

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 9
Mostovi

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

1 Mostovi

1.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
2. crossover UTP kabl za povezivanje računara i generatora signala
3. BNC-to-BNC kabl za sinhronizaciju
4. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
5. BNC kablovi sa bananskim utikačima, 3 komada, svi sa masom
6. izvor jednosmernog napona Agilent E3630A
7. kablovi sa bananskim utikačima, 4 komada
8. digitalni multimeter RTO-1035N
9. protobord
10. žice za povezivanje na protobordu
11. otpornici otpornosti $22\ \Omega$, 3 komada
12. otpornici otpornosti $33\ \Omega$, 3 komada
13. otpornik otpornosti $100\ \Omega$, 5%
14. otpornici otpornosti $1\ \text{k}\Omega$, 5%, tri komada
15. otpornik otpornosti $10\ \text{k}\Omega$, 5%
16. kondenzator kapacitivnosti $100\ \text{nF}$, 2 komada
17. kondenzator kapacitivnosti $47\ \text{nF}$
18. kondenzator kapacitivnosti $33\ \text{nF}$
19. kondenzator kapacitivnosti $22\ \text{nF}$
20. kondenzator kapacitivnosti $10\ \text{nF}$
21. kondenzator kapacitivnosti $1\ \text{nF}$
22. kalem nepoznate induktivnosti „crni”
23. dekadna ploča otpornosti
24. kablovi sa bananskim utikačima na jednoj i žicom za protobord na drugoj strani, 2 komada
25. potencijometar sa skalom
26. računar sa softverom za vežbu broj 9
27. **studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja**

1.2 Opis i ciljevi vežbe

Ova vežba se bavi merenjima parametara pasivnih elemenata i frekvencije pomoću mostova. I u ovoj vežbi se ilustruje na fizičkim objektima znanje stečeno u predmetima Osnovi elektrotehnike 1 i 2 i Teorija električnih kola.

Cilj vežbe je da studenti dalje unaprede svoje sposobnosti u povezivanju električnih kola na protobordu, primeni osciloskopa i generatora signala, kao i da osete pojam osetljivosti mosta i efekte kvantizacije na rezultat merenja.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa \square , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

1.3 Napomene

U svim delovima vežbe sinhronizacija osciloskopa je izvedena preko sinhronizacionog izlaza generatora signala i eksternog sinhronizacionog ulaza osciloskopa.

Pre početka korišćenja generatora signala proveriti da li je podrazumevana impedansa potrošača podešena na beskonačnu, **Utility, Output Setup, Load, High Z**.

U nekim delovima vežbe se koristi dekadna ploča otpornosti. Dekadna ploča (kutija) otpornosti prikazana je na slici 1 i ponaša se kao otpornik čija se otpornost izborom položaja džampera J_2 , J_3 i J_4 može menjati u opsegu od $0\ \Omega$ do $99900\ \Omega$ u koracima po $100\ \Omega$ prema formuli

$$R_{dec} = 10000\ \Omega J_4 + 1000\ \Omega J_3 + 100\ \Omega J_2$$

gde je R_{dec} otpornost koju dekadna ploča realizuje, a J_2 , J_3 i J_4 su pozicije odgovarajućih džampera. Kako svaki džamper ima 10 mogućih pozicija, dekadna ploča teorijski može da realizuje 1000 različitih otpornosti. U praksi, situacija je nešto lošija zbog tolerancija upotrebljenih otpornika, pošto tolerancija otpornika najveće upotrebljene otpornosti, $10\ \text{k}\Omega$, od 5% iznosi $500\ \Omega$, što je petostruka otpornost najmanjeg upotrebljenog otpornika.

U nekim delovima vežbe za uravnoteženje mosta će se koristiti potencijometar sa skalom prikazan na slici 2(a). Potencijometar je „linearni” tako da otpornosti od klizača do krajeva linearno zavise od ugla zakretanja α izraženog u normalizovanim jedinicama ($0 \leq \alpha \leq 1$), po kojima je puno skretanje u jednu stranu $\alpha = 0$, a u drugu stranu $\alpha = 1$. Skala potencijometra je označena u procentima pune skale p tako što je

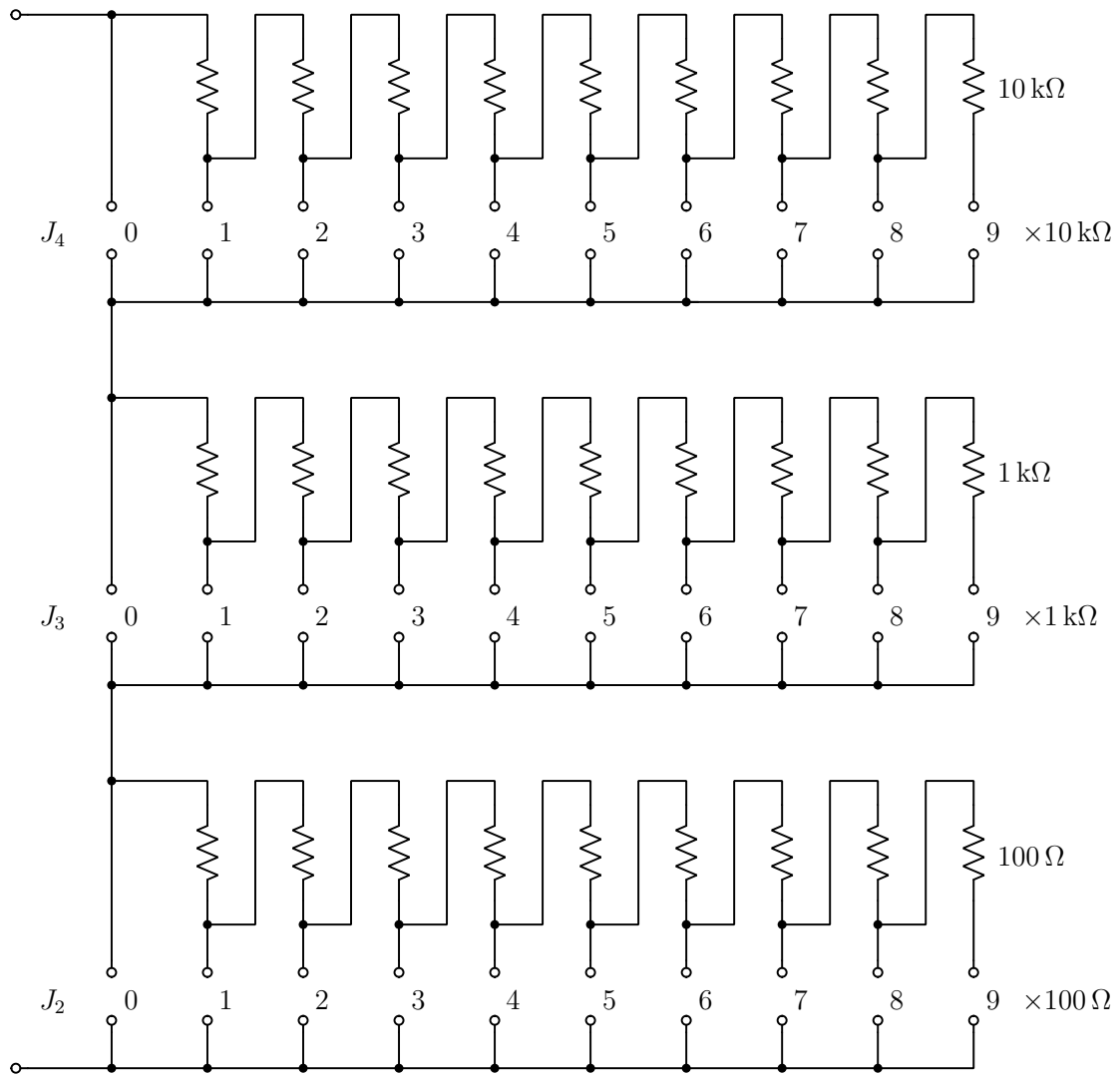
$$p = 100\ \alpha.$$

Obratite pažnju na označavanje izvoda potencijometra bojama: potencijometar koji se koristi na laboratorijskim vežbama ima klizač izveden crnom bojom, kraj koji odgovara $\alpha = 0$ žutom bojom i kraj koji odgovara $\alpha = 1$ belom bojom. Ako se potencijometar poveže na izvor napona v_P u skladu sa slikom 2(b), potencijal na klizaču v_K zavisi kao

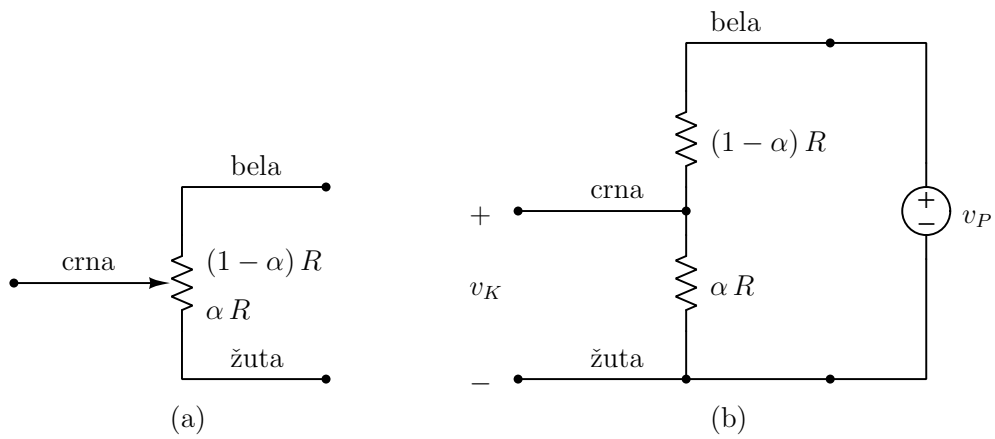
$$v_K = \frac{\alpha R}{(1 - \alpha) R + \alpha R} v_P = \alpha v_P$$

i ovaj odnos skaliranja ne zavisi od temperature potencijometra (predavanja). Za brzo uravnoteženje mosta će biti korišćen potencijometar, pri čemu je raspoloživa promena otpornosti kontinualna, za razliku od dekadne ploče otpornosti gde je diskretna. Međutim, skala na potencijometru ima označene podeoke na po 10%. Prilikom očitavanja, rezultat se može kvantovati do na 5%, što daje samo 21 moguću vrednost očitavanja, što je u primeni ekvivalentno diskretnoj promeni otpornosti.

Prilikom računanja za potrebe popunjavanja tabela možete koristiti program **Calc**, to preporučujemo, ali nije obaveza.



Slika 1: Dekadna ploča otpornosti.

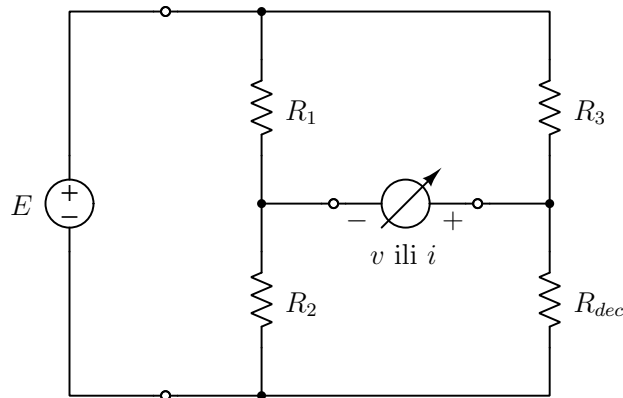


Slika 2: Potencijometar.

1.4 Zadatak

1.4.1 Naponska osetljivost Vitstonovog mosta

Povezati Vitstonov most prema šemi sa slike 3. „Prazne tačke” na šemi predstavljaju buksne protoborda. Generator E koji pobuđuje most treba da bude doveden iz jednosmernog izvora za napajanje, izvor $+20\text{ V}$, koji pre povezivanja u kolo treba da bude podešen na $+5\text{ V}$, što je savladano u vežbi 1. Otpornici treba da budu $R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{ k}\Omega$, dok je R_{dec} otpornost dekadne ploče. Kao indikator ravnoteže koristiti digitalni multimeter RTO-1035N koji treba da bude podešen da radi kao milivoltmetar. Kolo je povezano kako bi se eksperimentalno odredile naponska i strujna osetljivost mosta, pa je na mesto gde se obično nalazi otpornik nepoznate otpornosti postavljena dekadna ploča otpornosti kako bi se testirala reakcija indikatora ravnoteže na promene nepoznate otpornosti.



Slika 3: Vitstonov most.

Dovesti most u ravnotežu, u granicama mogućnosti zbog diskretne prirode promene otpornosti R_{dec} . Zapisati otpornost R_{dec} koja uravnotežuje most:

$$R_{dec} = \underline{\hspace{10em}} \square.$$

Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1, za $E = 5\text{ V}$, $\Delta R_{dec} = 0 \square$.

Povećati R_{dec} za $100\ \Omega$. Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 \square .

Smanjiti R_{dec} za $100\ \Omega$. Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 \square .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 10\text{ V}$.

Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 \square .

Povećati R_{dec} za $100\ \Omega$. Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 \square .

Smanjiti R_{dec} za $100\ \Omega$. Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 \square .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 15\text{ V}$.

Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 \square .

Povećati R_{dec} za $100\ \Omega$. Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 \square .

Tabela 1: Naponska neravnoteža Vitstonovog mosta.

E	$\Delta_1 v, \Delta R_{dec} = 0$	$\Delta_2 v, \Delta R_{dec} = 100 \Omega$	$\Delta_3 v, \Delta R_{dec} = -100 \Omega$
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Tabela 2: Naponska osetljivost Vitstonovog mosta.

E	$S_1 = 10 (\Delta_2 v - \Delta_1 v)$	$S_2 = -10 (\Delta_3 v - \Delta_1 v)$	$S_3 = 5 (\Delta_2 v - \Delta_3 v)$
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 20 \text{ V}$.

Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 .

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 .

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 1 .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži. Vratiti napon jednosmernog izvora na $E = 5 \text{ V}$.

Na osnovu podataka iz tabele 1 popuniti tabelu 2 . Da se podsetimo predavanja: naponska osetljivost mosta se definiše kao

$$S = R_X \frac{dv}{dR_X}$$

i na osnovu ove formule su dobijene formule iz prve vrste tabele 2 prelaskom sa diferencijala na konačne razlike.

Na osnovu podataka iz tabele 2 popuniti tabelu 3 . Uočavate li neku pravilnost?

Ako ste koristili program Calc, fajl sa računom (.ods) možete sačuvati u direktorijumu ~/Desktop/vezba-9/a.

1.4.2 Strujna osetljivost Vitstonovog mosta

Podesiti digitalni multimetar RTO-1035N koji se koristi kao indikator ravnoteže da radi kao miliampermetar.

Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Tabela 3: Normalizovana naponska osetljivost Vitstonovog mosta.

E	S_1/E	S_2/E	S_3/E
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 10 \text{ V}$.

Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 15 \text{ V}$.

Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 20 \text{ V}$.

Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 4 .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži. Vratiti napon jednosmernog izvora na $E = 5 \text{ V}$.

Na osnovu podataka iz tabele 4 popuniti tabelu 5 . Sa predavanja: strujna osetljivost mosta se definiše kao

$$S_i = R_X \frac{di}{dR_X}$$

i na osnovu ove formule su dobijene formule iz prve vrste tabele 5 prelaskom sa diferencijala na konačne razlike.

Na osnovu podataka iz tabele 5 popuniti tabelu 6 . Uočavate li neku pravilnost? Uočavate li vezu sa normalizovanom naponskom osetljivošću?

Ako ste koristili program `Calc`, fajl sa računom (.ods) možete sačuvati u direktorijumu `~/Desktop/vezba-9/b`.

Pitanja za razmišljanje:

Tabela 4: Strujna neravnoteža Vitstonovog mosta.

E	$\Delta_1 i, \Delta R_{dec} = 0$	$\Delta_2 i, \Delta R_{dec} = 100 \Omega$	$\Delta_3 i, \Delta R_{dec} = -100 \Omega$
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Tabela 5: Strujna osetljivost Vitstonovog mosta.

E	$S_{i1} = 10 (\Delta_2 i - \Delta_1 i)$	$S_{i2} = -10 (\Delta_3 i - \Delta_1 i)$	$S_{i3} = 5 (\Delta_2 i - \Delta_3 i)$
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Tabela 6: Normalizovana strujna osetljivost Vitstonovog mosta.

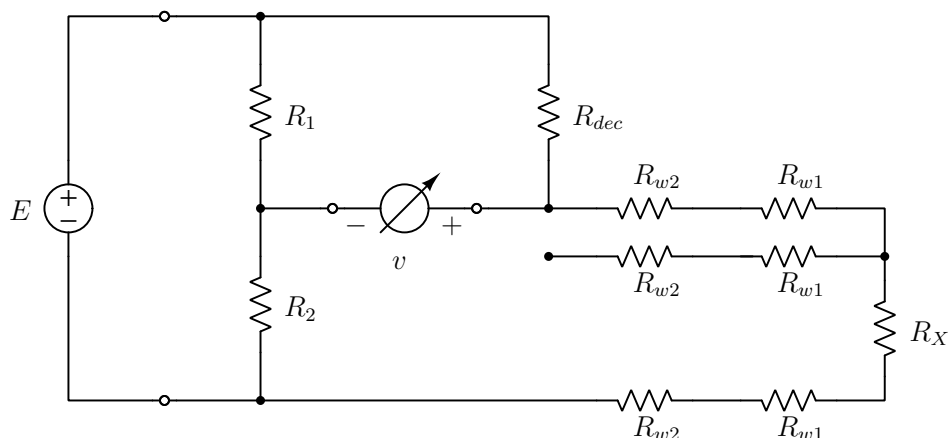
E	S_{i1}/E [mA/V]	S_{i2}/E [mA/V]	S_{i3}/E [mA/V]
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

1. Da li se rezultati za naponsku osetljivost mosta slažu sa teorijskim očekivanjima?
2. Koja je veza naponske osetljivosti i strujne osetljivosti?
3. Možete li da povežete naponsku i strujnu osetljivost primenom Tevenenove teoreme?
4. Ako bi otpornici u mostu bili otpornosti $100\ \Omega$ umesto $1\ \text{k}\Omega$, da li bi strujna osetljivost mosta bila manja ili veća? Možete li da je predvidite?

1.4.3 Trožično merenje otpornosti

Kako bi sagledali prednosti trožičnog merenja otpornosti, prvo ćemo razmotriti kako kablovi koji vode do merene otpornosti utiču na rezultat merenja kod dvožične veze prikazane na slici 4 gde je detektor ravnoteže multimeter RTO-1035N podešen da radi kao milivoltmetar. U kolu sa slike 4 je $R_1 = R_2 = R_X = 1\ \text{k}\Omega$, R_{dec} je dekadna ploča otpornosti, $R_{w1} = 22\ \Omega$ i $R_{w2} = 33\ \Omega$, $E = 20\ \text{V}$. Kolo je projektovano da predstavi realan praktičan problem merenja otpornosti udaljenog Pt100 temperaturnog senzora, ali su zbog u laboratoriji raspoloživih otpornika sve otpornosti uvećane deset puta u odnosu na realan slučaj, baš kao i napon E . Otpornici $R_{w1} = 22\ \Omega$ i $R_{w2} = 33\ \Omega$ predstavljaju otpornosti kablova koje su realno $2.2\ \Omega$ i $3.3\ \Omega$. Kolo treba sastaviti kako je prikazano na slici 4, bez obzira na granu koja nije u tom kolu povezana, cilj je da se minimalnom promenom veza kasnije poveže kolo sa slike 5.

Uravnotežavanjem mosta u granicama mogućnosti uslovljenim diskretnim vrednostima otpornosti raspoloživim preko dekadne ploče, popuniti tabelu 7 . Situacije u kojima je neki od otpornika R_{w1} ili R_{w2} precrtan odgovaraju kratkom spajanju precrtanih otpornika.

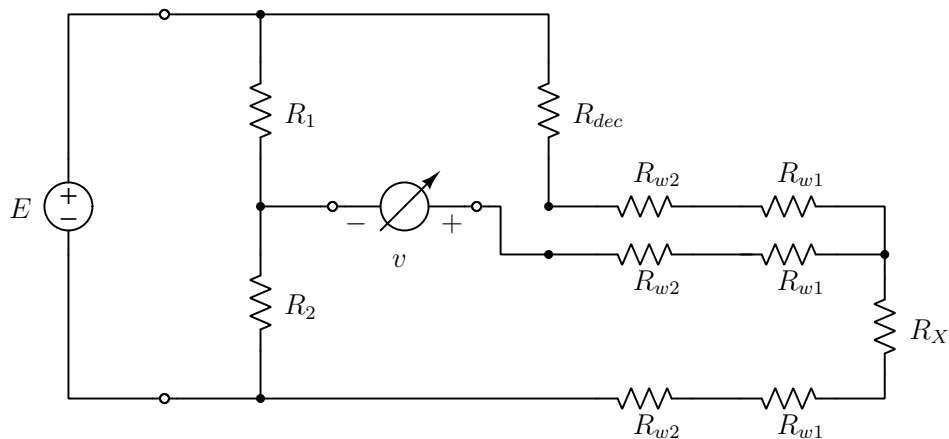


Slika 4: Dvožično merenje otpornosti.

Tabela 7: Dvožično merenje otpornosti.

R_{w1}	R_{w2}	R_{dec} [$\text{k}\Omega$]	v [mV]
R_{w1}	R_{w2}		
R_{w1}	R_{w2}		
R_{w1}	R_{w2}		
R_{w1}	R_{w2}		

Sastaviti kolo sa slike 5. Popuniti tabelu 8 .



Slika 5: Trožično merenje otpornosti.

Tabela 8: Trožično merenje otpornosti.

R_{w1}	R_{w2}	R_{dec} [k Ω]	v [mV]
R_{w1}	R_{w2}		
R_{w1}	R_{w2}		
R_{w1}	R_{w2}		
R_{w1}	R_{w2}		

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li trožična veza u velikoj meri eliminiše uticaj kablova na rezultat merenja?
2. Da li trožična veza potpuno eliminiše uticaj kablova na rezultat merenja?
3. Ako kablovi i dalje utiču na rezultat merenja, šta je tome uzrok?
4. Kako bi pretpostavku o uzročniku uticaja kablova na rezultat merenja eksperimentalno verifikovali?

1.4.4 Sotijev most za merenje kapacitivnosti

Postaviti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-9/c`.

U ovom delu vežbe će biti proveravane nominalne vrednosti kapacitivnosti različitih kondenzatora primenom nekoliko metoda. Kondenzatori različitih nominalnih vrednosti kapacitivnosti će biti označeni tako da:

1. $C_1 = 100$ nF
2. $C_2 = 47$ nF
3. $C_3 = 33$ nF
4. $C_4 = 22$ nF
5. $C_5 = 10$ nF
6. $C_6 = 1$ nF.

U nekim slučajevima će biti jako teško do nemoguće izmeriti zahtevanu kapacitivnost.

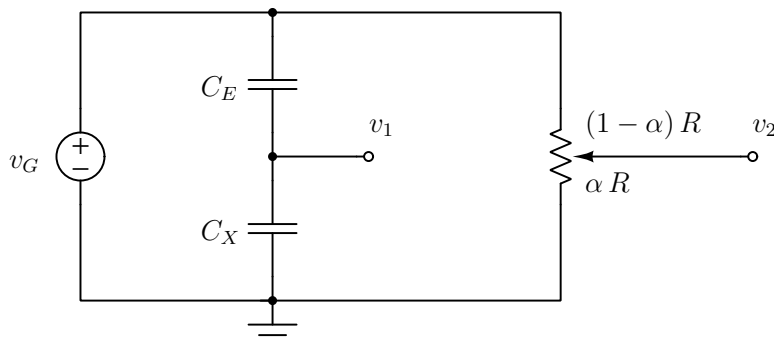
U ovom delu vežbe, prvo će se koristiti potenciometar sa skalom prikazan na slici 2(a). Obratite pažnju na označavanje izvoda potenciometra bojama: potenciometar koji se koristi na laboratorijskim vežbama ima klizač izveden crnom bojom, kraj koji odgovara $\alpha = 0$ žutom bojom i kraj koji odgovara $\alpha = 1$ belom bojom.

U prvom delu vežbe sa Sotijevim mostom će za brzo uravnoteženje mosta biti korišćen potenciometar. Skala na potenciometru ima označene podeoke na po 10%. Prilikom očitavanja, rezultat kvantovati na 5%, što daje 21 moguću vrednost očitavanja.

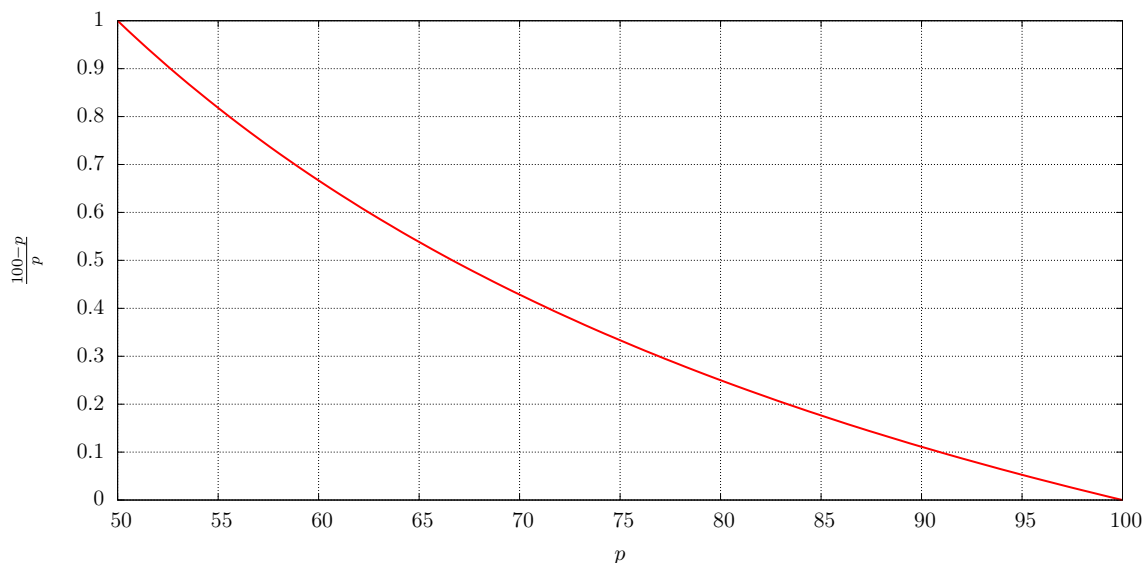
Povezati kolo sa slike 6 kod koga je $C_E = 100 \text{ nF}$. Na generatoru signala podesiti oblik signala na sinusoidalni, frekvenciju na 1 kHz, efektivnu vrednost na 1 V. Na kanal 1 osciloskopa dovesti v_1 , na kanal 2 dovesti v_2 . Uključiti **Math** kanal i na njemu prikazati **Ch1-Ch2**. Merenja na osciloskopu podesiti da se na kanalu 1 mere efektivna vrednost (**Cycle RMS**) i frekvencija, na kanalu 2 efektivna vrednost (**Cycle RMS**), na **Math** kanalu efektivna vrednost (**Cycle RMS**). Prilikom uravnotežavanja mosta koristiti rezultate merenja. Kada je most uravnotežen $v_1 = v_2$, pa je

$$C_X = \frac{100 - p}{p} C_E.$$

Zavisnost $\frac{100-p}{p}$ od p je u zoni od interesa za ovu vežbu grafički prikazana na slici 7. Za izračunavanje možete koristiti program **Calc**.



Slika 6: Sotijev most sa potenciometrom.



Slika 7: Zavisnost $\frac{100-p}{p}$ od p .

Tabela 9: Sotijev most uravnotežen potenciometrom

kondenzator	p [%]	C_X [nF]
C_1		
C_2		
C_3		
C_4		
C_5		
C_6		

Povezati C_1 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 9 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py Sauty-pot-C1
```

Povezati C_2 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 9 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Povezati C_3 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 9 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Povezati C_4 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 9 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Povezati C_5 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 9 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Povezati C_6 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 9 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Ako ste za izračunavanja koristili program Calc, dobijenu tabelu možete sačuvati u radnom direktorijumu `~/Desktop/vezba-9/c`.

Kada je već povezan Sotijev most, povoljno je probati i razdelnički metod merenja kapacitivnosti. Isključiti potenciometar iz kola sa slike 6 i povezati osciloskop tako da kanal 2 meri napon generatora v_G . U tom slučaju je

$$v_1 = \frac{C_E}{C_E + C_X} v_G$$

odakle za izmerene efektivne vrednosti napona v_1 i v_G označene sa V_1 i V_G sledi

$$C_X = C_E \frac{V_G - V_1}{V_1}$$

Povezati C_1 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_1 . Popuniti tabelu 10 \square . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py Sauty-divider-C1
```

Povezati C_2 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_2 . Popuniti tabelu 10 \square .

Povezati C_3 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_3 . Popuniti tabelu 10 \square .

Tabela 10: Merenje kapacitivnosti, metod razdelnika

kondenzator	V_1 [V]	V_G [V]	C_X [nF]
C_1			
C_2			
C_3			
C_4			
C_5			
C_6			

Povezati C_4 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_4 . Popuniti tabelu 10 □.

Povezati C_5 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_5 . Popuniti tabelu 10 □.

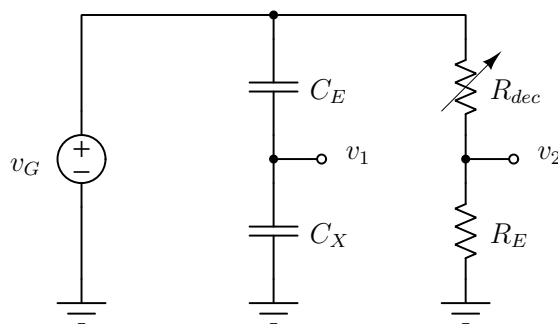
Povezati C_6 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_6 . Popuniti tabelu 10 □.

Skala potenciometra koji se koristi u vežbi omogućava procenu 21 različite vrednosti parametra p , što za dato C_E implicira mogućnost merenja 21 različite vrednosti kapacitivnosti, sa rezolucijom očitavanja p od 5%, kako je prikazano u tabeli 11. Preciznija merenja je u principu moguće vršiti pomoću potenciometra sa preciznijom skalom ili pomoću dekadne ploče (kutije) otpornosti, prikazane na slici 1. Kolo sa slike 1 se ponaša kao otpornik čija se otpornost izborom položaja džampera J_2 , J_3 i J_4 može menjati u opsegu od 0Ω do 99900Ω u koracima po 100Ω prema formuli

$$R_{dec} = 10000 \Omega J_4 + 1000 \Omega J_3 + 100 \Omega J_2$$

gde je R_{dec} otpornost koju dekadna ploča realizuje, a J_2 , J_3 i J_4 su pozicije odgovarajućih džampera. Kako svaki džamper ima 10 mogućih pozicija, dekadna ploča teorijski može da realizuje 1000 različitih otpornosti, pa je rezolucija merenja mnogo bolja (oko 50 puta) nego kod potenciometra čiji kontinuum mogućih položaja rezultira sa dvadeset i jednim kvantovanim očitavanjem. U praksi, situacija je nešto lošija, zbog tolerancija upotrebljenih otpornika.

Povezati kolo sa slike 8 u kome je $R_E = 10 \text{ k}\Omega$ i $C_E = 100 \text{ nF}$. Postaviti frekvenciju generatora signala na 1 kHz, efektivnu vrednost napona na 1 V, ofset na nulu. Povezati osciloskop da v_1 bude prikazan na kanalu 1, v_2 na kanalu 2. Uključiti merenja da prvo merenje bude efektivna vrednost napona na kanalu 1, drugo merenje efektivna vrednost napona na kanalu 2. Prilikom merenja, držati istu podelu naponske ose na oba kanala.



Slika 8: Sotijev most sa dekadnom pločom otpornosti.

Tabela 11: Uravnotežavanje potencijometrom, uticaj kvantizacije na 5%

p	α	$\frac{\alpha}{1-\alpha}$
0	0.00	0.00
5	0.05	0.05
10	0.10	0.11
15	0.15	0.18
20	0.20	0.25
25	0.25	0.33
30	0.30	0.43
35	0.35	0.54
40	0.40	0.67
45	0.45	0.82
50	0.50	1.00
55	0.55	1.22
60	0.60	1.50
65	0.65	1.86
70	0.70	2.33
75	0.75	3.00
80	0.80	4.00
85	0.85	5.67
90	0.90	9.00
95	0.95	19.00
100	1.00	∞

Most sa slike 8 je u ravnoteži kada je

$$C_X = C_E \frac{R_{dec}}{R_E}$$

pa je u konkretnom slučaju

$$C_X = 10 \text{ nF} \frac{R_{dec}}{1 \text{ k}\Omega}.$$

Prilikom uravnotežavanja mosta treba pratiti efektivne vrednosti napona v_1 i v_2 i imati u vidu da smanjenje R_{dec} dovodi do povećanja efektivne vrednosti v_2 . Prilikom promene R_{dec} treba početi od otpornosti jednake nuli i najznačajniju cifru povećavati dok efektivna vrednost v_2 ne postane manja od efektivne vrednosti v_1 . Potom se treba vratiti za jednu cifru unazad i preći na podešavanje sledeće cifre. Drugu cifru treba podesiti na isti način, potom preći na treću cifru i odabrati njenu vrednost tako da razlika u efektivnim vrednostima napona v_1 i v_2 bude najmanja moguća.

Povezati C_1 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 12. Izračunati odgovarajuću vrednost C_1 i zapisati je u tabelu 12. Za izračunavanja možete koristiti program Calc i u tom slučaju dobijenu tabelu možete sačuvati u radnom direktorijumu `~/Desktop/vezba-9/c`. Dokumentovati merenje pokretanjem programa `python getfig.py Sauty-Rx-C1`

Povezati C_2 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 12. Izračunati odgovarajuću vrednost C_2 i zapisati je u tabelu 12.

Tabela 12: Merenje kapacitivnosti, dekadna ploča otpornosti

kondenzator	R_{dec} [Ω]	C_X [nF]
C_1		
C_2		
C_3		
C_4		
C_5		
C_6		

Povezati C_3 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 12. Izračunati odgovarajuću vrednost C_3 i zapisati je u tabelu 12.

Povezati C_4 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 12. Izračunati odgovarajuću vrednost C_4 i zapisati je u tabelu 12.

Povezati C_5 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 12. Izračunati odgovarajuću vrednost C_5 i zapisati je u tabelu 12.

Povezati C_6 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 12. Izračunati odgovarajuću vrednost C_6 i zapisati je u tabelu 12.

Pitanja za razmišljanje:

1. Koji od opisanih metoda ima najveću, a koji najmanju rezoluciju?
2. Koji od metoda smatrate za najtačniji?
3. Kojim od metoda najbrže dolazite do rezultata?
4. Ako bi vam u praksi bila dostupna oprema kao u laboratoriji, koji metod biste izabrali za merenje nepoznate kapacitivnosti?
5. Da li je primena dekadne ploče otpornosti popravila rezoluciju i rezultat? Zašto?
6. Možete li da predložite promenu u kolu koja bi omogućila povećanje rezolucije merenja pomoću dekadne ploče otpornosti?

1.4.5 Maksvelov most za merenje induktivnosti

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-9/d`.

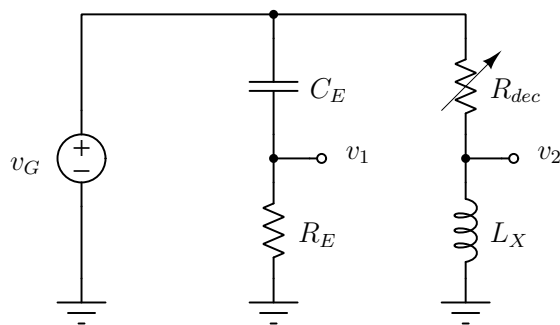
Povezati kolo sa slike 9 u kome je $C_E = 10$ nF, $R_E = 1$ k Ω , R_{dec} je dekadna ploča otpornosti, L_X je crni kalem nepoznate induktivnosti. Podesiti generator signala tako da oblik signala bude sinusoidalni, efektivna vrednost napona 1 V, frekvencija 5 kHz. Na kanal 1 osciloskopa dovesti v_1 , na kanal 2 osciloskopa dovesti v_2 . Podelu naponske ose držati da bude ista na oba kanala.

Maksvelov most je u ravnoteži kada je

$$L_X = C_E R_E R_{dec}$$

Promenom R_{dec} dovesti most u ravnotežu. Kao pomoć, koristiti merenja efektivne vrednosti napona. Snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py Maxwell-5kHz`



Slika 9: Maksvelov most.

- . Izračunati induktivnost kalema L_X i zapisati dobijenu vrednost

$L_X =$ _____ .

Promeniti frekvenciju generatora na 10 kHz. Dovedi most u ravnotežu i snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py Maxwell-10kHz`

.

Promeniti frekvenciju generatora na 1 kHz. Dovedi most u ravnotežu i snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py Maxwell-1kHz`

.

Promeniti amplitudu napona na generatoru na 2 V. Dovedi most u ravnotežu i snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py Maxwell-2V`

.

Promeniti amplitudu napona na generatoru na 5 V. Dovedi most u ravnotežu i snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py Maxwell-5V`

.

Pitanja za razmišljanje:

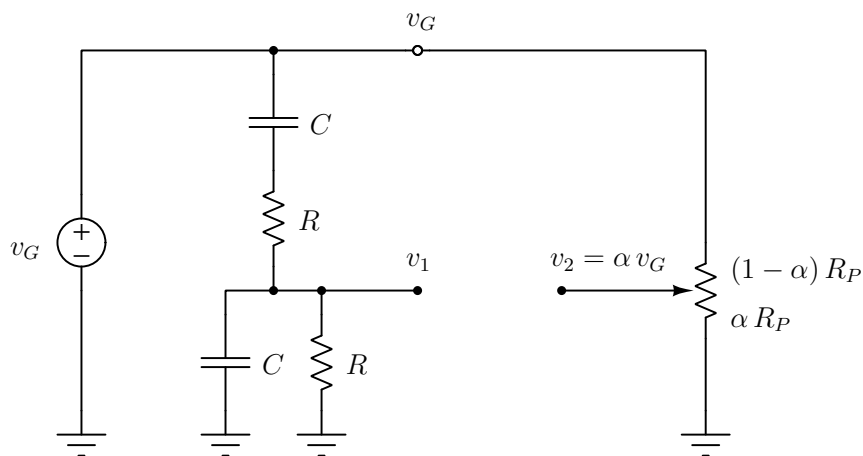
1. Da li ravnoteža Maksvelovog mosta zavisi od frekvencije?
2. Da li ravnoteža Maksvelovog mosta zavisi od amplitude napona pobudnog generatora?

1.4.6 Vinov most za merenje frekvencije

Postaviti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-9/e`.

Na slici 10 je prikazan Vinov most koji ima frekvencijski zavisani uslov ravnoteže. Ako uočimo da su naponi v_G i v_2 proporcionalni, dakle sa istim faznim stavom, ravnotežu mosta je moguće postići samo kada su v_G i v_1 u fazi. Ovo omogućava da se sa opremom kojom raspolažemo ravnoteža mosta ustanovi samo posmatranjem faze napona v_G i v_1 , pa potencijometar ne treba povezivati u kolo.

Povezati kolo sa slike 10 koristeći $R = 1 \text{ k}\Omega$ i $C = 100 \text{ nF}$, bez povezivanja potencijometra. Povezati osciloskop tako da se na kanalu 1 prikaže v_1 , a na kanalu 2 prikaže v_G . Podesiti



Slika 10: Vinov most.

podelu naponske ose osciloskopa da bude ista na oba kanala. Podesiti efektivnu vrednost napona generatora na 1 V. Promenom frekvencije generatora dovesti napone v_G i v_1 u fazu. **Za promenu frekvencije generatora koristiti pristup generatoru preko *Firefox*-a, kako je obrađeno u vežbi 3.** Zapisati frekvenciju

$f =$ _____ .

Obezbediti da merenja na osciloskopu budu efektivna vrednost napona na kanalu 1, frekvencija na kanalu 1 i efektivna vrednost napona na kanalu 2. Dokumentovati merenje snimanjem slike pokretanjem programa

python getfig.py

. Na osnovu merenja sa snimljenog dijagrama, izračunati vrednosti α i p potencijometra koje bi uravnotežile most

$\alpha =$ _____

$p =$ _____ .

Ako je ostalo vremena do kraja vežbe, povežite i potencijometar, uravnotežite most, dokumentujte merenje pokretanjem programa

python getfig.py extra_credit

.

1.4.7 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum vezba-9 i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita .