ mA} \sim$.

Određivanje otpornosti otpornika i induktivnosti kalem

Preklopnik unimera namestite na naponski merni opseg od $20V \sim$. Crni provodnik postavite u COM priključak, a crveni provodnik na odgovarajuće mesto (krajnji desni priključak iznad kog se nalazi oznaka V). Priključite unimer tako da meri napon na generatoru.

Uključite generator i okretanjem dugmeta za podešavanje frekvencije podesite je na 50Hz .

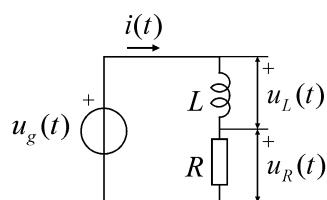
Uključite unimer. Okretanjem dugmeta za podešavanje amplitude na generatoru i istovremenim očitavanjem unimera, namestite da efektivna vrednost napona generatora bude 2V , $U_g = 2\text{V}$. Isključite unimer i generator.

Priključite unimer tako da meri napon na otporniku. Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost napona na otporniku U_R . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 2.1. Isključite unimer i generator.

Priključite unimer tako da meri napon na kalemu. Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost napona na kalemu U_L . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 2.1. Isključite unimer i generator.

Preklopnik unimera namestite na strujni merni opseg od $200\text{mA} \sim$. Crni provodnik postavite u COM priključak, a crveni provodnik na odgovarajuće mesto (drugi priključak sa leve strane iznad kog se nalazi oznaka mA).

Priključite unimer tako da meri struju u kolu. Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost struje I . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 2.1. Isključite unimer i generator.



Električno kolo.

Tabela 2.1.

$f [\text{Hz}]$	$U_g [\text{V}]$	$U_R [\text{V}]$	$U_L [\text{V}]$	$I [\text{A}]$
50	2			

Na osnovu izmerenih vrednosti (tabela 2.1), izračunajte otpornost otpornika (za teoriju pogledajte stranu 2-2),

$$R =$$

Na osnovu izmerenih vrednosti (tabela 2.1), izračunajte moduo impedanse kalem (za teoriju pogledajte stranu 2-2),

$$Z_L =$$

Iz modula impedanse kalem izračunajte njegovu induktivnost (za teoriju pogledajte stranu 2-2),

$$L =$$

Drugi deo vežbe – merenje napona dvokanalnim osciloskopom

U drugom delu vežbe za merenje napona koristi se dvokanalni osciloskop.

Osciloskop se koristi za prikazivanje napona u zavisnosti od vremena, za razliku od običnih voltmetara koji mere samo efektivnu vrednost napona.

Upotreba osciloskopa

Uključite osciloskop pritiskom na dugme iznad kog piše POWER (slika 2.5). Nivo osvetljenja mlaza podešava se dugmetom INTEN. Oštrina mlaza podešava se dugmetom FOCUS.

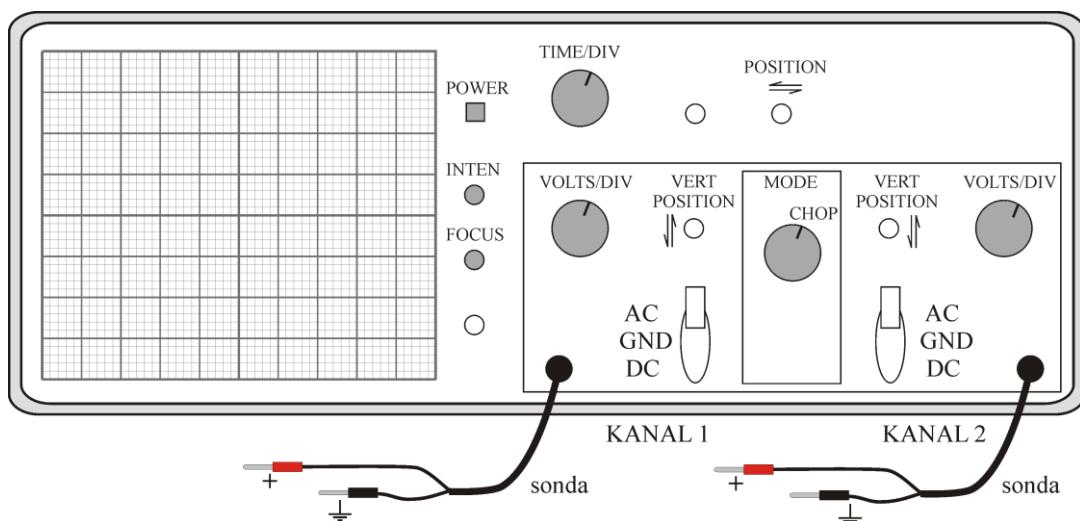
Dugmetom TIME/DIV se podešava vremenska baza na horizontalnoj osi; podešena dužina intervala odgovara jednom podeoku (horizontalnih podeoka ima ukupno 10, od kojih je svaki podeljen na pet podintervala). Na primer, ako je dugme namešteno na 2ms/DIV, onda jedan podeok odgovara vremenskom intervalu od 2ms, a jedan podinterval odgovara vremenskom intervalu od 0,4ms.

Za horizontalno podešavanje položaja signala, koristi se dugme POSITION.

Za svaki kanal posebno se podešava vertikalna osa sa dugmetom VOLTS/DIV. Vertikalnih podeoka ima ukupno 8, a svaki je podeljen na pet podintervala. Na primer, ako je položaj dugmeta na 1V/DIV, jedan podeok odgovara vrednosti od 1V, a jedan podinterval odgovara vrednosti od 0,2V.

Dugmad VERT POSITION se koriste za podešavanje vertikalne pozicije signala, posebno za kanal 1, a posebno za kanal 2.

Pored priključaka za sonde nalaze se prekidači koji imaju tri položaja: AC, GND i DC. Pre početka rada, potrebno je oba prekidača staviti u položaj GND. Na ekranu će se pojaviti dve horizontalne linije, koje treba postaviti na sredinu ekrana osciloskopa. Nakon toga, oba prekidača treba prebaciti u položaj označen sa AC, za merenje naizmeničnog napona.



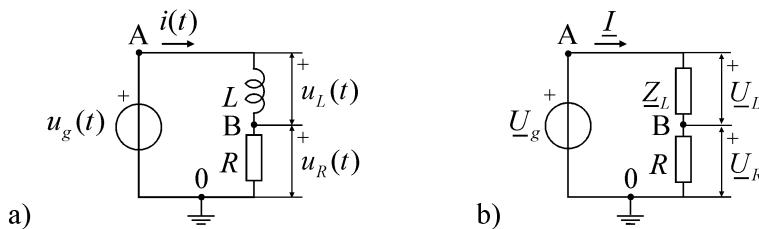
Slika 2.5. Šematski prikaz osciloskopa.

Promena modula impedanse i fazne razlike sa promenom frekvencije

Za drugi deo vežbe koristi se isto električno kolo kao i za prvi deo vežbe. U ovom delu vežbe, osciloskop se koristi za očitavanje amplitude napona i određivanje fazne razlike između napona generatora i napona na otporniku.

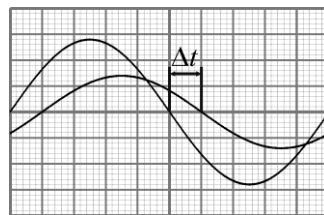
Osciloskop mora pažljivo da se priključi u kolo. Povezivanje osciloskopa se vrši uz pomoć koaksijalnog kabla - svaki kanal sa svojim kablom (sondom). Masu osciloskopa predstavlja oplet (oklop) koaksijalnog kabla i važno je da se mase obe sonde povežu u istu tačku. U protivnom, usled napona između dve mase, može da se ošteti osciloskop. Sonda osciloskopa je nastavak centralnog provodnika (to je crveni provodnik), a oplet kabla je drugi priključak – masa (to je crni provodnik).

Priklučite masu obe sondi osciloskopa (crne provodnike) u tačku koja je zajednička za generator i otpornik. Ta tačka je tačka 0 i označena je sa $\underline{\underline{0}}$ na slici 2.6. Centralni (crveni) provodnik kanala 1 priključite na drugi kraj generatora (u tačku A). Centralni (takođe crveni) provodnik kanala 2 priključite na drugi kraj otpornika (u tačku B).



Slika 2.6. Električna šema za drugi dio vežbe sa označenom tačkom na koju se vezuju mase obe sondi
a) u vremenskom domenu i b) u kompleksnoj notaciji.

Podesite vremensku bazu (horizontalnu osu) osciloskopa na 2ms/DIV, a vertikalne ose (oba kanala) na 1V/DIV. Na ekranu osciloskopa videćete vremenske oblike napona na generatoru i otporniku, kao na slici 2.7. Raspon od vrha do vrha signala (po vertikalnoj osi) odgovara vrednosti dve amplitude. Za napon generatora (veći napon) amplituda iznosi $U_{gm} = 2,8\text{ V}$. (U prvom delu vežbe namešteno je da je efektivna vrednost napona generatora jednaka 2 V, što odgovara amplitudi od $\sqrt{2} \cdot 2\text{ V} \approx 2,8\text{ V}$.)



Slika 2.7. Izgled ekrana osciloskopa pri merenju dva prostoperiodična napona.

Vremenski pomeraj Δt između napona možete da očitate na horizontalnoj osi osciloskopa, kao vremenski interval između prolazaka kroz nulu (slika 2.7) ili između maksimuma ovih napona. U ovom primeru ta razlika je jedan podeok koji odgovara vremenskom intervalu od $\Delta t = 2\text{ ms}$. Fazna razlika između napona jednaka je $\Delta\theta = \omega\Delta t$, odnosno $\Delta\theta = 2\pi f\Delta t$. Prema tome, očitavanjem vremenskog pomeraja između napona Δt može da se odredi njihova fazna razlika $\Delta\theta$.

Kolo sa slike 2.6.a može da se rešava u kompleksnoj notaciji kao na slici 2.6.b. Ekvivalentna impedansa koju vidi generator jednaka je

$$\underline{Z}_{\text{ekv}} = R + j\omega L = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} e^{j\arctg(\omega L/R)}.$$

Iz prethodnog izraza se vidi da su moduo i argument ekvivalentne impedanse jednaki

$$Z_{\text{ekv}} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \quad \varphi = \arctg(\omega L/R).$$

Kompleksna struja u kolu jednaka je količniku napona na generatoru i ekvivalentne impedanse $\underline{I} = \underline{U}_g / \underline{Z}_{\text{ekv}}$, odnosno količniku napona na otporniku i otpornosti otpornika $\underline{I} = \underline{U}_R / R$, odakle se dobija $\underline{U}_g / \underline{Z}_{\text{ekv}} = \underline{U}_R / R$, odnosno

$$\underline{U}_g / \underline{U}_R = \underline{Z}_{\text{ekv}} / R.$$

Neka je $\underline{U}_g = U_g e^{j\theta_g}$ i $\underline{U}_R = U_R e^{j\theta_R}$. Leva i desna strana prethodne jednačine mogu da se napišu kao

$$\frac{\underline{U}_g}{\underline{U}_R} = \frac{U_g}{U_R} e^{j(\theta_g - \theta_R)} = \frac{U_g}{U_R} e^{j\Delta\theta} \quad \text{i} \quad \frac{\underline{Z}_{\text{ekv}}}{R} = \frac{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}{R} e^{j\arctg(\omega L/R)}.$$

Dva kompleksna broja su jednaka ako su im jednaki i moduli i argumenti. Kako je amplituda prostoperiodične veličine $\sqrt{2}$ puta veća od njene efektivne vrednosti, $U_{Rm} = \sqrt{2}U_R$ i $U_{gm} = \sqrt{2}U_g$, sledi da se amplitude napona odnose isto kao efektivne vrednosti, tj. $U_{Rm}/U_{gm} = U_R/U_g$. Na osnovu prethodnog dobija se

$$U_{Rm} = U_{gm} \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \Delta\theta = \arctg(\omega L/R).$$

Za određivanje računatih vrednosti koristite vrednosti određene u prvom delu vežbe:

$$R = \quad L = \quad U_{gm} = 2,8 \text{ V}.$$

Frekvencija se bira okretanjem dugmeta na generatoru. Vrednost Δt je vremenski pomeraj između napona generatora i napona na otporniku (slika 2.7) i potrebno ga je očitati na osciloskopu. Vremenski pomeraj Δt između napona odgovara faznoj razlici $\Delta\theta = \omega\Delta t$, odnosno $\Delta\theta = 2\pi f \Delta t$. Ako želite da $\Delta\theta$ izrazite u stepenima, tada je u prethodnom izrazu potrebno 2π zameniti sa 360° , tj. $\Delta\theta[\circ] = 360^\circ \cdot f \Delta t$.

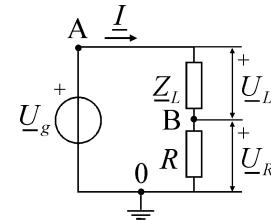
Tabela 2.2.

	računate vrednosti					očitane vrednosti		
f [Hz]	ωL [Ω]	Z_{ekv} [Ω]	U_{Rm} [V]	$\Delta\theta$ [$^\circ$]	U_{Rm} [V]	Δt [s]	$\Delta\theta[\circ] = 360^\circ \cdot f \Delta t$	
50								
150								

Primetite da se impedansa kalema povećava sa povećanjem frekvencije. Zbog toga su se sa povećanjem frekvencije povećale i ekvivalentna impedansa i fazna razlika između napona.

Crtanje vremenskih oblika napona na generatoru i otporniku

Za ovaj deo vežbe koristi se kolo prikazano na slici 2.6. Okretanjem dugmeta za podešavanje frekvencije na generatoru podesite frekvenciju na 50Hz. Okretanjem dugmeta za podešavanje amplitude na generatoru i istovremenim očitavanjem osciloskopa, namestite da maksimalna vrednost napona generatora bude 2,8V, $U_{gm} = 2,8\text{V}$.



Očitajte amplitudu napona generatora U_{gm} i izračunajte njegovu efektivnu vrednost U_g ,

$$U_{gm} = 2,8\text{V}$$

$$U_g =$$

Očitajte amplitudu napona na otporniku U_{Rm} i izračunajte njegovu efektivnu vrednost U_R ,

$$U_{Rm} =$$

$$U_R =$$

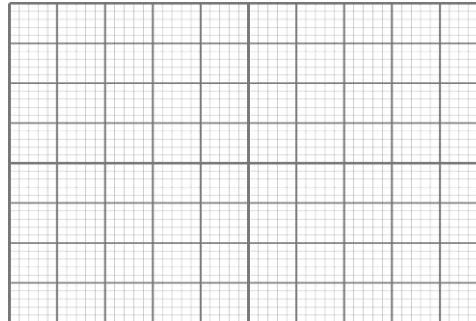
Odredite periodu $T =$

Očitajte vremenski pomeraj između napona $\Delta t =$

Odredite (u stepenima) faznu razliku između napona generatora i napona na otporniku:

$$\Delta\theta[\text{°}] = 360^\circ \cdot f \Delta t =$$

Nacrtajte vremenske oblike napona na generatoru $u_g(t)$ (kanal 1 osciloskopa) i napona na otporniku $u_R(t)$ (kanal 2 osciloskopa).

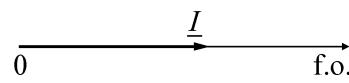


Nacrtajte fazorski dijagram svih napona (U_g , U_R i $U_L = U_g - U_R$) i struje u kolu (I), pretpostavljajući da je početna faza struje jednaka 0.

Sa fazorskog dijagrama očitajte faznu razliku između napona generatora i napona na kalemu:

Sa fazorskog dijagrama očitajte faznu razliku između napona generatora i struje generatora:

$$\varphi =$$



Rešavanjem zadatog kola, za faznu razliku između napona i struje generatora biste dobili (za računanje koristite vrednosti R i L određene u prvom delu vežbe):

$$\varphi = \arctg(\omega L / R) =$$

Uporedite dobijene vrednosti fazne razlike između napona i struje generatora:

Ime i prezime:	Broj indeksa:
Datum:	Broj grupe: Overa:

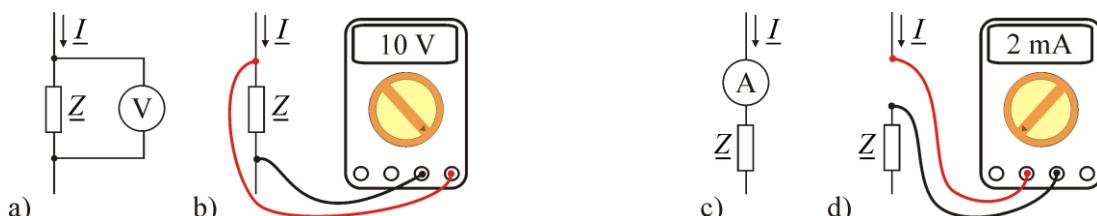
Prvi deo vežbe: merenje efektivnih vrednosti napona i struje

U prvom delu vežbe univerzalni digitalni merni instrument (unimer) se koristi za merenje efektivnih vrednosti prostoperiodičnog napona i struje.

Unimer se priključuje u kolo na isti način kao i u slučaju vremenski konstantnih struja.

U kolima prostoperiodičnih struja, voltmetar meri efektivnu vrednost napona između dve tačke. Priključke voltmatra treba vezati za tačke između kojih se meri efektivna vrednost napona (slike 3.1.a, b).

U kolima prostoperiodičnih struja, ampermetar meri efektivnu vrednost struje kroz neki provodnik. Merenje struje vrši se tako što se provodnik u kome se meri struja prvo prekine, a nakon toga spoji takо da struja prolazi kroz ampermetar (slike 3.1.c i d).



Slika 3.1. a) i b) Primer vezivanja voltmetra, c) i d) primer vezivanja ampermetra.

Povezivanje unimera



Određivanje kapacitivnosti kondenzatora

Otpornost otpornika može se odrediti iz izmerenih efektivnih vrednosti napona i struje na njemu,

$$R = \frac{U_R}{I_R}.$$

Moduo impedanse kondenzatora može se odrediti iz izmerenih efektivnih vrednosti napona i struje na njemu,

$$Z_C = \frac{U_C}{I_C}.$$

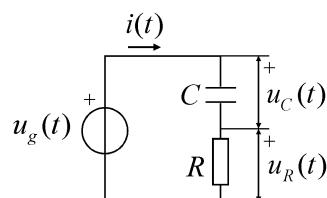
S obzirom da $Z_C = |Z_C| = |-j/(\omega C)| = 1/(\omega C)$, gde je $\omega = 2\pi f$, iz modula impedanse kondenzatora može se odrediti njegova kapacitivnost,

$$C = \frac{1}{\omega Z_C} = \frac{1}{2\pi f Z_C}.$$

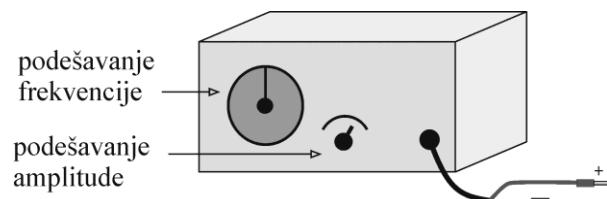
Električno kolo

Na maketi spojiti kolo prema šemi sa slike 3.2 na sledeći način:

- pre povezivanja voditi računa da je generator isključen,
- na odgovarajući način povezati:
 - otpornik,
 - kondenzator (kućište kondenzatora je crvene boje),
 - otpornik R_g na maketi kratko spojiti,
 - signal generator (slika 3.3) bez njegovog uključivanja,
 - proveriti da li su svi elementi pravilno povezani.



Slika 3.2. Električno kolo.



Slika 3.3. Skica signal generatora.

Određivanje otpornosti otpornika i kapacitivnosti kondenzatora

Preklopnik unimera namestite na naponski merni opseg od $20V \sim$. Crni provodnik postavite u COM priključak, a crveni provodnik u krajnji desni priključak iznad kog se nalazi oznaka V.

Priklučite unimer tako da meri napon na generatoru. Uključite generator i okretanjem dugmeta za podešavanje frekvencije podesite je na $50Hz$.

Uključite unimer. Okretanjem dugmeta za podešavanje amplitudu na generatoru i istovremenim očitavanjem unimera, namestite da efektivna vrednost napona generatora bude $2V$, $U_g = 2V$. Isključite unimer i generator.

Priklučite unimer tako da meri napon na otporniku. Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost napona na otporniku U_R . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 3.1. Isključite unimer i generator.

Priklučite unimer tako da meri napon na kondenzatoru. Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost napona na kondenzatoru U_C . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 3.1. Isključite unimer i generator.

Preklopnik unimera namestite na strujni merni opseg od $200mA \sim$. Crni provodnik postaviti u COM priključak, a crveni provodnik na odgovarajuće mesto (drugi priključak sa leve strane iznad kog se nalazi oznaka mA). Priklučite unimer tako da meri struju u kolu.

Uključite generator i izmerite efektivnu vrednost struje I . Unesite izmerenu vrednost u tabelu 3.1. Isključite unimer i generator.

<p>Električno kolo</p> <p>The diagram shows a series circuit consisting of a voltage source $u_g(t)$, a capacitor C, a resistor R, and an inductor $i(t)$. The current flows through the loop in a clockwise direction.</p>	<p>Izmerite efektivne vrednosti napona na otporniku i kondenzatoru, kao i efektivnu vrednost struje u kolu. Izmerene vrednosti unesite u tabelu 3.2.</p> <p>Tabela 3.1.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">$f [Hz]$</th><th style="text-align: center;">$U_g [V]$</th><th style="text-align: center;">$U_R [V]$</th><th style="text-align: center;">$U_C [V]$</th><th style="text-align: center;">$I [A]$</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">50</td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;"></td><td style="text-align: center;"></td><td style="text-align: center;"></td></tr> </tbody> </table> <p>Na osnovu izmerenih vrednosti (tabela 3.1), izračunajte otpornost otpornika, $R =$</p> <p>Na osnovu izmerenih vrednosti (tabela 3.1), izračunajte moduo impedanse kondenzatora, $Z_C =$</p> <p>Iz modula impedanse kondenzatora izračunajte njegovu kapacitivnost, $C =$</p>	$f [Hz]$	$U_g [V]$	$U_R [V]$	$U_C [V]$	$I [A]$	50	2			
$f [Hz]$	$U_g [V]$	$U_R [V]$	$U_C [V]$	$I [A]$							
50	2										

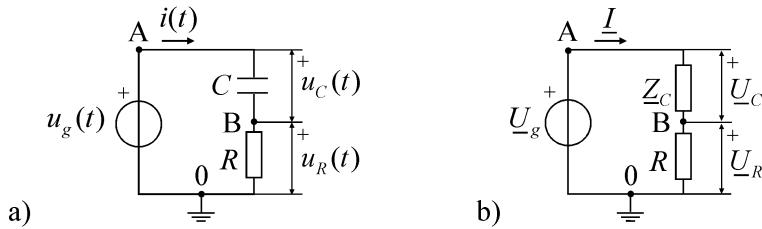
Drugi deo vežbe – merenje napona dvokanalnim osciloskopom

Promena modula impedanse i fazne razlike sa promenom frekvencije

Za drugi deo vežbe koristi se isto električno kolo kao i za prvi deo vežbe. U ovom delu vežbe, osciloskop se koristi za očitavanje amplitude napona i određivanje fazne razlike između napona generatora i napona na otporniku.

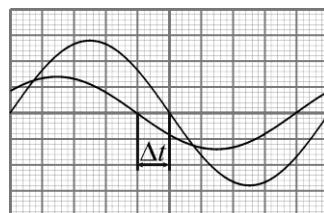
Osciloskop mora pažljivo da se priključi u kolo. U protivnom, može da se ošteći osciloskop. Povezivanje osciloskopa se vrši uz pomoć koaksijalnog kabla - svaki kanal sa svojim kablom (sondom). Važno je da se mase generatora i mase obe sonde (crni provodnici) povežu u istu tačku.

Priklučite masu obe sonde osciloskopa (crne provodnike) u tačku koja je zajednička za generator i otpornik. Ta tačka je tačka 0 i označena je sa $\underline{\underline{0}}$ na slici 3.4. Centralni (crveni) provodnik kanala 1 priključite na drugi kraj generatora (u tačku A). Centralni (takođe crveni) provodnik kanala 2 priključite na drugi kraj otpornika (u tačku B).



Slika 3.4. Električna šema za drugi deo vežbe sa označenom tačkom na koju se vezuju mase obe sonde
a) u vremenskom domenu i b) u kompleksnoj notaciji.

Uključite osciloskop. Podesite vremensku bazu (horizontalnu osu) osciloskopa na 2ms/DIV, a vertikalne ose (oba kanala) na 1V/DIV. Na ekranu osciloskopa videćete vremenske oblike napona na generatoru i otporniku, kao na slici 3.5. Raspon od vrha do vrha signala (po vertikalnoj osi) odgovara vrednosti dve amplitude. Za napon generatora (veći napon) amplituda iznosi $U_{gm} = 2,8\text{ V}$. (U prvom delu vežbe namešteno je da je efektivna vrednost napona generatora jednaka 2 V, što odgovara amplitudi od $\sqrt{2} \cdot 2\text{ V} \approx 2,8\text{ V}$.)



Slika 3.5. Izgled ekrana osciloskopa pri merenju dva prostoperiodična napona.

Vremenski pomeraj Δt između napona na generatoru i napona na otporniku možete da očitate na horizontalnoj osi osciloskopa, kao vremenski interval između prolazaka kroz nulu (slika 3.5) ili između maksimuma ovih napona. U ovom primeru ta razlika je jedan podeok koji odgovara vremenskom intervalu od $\Delta t = -2\text{ ms}$ (napon na generatoru kasni za naponom na otporniku). Fazna razlika između napona jednaka je $\Delta\theta = \omega\Delta t$, odnosno $\Delta\theta = 2\pi f\Delta t$. Prema tome, očitavanjem vremenskog pomeraja između napona Δt može da se odredi njihova fazna razlika $\Delta\theta$.

Kolo sa slike 3.4.a može da se rešava u kompleksnoj notaciji kao na slici 3.4.b. Ekvivalentna impedansa koju vidi generator jednaka je

$$\underline{Z}_{\text{ekv}} = R - j/(\omega C) = \sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2} e^{j\arctg(-1/(\omega CR))}.$$

Iz prethodnog izraza se vidi da su moduo i argument ekvivalentne impedanse jednaki

$$Z_{\text{ekv}} = \sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2}, \quad \varphi = \arctg(-1/(\omega CR)).$$

Kompleksna struja u kolu jednaka je količniku napona na generatoru i ekvivalentne impedanse $\underline{I} = \underline{U}_g / \underline{Z}_{\text{ekv}}$, odnosno količniku napona na otporniku i otpornosti otpornika $\underline{I} = \underline{U}_R / R$, odakle se dobija $\underline{U}_g / \underline{Z}_{\text{ekv}} = \underline{U}_R / R$, odnosno

$$\underline{U}_g / \underline{U}_R = \underline{Z}_{\text{ekv}} / R.$$

Neka je $\underline{U}_g = U_g e^{j\theta_g}$ i $\underline{U}_R = U_R e^{j\theta_R}$. Leva i desna strana prethodne jednačine mogu da se napišu kao

$$\frac{\underline{U}_g}{\underline{U}_R} = \frac{U_g}{U_R} e^{j(\theta_g - \theta_R)} = \frac{U_g}{U_R} e^{j\Delta\theta} \quad \text{i} \quad \frac{\underline{Z}_{\text{ekv}}}{R} = \frac{\sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2}}{R} e^{j\arctg(-1/(\omega CR))}.$$

Dva kompleksna broja su jednakia ako su im jednakii moduli i argumenti. Kako je amplituda prostoperiodične veličine $\sqrt{2}$ puta veća od njene efektivne vrednosti, $U_{Rm} = \sqrt{2}U_R$ i $U_{gm} = \sqrt{2}U_g$, sledi da se amplitude napona odnose isto kao efektivne vrednosti, tj. $U_{Rm}/U_{gm} = U_R/U_g$. Na osnovu prethodnog dobija se

$$U_{Rm} = U_{gm} \frac{R}{\sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2}}, \quad \Delta\theta = \arctg(-1/(\omega CR)).$$

Za određivanje računatih vrednosti koristite vrednosti određene u prvom delu vežbe:

$$R = \quad C = \quad U_{gm} = 2,8 \text{ V}.$$

Frekvencija se bira okretanjem dugmeta na generatoru. Vrednost Δt je vremenski pomeraj između napona generatora i napona na otporniku (slika 3.5) i potrebno ga je očitati na osciloskopu. Vremenski pomeraj Δt između napona odgovara faznoj razlici $\Delta\theta = \omega\Delta t$, odnosno $\Delta\theta = 2\pi f \Delta t$. Ako želite da $\Delta\theta$ izrazite u stepenima, tada je u prethodnom izrazu potrebno 2π zameniti sa 360° , tj. $\Delta\theta[^\circ] = 360^\circ \cdot f \Delta t$.

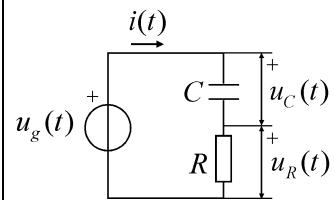
Tabela 2.2.

	računate vrednosti				očitane vrednosti		
f [Hz]	$1/(\omega C)$ [Ω]	Z_{ekv} [Ω]	U_{Rm} [V]	$\Delta\theta$ [$^\circ$]	U_{Rm} [V]	Δt [s]	$\Delta\theta[^\circ] = 360^\circ \cdot f \Delta t$
50							
150							

Primetite da se impedansa kondenzatora smanjuje sa povećanjem frekvencije. Zbog toga su se sa povećanjem frekvencije smanjile i ekvivalentna impedansa i fazna razlika između napona.

Određivanje fazne razlike pomoću osciloskopa

Za ovaj deo vežbe koristi se kolo prikazano na slici 3.4.a. Okretanjem dugmeta za podešavanje frekvencije na generatoru podešite frekvenciju na 50Hz. Okretanjem dugmeta za podešavanje amplitudu na generatoru i istovremenim očitavanjem osciloskopa, namestite da maksimalna vrednost napona generatora bude 2,8V, $U_{gm} = 2,8\text{V}$.



Očitajte amplitudu napona generatora U_{gm} i izračunajte njegovu efektivnu vrednost U_g ,

$$U_{gm} = 2,8\text{V} \quad U_g =$$

Očitajte amplitudu napona na otporniku U_{Rm} i izračunajte njegovu efektivnu vrednost U_R ,

$$U_{Rm} = \quad U_R =$$

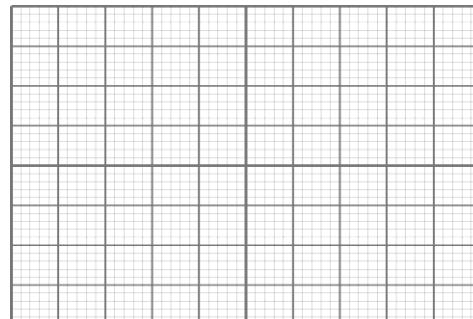
Odredite periodu $T =$

Očitajte vremenski pomeraj između napona $\Delta t =$

Odredite (u stepenima) faznu razliku između napona generatora i napona na otporniku:

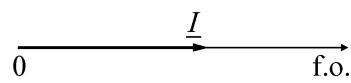
$$\Delta\theta[\circ] = 360^\circ \cdot f \Delta t =$$

Nacrtajte vremenske oblike napona na generatoru $u_g(t)$ (kanal 1 osciloskopa) i napona na otporniku $u_R(t)$ (kanal 2 osciloskopa).



Nacrtajte fazorski dijagram svih napona (U_g , U_R i $U_C = U_g - U_R$) i struje u kolu (I), pretpostavljajući da je početna faza struje jednaka 0.

Sa fazorskog dijagrama očitajte faznu razliku između napona na generatoru i kondenzatoru:



Sa fazorskog dijagrama očitajte faznu razliku između napona generatora i struje generatora:

$$\varphi =$$

Rešavanjem zadatog kola, za faznu razliku između napona i struje generatora biste dobili (za računanje koristite vrednosti R i C određene u prvom delu vežbe):

$$\varphi = \arctg \left(-\frac{1}{\omega CR} \right) =$$

Uporedite dobijene vrednosti fazne razlike između napona i struje generatora: _____
