



**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**



STUDIJSKI PROGRAM:	<i>ELEKTRONIKA, TELEKOMUNIKACIJE I RAČUNARI</i>
PREDMET:	<i>MJERENJA U ELEKTRONICI</i>
FOND ČASOVA:	<i>2+1+0.5</i>

LABORATORIJSKA VJEŽBA BROJ 1

NAZIV: **Mostovi za neizmjeničnu struju**

CILJEVI VJEŽBE:

- mjerenje induktiviteta Maxwellovim mostom,
- upoređenje rezultata mjerenja sa označenim vrijednostima induktiviteta,
- mjerenje kapaciteta Wienovim mostom,
- upoređenje rezultata mjerenja sa označenim vrijednostima kapacitivnosti,
- mjerenje frekvencije Robinsonovim mostom,
- upoređenje rezultata mjerenja sa zadatiom vrijednosti učestanosti,

POTREBAN PRIBOR:

- kalkulator,
- lenjir.

IME I PREZIME: _____.

BROJ INDEKSA: _____.

BROJ POENA:	
OVJERAVA:	
DATUM:	

1. APARATURA

Na raspolaganju su sljedeći uređaji i oprema:

1. Tongenerator,
2. Potenciometar $50\text{K}\Omega$,
3. Telefonske slušalice,
4. Etalon induktiviteta 0.1H ,
5. Nepoznati induktivitet,
6. Etalon kapaciteta 500nF ,
7. Nepoznati kapacitet,
8. Dekadne kutije otpornika i
9. Dekadne kutije kondezatora

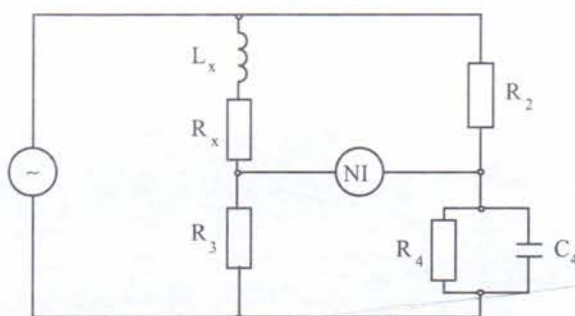


2. TEORIJSKA OSNOVA LABORATORIJSKE VJEŽBE

2.1 Mjerenje induktiviteta Maxwellovim mostom

Ekvivalentna šema kalema bez jezgra čiji je Q -faktor relativno mali prikazuje se rednom vezom otpornika otpora R_x i induktiviteta L_x , dok se za kalemove sa jezgrom (prigušnice, navoji elektromagneta i dr.), koji imaju znatno veći Q -faktor, prikazuje paralelnom vezom otpora R_x i induktiviteta L_x . Maxwellovim mostom mjeri se nepoznati induktivitet kalema sa relativno malim Q -faktorom (slika 1.2.). Vrijednost induktiviteta kalema L_x dobija se pomoću poznate vrijednosti kapaciteta kondenzatora. Impedanse pojedinih grana mosta su: $Z_1 = R_x + j\omega L_x$, $Z_2 = R_2$, $Z_3 = R_3$

$$\text{ i } Z_4 = \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4}$$



Slika 2.1. Električna šema

U trenutku ravnoteže mosta važi

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4} \quad L_x = C_4 R_2 R_3$$

Na uslove ravnoteže mosta ne utiče frekvencija. Za promjenljive elemente mosta koriste se C_4 i R_4 , međutim iz praktičnih razloga ovaj most se pretežno dovodi u ravnotežu promjenama otpora R_4 i otpora R_2 ili R_3 .

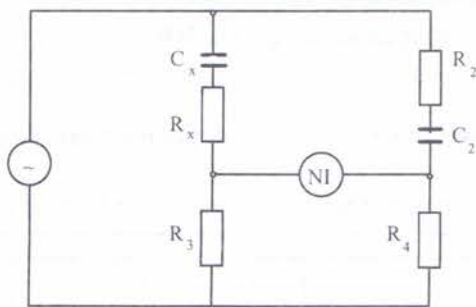
2.2 Mjerenje kapaciteta Wienovim mostom

Mostne metode mjerenja kapaciteta omogućavaju ne samo poredjenje nepoznatog i poznatog kapaciteta kondenzatora, već i određivanje razlike ugla gubitaka jednog i drugog kondenzatora. Šema Wienovog mosta prikazana je na slici 2.2. Ukupni gubici kondenzatora čiji se kapacitet mjeri predstavljeni su rednom vezom otpornika otpora R_x i kondenzatora kapaciteta C_x .

U drugoj grani mosta nalazi se etalonski kondenzator tačno poznatog kapaciteta C_2 u seriji sa promjenljivim otpornikom otpora R_2 . U trećoj i četvrtoj grani mosta nalaze se otpornici otpora R_3 i R_4 .

Pri ravnoteži mosta, koristeći opštu jednačinu za ravnotežu mosta $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$, vrijedi

$$\left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_2} \right) R_3 = \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) R_4$$



Slika 2.2. Električna šema

Nakon izvršenog množenja i odvajanja realne od imaginarne komponente, dobija se

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}, \quad C_x = \frac{C_2 R_4}{R_3}$$

Pri fiksnom odnosu otpora R_3 i R_4 Wienov most se dovodi u ravnotežu podešavanjem kondenzatora kapaciteta C_2 i otpornika otpora R_2 , pri čemu su ova dva elementa međusobno nezavisna.

2.3. Mjerenje frekvencije Robinsonovim mostom

Za mjerenje frekvencije na području tonskih i visokih frekvencija upotrebljava se Robinsonov most, čija je šema prikazana na slici 2.3.

U prvoj grani mosta nalazi se serijska kombinacija otpornika otpora R_1 i kondenzatora kapaciteta C_1 . U drugoj grani mosta nalazi se paralelna kombinacija otpornika otpora R_2 i kondenzatora kapaciteta C_2 . U trećoj i četvrtoj grani nalaze se otpornici otpora R_3 i R_4 .

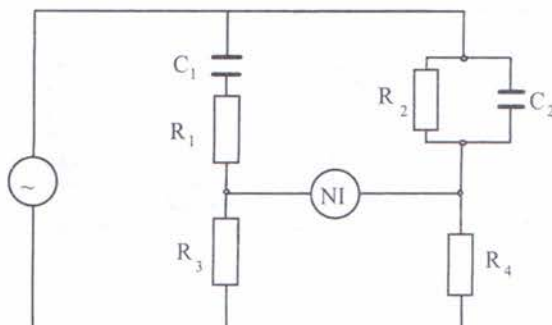
Kada je most u ravnoteži važi

$$R_4 \left(R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right) = \frac{R_2 R_3}{1 + j\omega C_2 R_2}$$

Nakon množenja i odvajanja realnih od imaginarnih komponenti, dobija se

$$\omega^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad \text{i} \quad R_1 R_4 + \frac{R_2 R_4 C_2}{C_1} = R_2 R_3$$

Ukoliko je $R_1 = R_2 = R$ i $C_1 = C_2$ u trenutku ravnoteže važi $f_x = 1/2\pi RC$ i $R_3 = 2R_4$.



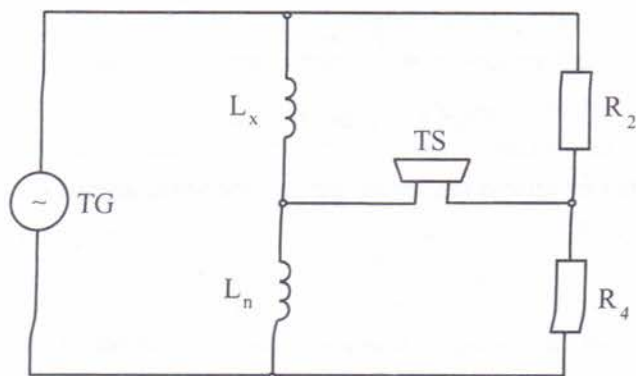
Slika 2.3. Električna šema

Ravnotežu na mostu postižemo mijenjanjem otpora R_1 i R_2 , ali tako da su im vrijednosti stalno iste (istovremeno podešavanje).

3. ZADACI LABORATORIJSKE VJEŽBE

3.1. Pomoću Maxwell-ovog mosta izmjeriti nepoznate induktivitete.

1) Upotrebom raspoložive opreme realizovati električno kolo sa slike



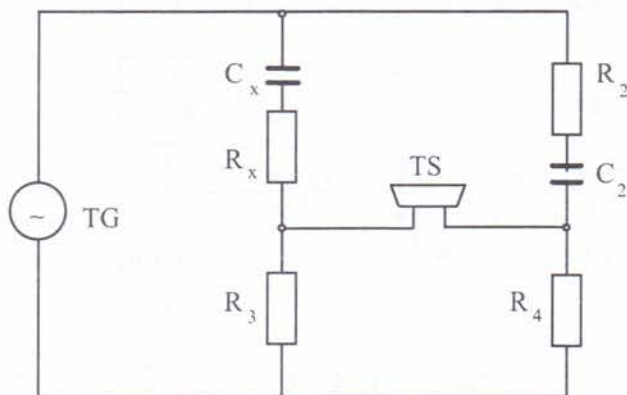
2) Pomjeranjem klizača na potencijometru (podešavanjem odnosa R_2/R_4) dovesti most u ravnotežu (struja u glavnoj dijagonali mosta jednaka je nuli), što se registruje odsustvom zvuka u telefonskim slušalicama.

3) Rezultate mjerenja upisati u tabelu

Redni br.	$R_2[\Omega]$	$R_4[\Omega]$	R_2/R_4	$L_n[H]$	$L_x=(R_2/R_4)L_n [H]$

3.2. Pomoću Wien-ovog mosta izmjeriti nepoznate kapacitete.

1) Upotrebom raspoložive opreme realizovati električno kolo sa slike



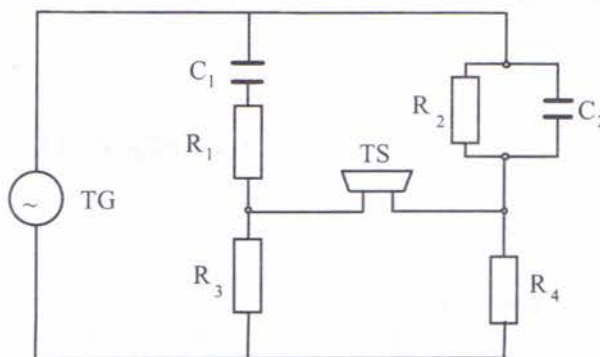
2) Pomjeranjem klizača na potenciometru (podešavanjem odnosa R_4/R_3) dovesti most u ravnotežu (struja u glavnoj dijagonali mosta jednaka je nuli), što se registruje odsustvom zvuka u telefonskim slušalicama.

3) Rezultate mjerenja upisati u tabelu

redni br.	$R_3[\Omega]$	$R_4[\Omega]$	R_4/R_3	$C_2[\text{nF}]$	$C_x=(R_4/R_3)C_2 [\text{nF}]$

3.3. Pomoću Robinson-ovog mosta izmjeriti frekvenciju napona kojim se napaja most.

1) Upotrebom raspoložive opreme realizovati električno kolo sa slike



2) Podešavanjem otpora R_1 , R_2 dovesti most u ravnotežu (struja u glavnoj dijagonali mosta jednaka je nuli), što se registruje odsustvom zvuka u telefonskim slušalicama. Pri tome, mora biti ispunjeno: $R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C$, $R_3=2R_4$. Tada se mjerena frekvencija izračunava po formuli: $f=1/(2\pi RC)$.

3) Rezultate mjerenja:

$$f = \underline{\hspace{2cm}}$$

	UNIVERZITET CRNE GORE ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	
STUDIJSKI PROGRAM:	<i>ELEKTRONIKA, TELEKOMUNIKACIJE I RAČUNARI</i>	
PREDMET:	<i>MJERENJA U ELEKTRONICI</i>	
FOND ČASOVA:	<i>2+1+0.5</i>	

LABORATORIJSKA VJEŽBA BROJ 2

NAZIV:	MJERENJE NAPONA
CILJEVI VJEŽBE: - pretvaranje napona u frekvenciju (analogno digitalni konvertor), - mjerenje efektivne vrijednosti napona primjenom punotalasnog ispravljača i ampermetra sa kretnim kalemom,	
POTREBAN PRIBOR: - kalkulator, - lenjir.	

IME I PREZIME: _____.

BROJ INDEKSA: _____.

BROJ POENA:	
OVJERAVA:	
DATUM:	

1. APARATURA

Na raspolaganju su sljedeći uređaji i oprema:

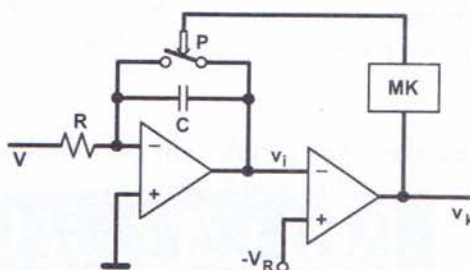
1. Osciloskop,
2. Frekvencmetar,
3. Izvor ulaznog napona,
4. Izvor za napajanje pretvarača napona u frekvenciju,
5. Izvor naizmjeničnog ulaznog napona,
6. Ampermetar sa kretnim kalemom,
7. Eksperimentalna pločica na kojoj je povezan pretvarač napona u frekvenciju,
8. Eksperimentalna pločica na kojoj je povezano kolo za mjerenje efektivne vrijednosti napona primjenom punotalasnog ispravljača i ampermetra sa kretnim kalemom i
9. Voltmetar sa kretnim kalemom.



2. TEORIJSKA OSNOVA LABORATORIJSKE VJEŽBE

2.1 Pretvaranje napona u frekvenciju (analogno-digitalni konvertor)

Veoma često je poželjno da se određeni analogni napon pretvori u povorku takt impulsa čija je frekvencija proporcionalna vrijednosti datog napona. Sklopovi koji vrše takvu konverziju nazivaju se konvertori napona u frekvenciju. Jedna moguća realizacija takvog konvertora data je na slici 1.

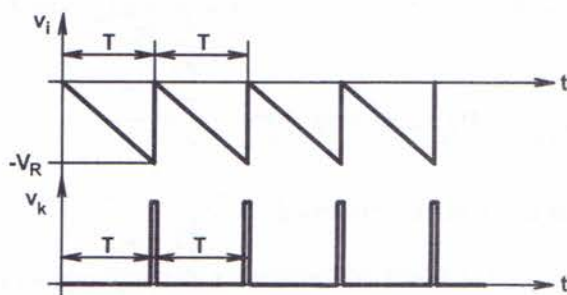


Slika 1. Konvertor napona u frekvenciju.

Sa MK označeno je monostabilno kolo, dok je sa P označen bilateralni prekidač. Na ulaz kola se dovodi napon V , čiju konverziju treba obaviti. Na izlaz v_i generiše se linearni naponski oblik (vidi generatore linearne vremenske baze) dat relacijom

$$v_i = -\frac{V}{RC}t \quad (1)$$

Obzirom da se ovaj napon dovodi na "-" ulaz komparatora, te kako je na njegov "+" ulaz priključen napon $-V_R$, to će na izlazu komparatora biti logička nula sve dok napon v_i ne padne ispod vrijednosti $-V_R$. Tada napon na "+" ulazu komparatora postaje veći od napona na njegovom "-" ulazu, pa se na izlazu komparatora dobija naponski nivo logičke jedinice. Promjena napona na izlazu komparatora, sa nivoa logičke nule na nivo logičke jedinice, predstavlja okidni impuls za monostabilni multivibrator MK , koji na svom izlazu generiše impuls kojim se prekidač P zatvara. Trajanje impulsa na izlazu MK treba da bude toliko da drži prekidač zatvorenim dok se kondenzator ne isprazni. Kako se kondenzator prazni preko prekidača (veoma male otpornosti) to pražnjenje kratko traje. Kad se kondenzator isprazni, napon v_i opet postaje nula, pa i na izlazu komparatora napon pada sa nivoa logičke jedinice na nivo logičke nule. Po završetku trajanja kratkog impulsa na izlazu MK kola, prekidač je ponovo otvoren, te se napon v_i ponovo mijenja po relaciji (1). Ponovo, kad dostigne vrijednost $-V_R$, sve se ponavlja. Talasni oblici napona v_i i napona na izlazu komparatora v_k dati su na slici 2.



Slika 2. Oblici napona kod konvertora napona u frekvenciju: a) v_i ; b) v_k .

Za sliku 2 pretpostavili smo da se kondenzator praktično trenutno prazni. Sa slike se vidi da je perioda impulsa (u tački v_k) jednaka vremenu T za koje napon v_i dostigne vrijednost $-V_R$, odnosno

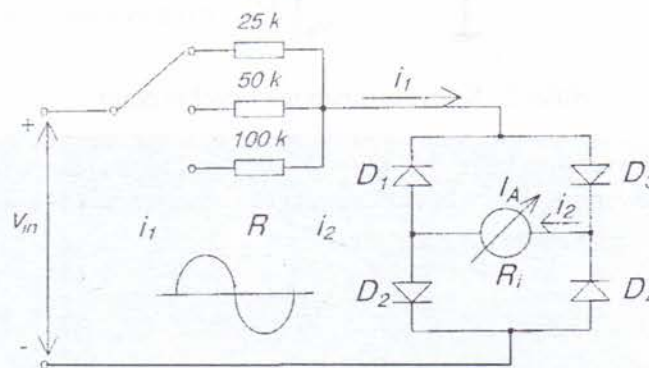
$$-\frac{V}{RC}T = -V_R \Rightarrow T = \frac{RC}{V}V_R. \quad (2)$$

Iz prethodnog izraza slijedi da je frekvencija impulsa v_k data sa

$$f = \frac{1}{T} = \frac{V}{V_R RC} \Rightarrow V = k f \quad (3)$$

odakle se vidi da je ulazni napon V direktno proporcionalan frekvenciji impulsa na izlazu komparatora, pri čemu je k konstanta proporcionalnosti.

2.2 Mjerenje efektivne vrijednosti napona primjenom punotalasnog ispravljača i ampermetra sa kretnim kalemom.



Slika 3. Električna šema kola

Za kolo sa slike 3 poznato je

$$v_{IN} = V_m \sin \omega t. \quad (1)$$

Na osnovu (1) slijedi da je

$$i_1 = I_m \sin \omega t. \quad (2)$$

Diode sa slike 5 formiraju punotalasni ispravljač pa je

$$i_2 = I_m |\sin \omega t| \quad (3)$$

Na osnovu (3) lako se zaključuje da se pokazivanje ampermetra može opisati formulom:

$$I_A = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i_2(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m \Leftrightarrow I_m = \frac{\pi}{2} I_A \quad (4)$$

Sa slike 5 se vidi da je

$$v_{IN} = Ri_1 + R_i i_2 + 2E_D \quad (5)$$

Pri čemu je E_D pad napona na direktno polarisanoj diodi.

Na osnovu (5) lako se pokazuje da je efektivna vrijednost ulaznog napona jednaka

$$V_{INeff} = \sqrt{(R + R_i)^2 \frac{\pi^2 I_A^2}{8} + 4E_D^2} \quad (6)$$

3. ZADACI LABORATORIJSKE VJEŽBE

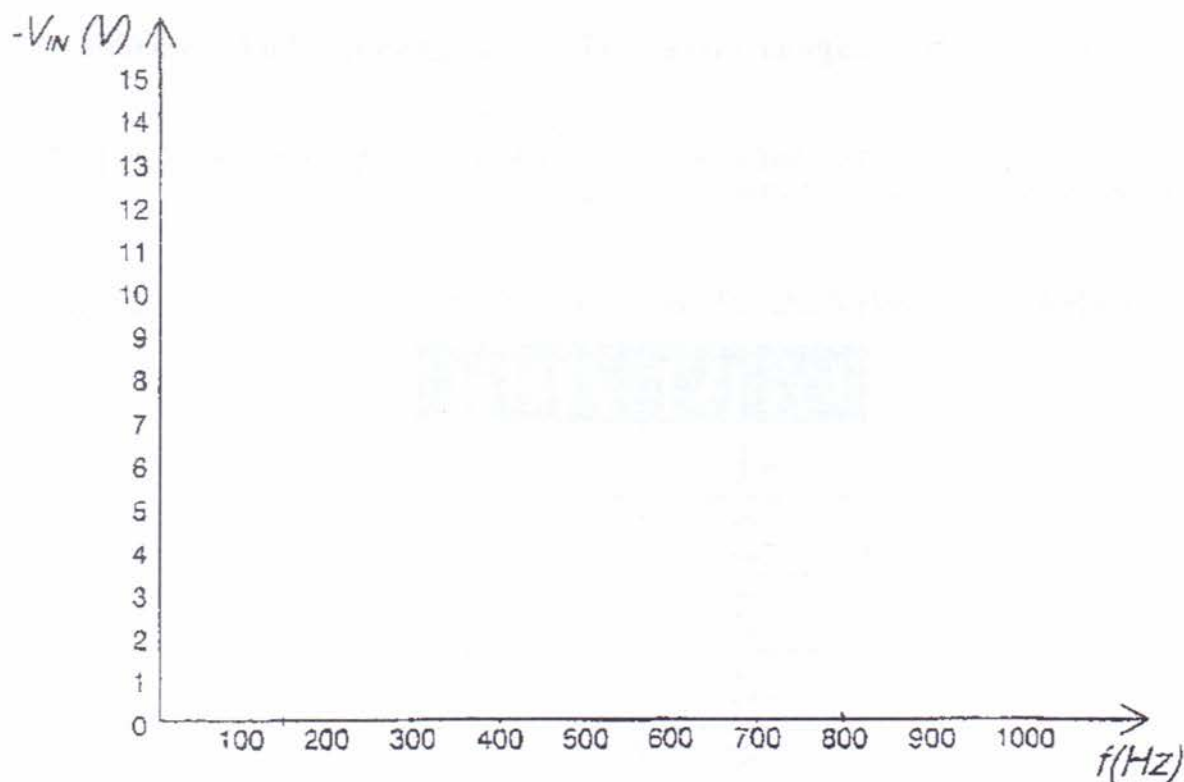
3.1. Pretvaranje napona u frekvenciju (analogno-digitalni konvertor)

1) Podešavanjem ulaznog napona na svaku vrijednost navedenu u zadatku, izvršiti mjerenje frekvencije signala na izlazu pretvarača.

2) Dobijene vrijednosti upisati u tabelu rezultata mjerenja.

V_{IN} [V]	f [Hz]
-1	
-2	
-3	
-4	
-5	
-6	
-7	
-8	
-9	
-10	
-11	
-12	
-13	
-14	
-15	

3) Nacrtati prenosnu karakteristiku koju zadatak zahtijeva.



3.2. Mjerenje efektivne vrijednosti napona primjenom punotalasnog ispravljača i ampermetra sa kretnim kalemom.

1) Prebaciti prekidač u položaj u kome je u kolo uključen otpornik $25\text{k}\Omega$. Za vrijednosti ulaznog napona 5V, 10V, 15V, 20V i 25V očitati pokazivanje ampermetra (I_A). Prema jednačinama (4) i (6), za svaku očitenu vrijednost izračunati I_m i V_{INeff} .

2) Dobijene vrijednosti upisati u tabelu rezultata mjerenja:

R [$\text{k}\Omega$]	E_D [V]	U_{INeff} [V]	R_i [Ω]	I_A [mA]	I_m [mA]	V_{INeff} [V]
25	0.7	5	300			
25	0.7	10	300			
25	0.7	15	300			
25	0.7	20	300			
25	0.7	25	300			

3) Prebaciti prekidač u položaj u kome je u kolo uključen otpornost $50\text{k}\Omega$. Za vrijednosti ulaznog napona 10V, 20V, 30V, 40V i 50V očitati pokazivanje ampermetra (I_A). Prema jednačinama (4) i (6), za svaku očitenu vrijednost izračunati I_m i V_{INeff} .

4) Dobijene vrijednosti upisati u tabelu rezultata mjerenja:

R [k Ω]	E_D [V]	U_{INeff} [V]	R_i [Ω]	I_A [mA]	I_m [mA]	V_{INeff} [V]
50	0.7	10	300			
50	0.7	20	300			
50	0.7	30	300			
50	0.7	40	300			
50	0.7	50	300			

5) Prebaciti prekidač u položaj u kome je u kolo uključen otpornost 100k Ω . Za vrijednosti ulaznog napona 20V, 40V, 60V, 80V i 100V očitati pokazivanje ampermetra (I_A). Prema jednačinama (4) i (6), za svaku očitenu vrijednost izračunati I_m i V_{INeff} .

6) Dobijene vrijednosti upisati u tabelu rezultata mjerenja:

R [k Ω]	E_D [V]	U_{INeff} [V]	R_i [Ω]	I_A [mA]	I_m [mA]	V_{INeff} [V]
100	0.7	20	300			
100	0.7	40	300			
100	0.7	60	300			
100	0.7	80	300			
100	0.7	100	300			

	UNIVERZITET CRNE GORE ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET	
STUDIJSKI PROGRAM:	<i>ELEKTRONIKA, TELEKOMUNIKACIJE I RAČUNARI</i>	
PREDMET:	<i>MJERENJA U ELEKTRONICI</i>	
FOND ČASOVA:	<i>2+1+0.5</i>	

LABORATORIJSKA VJEŽBA BROJ 3

NAZIV:	Mjerenje pomoću osciloskopa
CILJEVI VJEŽBE: - Posmatranje vremenski promjenjivih napona, - Mjerenje periode sinusnog signala pomoću osciloskopa, - Mjerenje parametre sinusnog signala, - Mjerenje fazne razlike u R-C kolu,	
POTREBAN PRIBOR: - kalkulator, - lenjir.	

IME I PREZIME: _____.

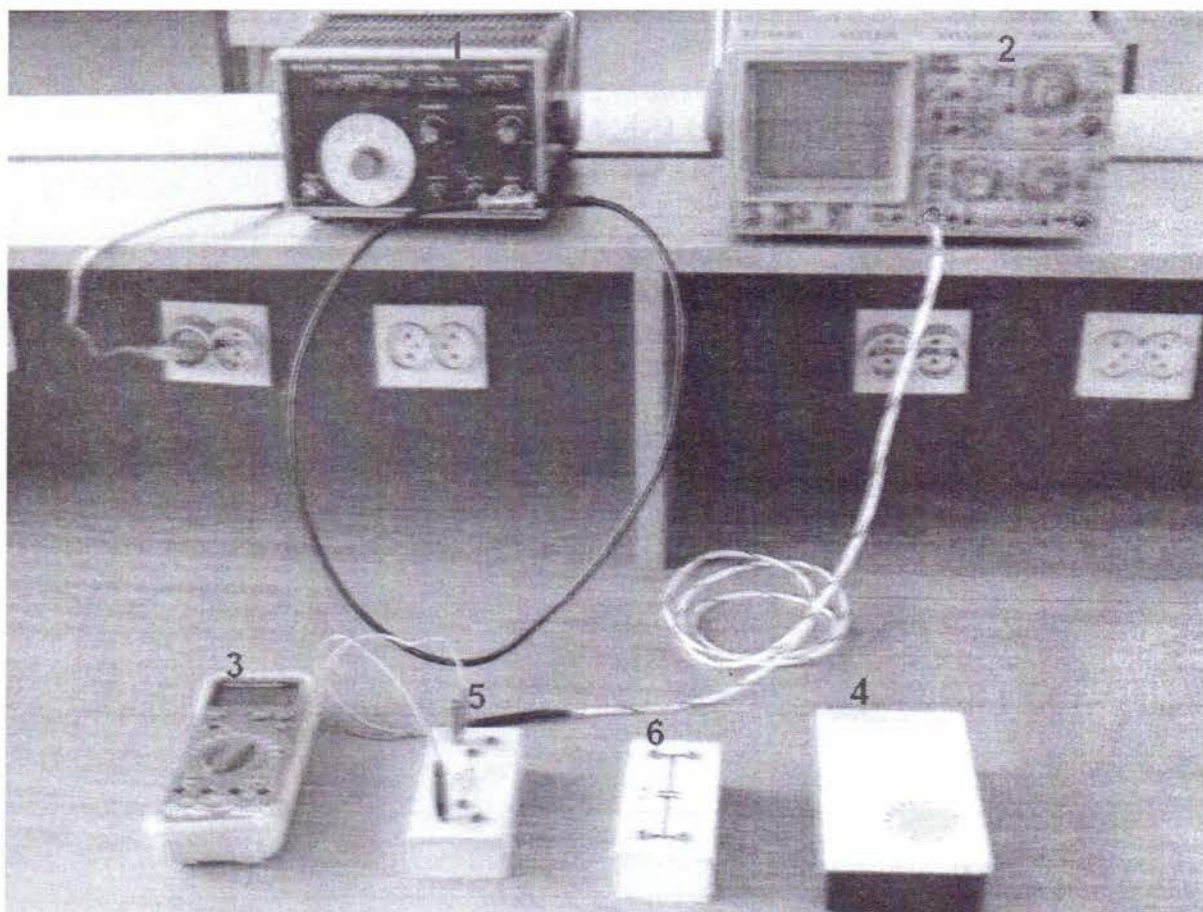
BROJ INDEKSA: _____.

BROJ POENA:	
OVJERAVA:	
DATUM:	

1. APARATURA

Na raspolaganju su sljedeći uređaji i oprema:

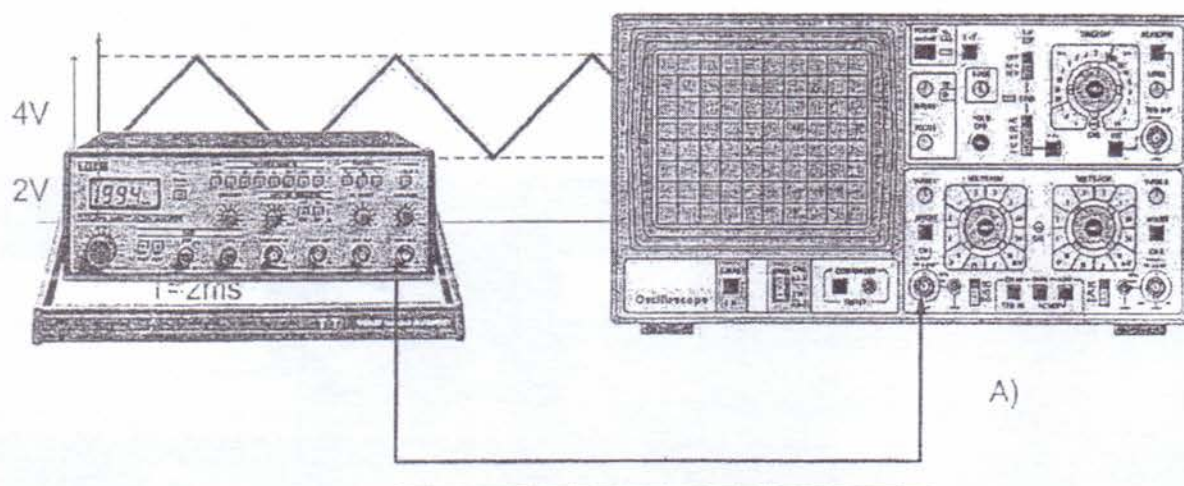
1. Funkcijski generator,
2. Osciloskop,
3. Digitalni multimetar,
4. Voltmetar sa kretnim kalemom,
5. Otpornik 10Ω i
6. Kondenzator $1\mu\text{F}$.



3. ZADACI LABORATORIJSKE VJEŽBE

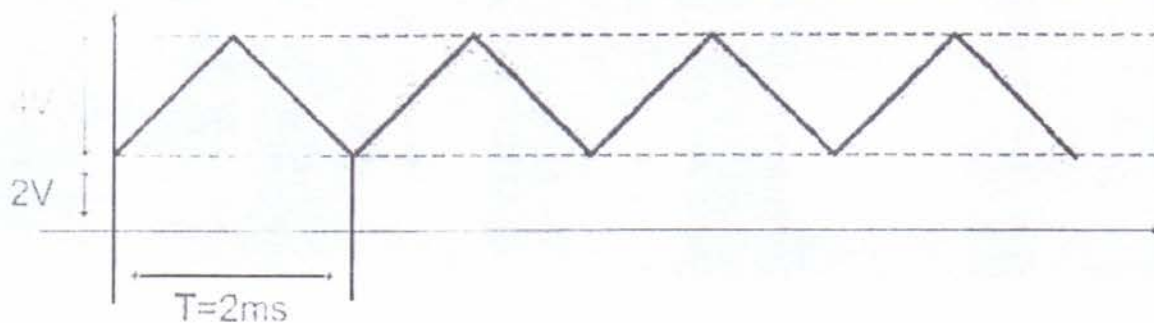
3.1. Posmatranje vremenski promjenjivih napona.

- 1) Na izlaz generatora signala priključiti osciloskop (Slika 3.1)



Slika 3.1 Povezivanje funkcijskog generatora i osciloskopa

- 2) Mijenjati oblik frekvenciju i amplitudu ulaznog napona i posmatrati talasne oblike na osciloskopu.
- 3) Podesiti napon na izlazu ton generatora oblika datog na Slici 3.2.



Slika 3.2 Oblik napona na izlazu iz funkcijskog generatora

3.2. Mjerenje periode sinusnog signala pomoću osciloskopa.

1) Na izlaz generatora priključiti osciloskop i frekvencimetar. U slučaju da ton generator posjeduje digitalni prikaz frekvencije koristiti podatke sa ton generatora.

2) Izmjeriti period T_m sinusnog signala pomoću osciloskopa i izračunati frekvenciju signala $f_m = 1/T_m$. Izračunati relativnu grešku prikazivanja (podešavanja) frekvencije na generatoru G :

$$G = (f_m - f) * 100\% / f = \underline{\hspace{2cm}}$$

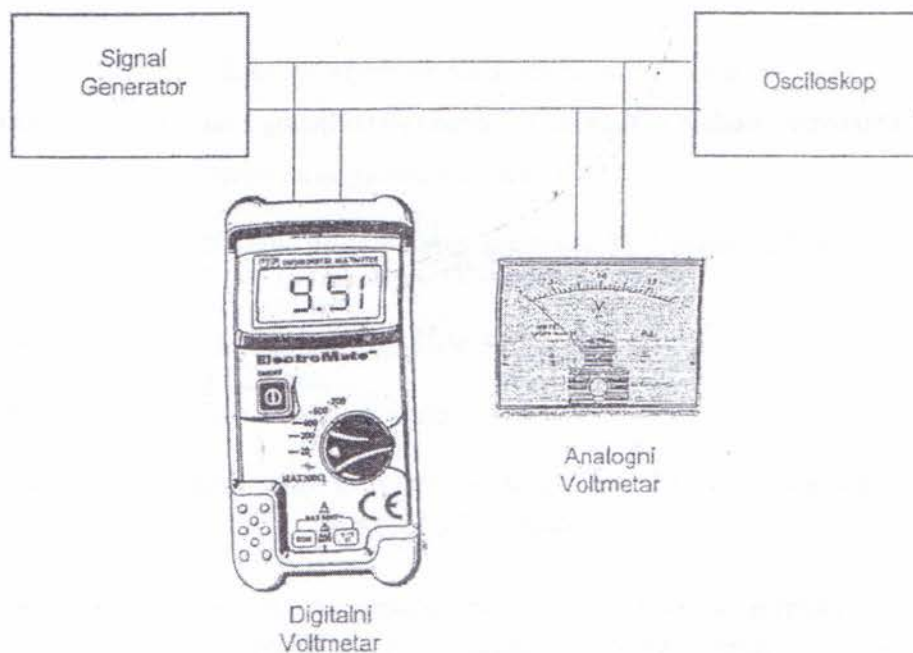
Gdje je f_m izmjerena, a f vrijednost frekvencije podešene na generatoru signala. Rezultate upisati u Tabelu 1..

3) Ponoviti postupak iz tačke 2) za učestanosti ulaznog signala date tabelom. Rezultate mjerenja upisati u tabelu

f [kHz]	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
T_m [ms]										
f_m [kHz]										
G [%]										

3.3. Mjerenje parametre sinusnog signala.

1) Spojiti mjerne instrumente i pribor kao što je prikazano na Slici 3.3



Slika 3.3

2) Priključiti osciloskop, digitalni i analogni voltmetar na sinusni izlaz generatora $u(t) = U_{max} \sin \omega t$. Podesiti frekvenciju izlaznog signala na 50Hz i amplitude 5V.

3) Pomoću osciloskopa izmjeriti vršnu (maksimalnu) vrijednost U_{max} i period T , a izračunati efektivnu vrijednost U_{ef} , srednju vrijednost U_{sr} dvostrano ispravljenog sinusnog signala i kružnu frekvenciju ω .

4) Pomoću analognog voltmetra izmjeriti U_{ef} , a izračunati U_{max} i U_{sr} dvostrano ispravljenog sinusnog signala.

5) Pomoću digitalnog voltmetra izmjeriti U_{ef} , a izračunati U_{max} i U_{sr} dvostrano ispravljenog sinusnog signala.

6) Izmjerene vrijednosti upisati u osijenčene, a izračunate vrijednosti u neosijenčene ćelije tabele.

Parametar Instrument	U_{max} [V]	U_{ef} [V]	U_{sr} [V]	T [s]	f [Hz]	ω [rad/s]
Osciloskop						
Analogni voltmetar						
Digitalni voltmetar						

Napomena:

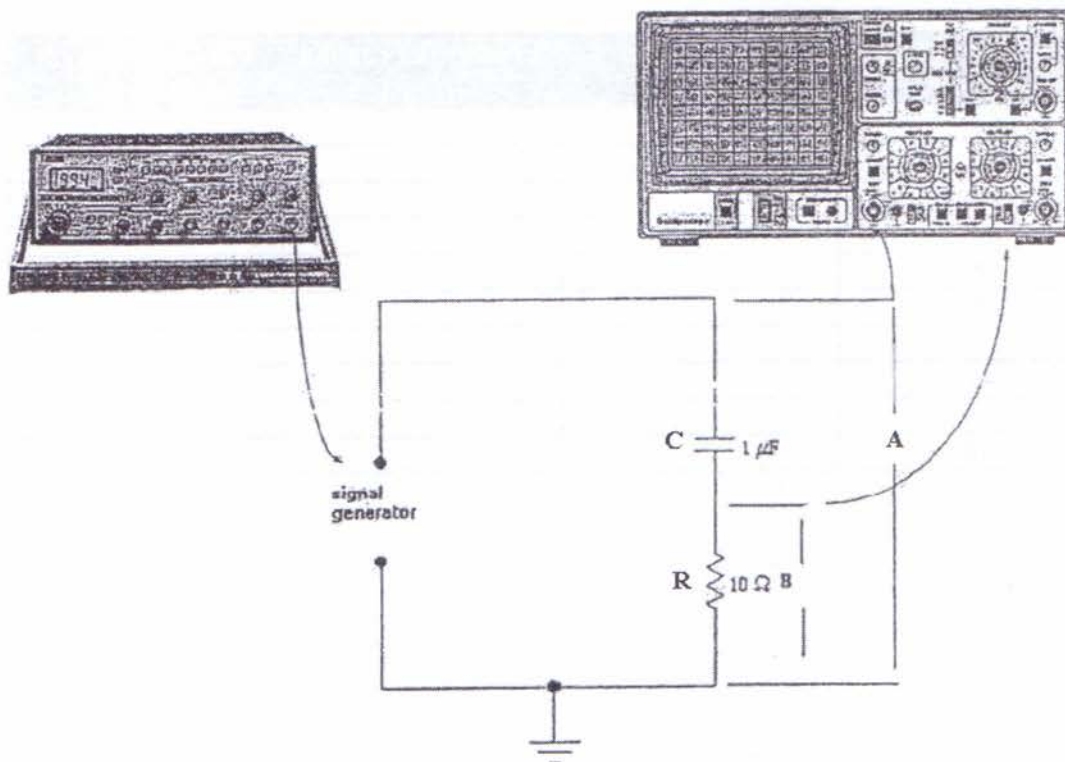
Između vršne, efektivne i srednje vrijednosti dvostrano ispravljenog sinusnog signala postoji relacija.

$$U_{max} = \pi \frac{U_{sr}}{2},$$

$$U_{max} = \sqrt{2} U_{eff}$$

3.4 Mjerenje fazne razlike u R-C kolu.

1) Spojiti kolo prema slici 3.4.



Slika 3.4 Mjerenje fazne razlike u R-C kolu.

- 2) Povezati sonde osciloskopa na odgovarajuće tačke. (Slika 3.4).
- 3) Podesiti signal generator tako da daje signal amplitude 5V i 5kHz. Podesiti kontrole osciloskopa na: "Time/Div" 0.05 ms/div, ChA 5V/div, ChB 2V/div.
- 4) Pomoću osciloskopa izmjeriti:
 - (1) Periodu T jednog od talasa.
 - (2) Vremensku razliku t između dva talasa
- 5) Naći faznu razliku između struje kroz otpornik (impedansu RC) i ulaznog napona kao:

$$\phi = (t/T) \cdot 2\pi [\text{radiana}]$$

- 6) Teorijski izračunati faznu razliku između struje i napona, koristeći formulu:

$$\phi_i = \arctan(X_c / R) = \arctan(1 / 2\pi f RC) [\text{radiana}]$$

- 7) Naći grešku mjerenja:

$$G = \frac{\phi_i - \phi}{\phi}$$

$$G = \underline{\hspace{2cm}}.$$

8) Koristeći donju tabelu približno skicirati funkciju $\phi = \phi(\omega)$ za R-C kolo dato na Slici 3.4.

Frekvencija (f) [kHz]	Period (T) [μ s]	Vremenska razlika (t) [μ s]	Fazna razlika (ϕ) [radiana]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			