

## 1. POKUS

## Mjerenje otpora Wheatstoneovim mostom sastavljenim iz elemenata

## Elementi na vježbi:

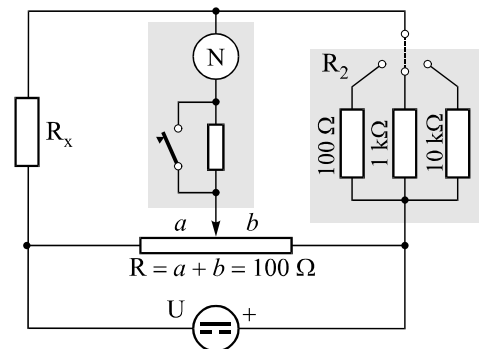
$R_2$  - stalak s preciznim otpornicima 100, 1000 i 10000  $\Omega$

$R_X$  - stalci s otpornicima nazivnih vrijednosti 2,2, 100 i 30000  $\Omega$

$R$  - potenciometar  $R = 100 \Omega$  kao klizna žica duljine  $(a+b) = 100 \Omega$  (skala ima 1000 dijelova, 0-999)

$N$  - nulindikator s ugrađenim predotporom i tipkom

$U$  - laboratorijski izvor napona 5 V, 5 A (istosmjerno)



## UPUTE ZA RAD

a) Mjerenje otpora nazivne vrijednosti 100  $\Omega$ 

1. Prema shemi na slici sastavite Wheatstoneov most. Za  $R_2$  odaberite najprikladniju vrijednost otpora. Ne uključujte izvor napona.
2. Pozovite demonstratora da pregleda spoj.
3. Uključite laboratorijski izvor napona. Potenciometrom  $R$  ugodite nulu na nulindikatoru. Pritiskom na tipke povećajte osjetljivost nulindikatora, te ponovo, sada još točnije ugodite nulu
4. Očitajte i zabilježite dijelove  $a$  i  $b$  na skali potenciometra te isključite izvor napona.
5. Izračunajte vrijednost  $R_X$  i odredite apsolutnu i postotnu pogrešku nazivne vrijednosti mjenenog otpornika. Pri tome izmjerenu vrijednost uzmite kao pravu vrijednost mjenenog otpornika.

b) Mjerenje otpora nazivne vrijednosti 2,2  $\Omega$ 

1. Ponovite postupak opisan u dijelu a) točke 1-4.
2. Prema izrazu MUE 6.9. izračunajte postotne granice pogrešaka mjenenog otpora zbog utjecaja netočnosti očitavanja. Granice pogrešaka netočnosti očitavanja " $b$ " na potenciometru su 2 d.sk.

c) Mjerenje otpora nazivne vrijednosti 30 k $\Omega$ 

1. Ponovite postupak opisan u dijelu a) točke 1-4.
2. Uz najveću osjetljivost nulindikatora pomičite kliznik potenciometra sve dok ne dobijete otklon nulindikatora 1 d.sk. na lijevo. Očitajte pripadni dio " $b$ " klizne žice i označite ga s " $b_1$ ". isto ponovite za otklon 1 d.sk. na desno. Vrijdnost " $b$ " označite u ovom slučaju s " $b_2$ ". Najmanja primjetna relativna promjena mjenenog otpora odnosno minimalna mjerna nesigurnost iznosi:

$$\delta_{\min} = \frac{a+b}{ab} \cdot \frac{|\Delta b|}{20} \quad \text{gdje je } \Delta b = b_1 - b_2$$

3. Usporedite ovako dobivenu vrijednost za  $\delta_{\min}$  s odgovarajućom vrijednošću izračunatom u pripremi za vježbu.
4. Raspožite mjerni sklop.

## 2. POKUS

## Mjerenje kapaciteta Scheringovim mostom

## Elementi na vježbi:

$C_X$  - uzorak vitroplasta i pertinaksa debljine 1 mm

$C_2$  - zračni kondenzator 2000 pF (zanemarivog kuta gubitaka)

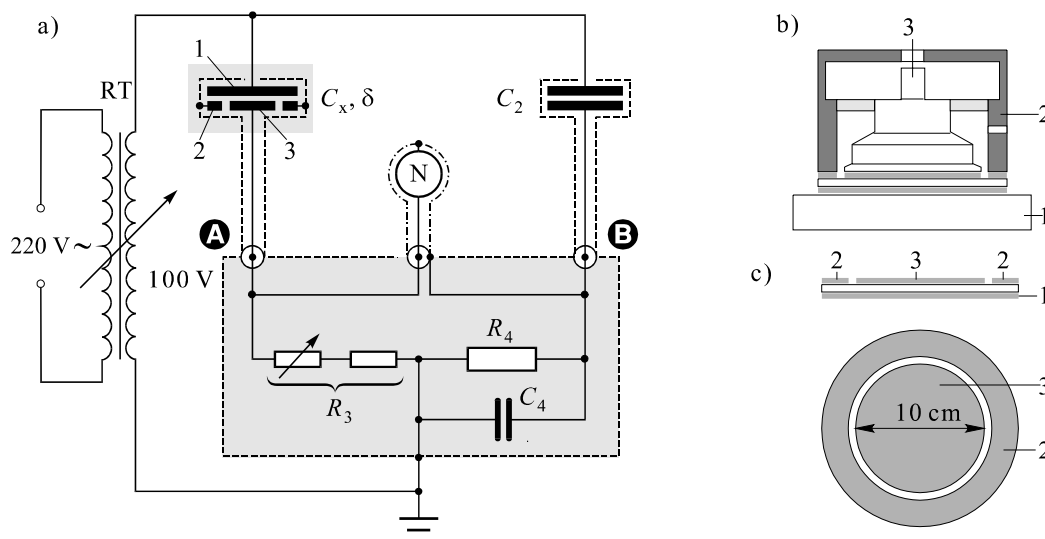
$R_3$  - potencijometar 20 k $\Omega$  i serijski dodan otpornik 10 k $\Omega$  (ugrađeni u kutiju)

$R_4$  - precizni otpornik 4 k $\Omega$  male vremenske konstante (ugrađeni u kutiju)

$C_4$  - kondenzatorska dekada (ugrađena u kutiju)

N - selektivni nulindikator za 50 Hz

RT - regulacijski transformator



## UPUTE ZA RAD

1. Prema shemi na slici a) pregledajte spoj Scheringovog mosta. Elementi u granama 3 i 4 smješteni su unutar kutije koja im služi kao oklop. Prilikom prespajanja pažljivo postupajte s osjetljivim oklopljenim vodovima.
2. Uzorak pertinaksa, na slici c), premazan je s gornje i donje strane srebrnim ili grafitnim vodljivim premazom kako bi se ostvarile elektrode 1, 2 i 3 mjernog kondenzatora. Uzorak je potrebno umetnuti u uređaj za mjerenje prema slici b). Gornjenaponska elektroda (1) uzorka i jedan kraj kondenzatora  $C_2$  neoklopljeni se spajaju na izvor napona. Donjenaponska elektroda (3) i drugi kraj kondenzatora  $C_2$  spajaju se oklopljenim vodovima na odgovarajuće točke A i B na mostu. Zaštitna elektroda (2) uzorka i zračnog kondenzatora  $C_2$  se uzemljuje odnosno spaja na oklop kutije. Kućište nulindikatora spojeno je na oklop njegova spojnog vodiča, a time i na točku B mosta; stoga treba voditi računa da se ono ne dodirne uzemljenih dijelova jer će se tako premostiti grana 4 i onemogućiti mjerenje. Isto tako potrebno je da iz nulindikatora bude izvučen mrežni kabel koji je potreban za punjenje ugrađenog akumulatora.

**OKRENITE!**

3. Pozovite demonstratora da pregleda spoj.
4. Osjetljivost nulindikatora postavite na 5 V, a kliznik regulacijskog transformatora na 0. Priključite i uključite regulacijski transformator, te postupno podižite napon napajanja do 100 V. Zakretanjem  $R_3$  ugodite minimalni otklon nulindikatora. Povećajte osjetljivost nulindikatora i konačno ugodite ravnotežu mosta (minimum pokazivanja nulindikatora) naizmjeničim ugađanjem  $R_3$  i  $C_4$ . Zabilježite vrijednosti  $R_3$  i  $C_4$ .
5. Isključite napajanje nulindikatora njegovom sklopkom. Napon regulacijskog transformatora smanjite na ništicu te ga isključite.
6. Ponovite postupak opisan u točkama 3 - 5 za uzorak od vitroplasta (materijal za izradu tiskanih pločica).
7. Isključite napajanje nulindikatora i odspojite regulacijski transformator. Ostale elemente na vježbi nemojte raspajati.
8. Iz podatka dobivenih mjerenjem i dimenzija uzorka izračunajte kut gubitaka  $\delta$  i dielektričke konstante materijala  $\varepsilon$  ( $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  F/m).

## 2. POKUS

## Mjerenje kapaciteta Scheringovim mostom

## Elementi na vježbi:

$C_X$  - uzorak vitroplasta i pertinaksa debljine 1 mm

$C_2$  - styroflex kondenzator 1500 pF (zanemarivog kuta gubitaka)

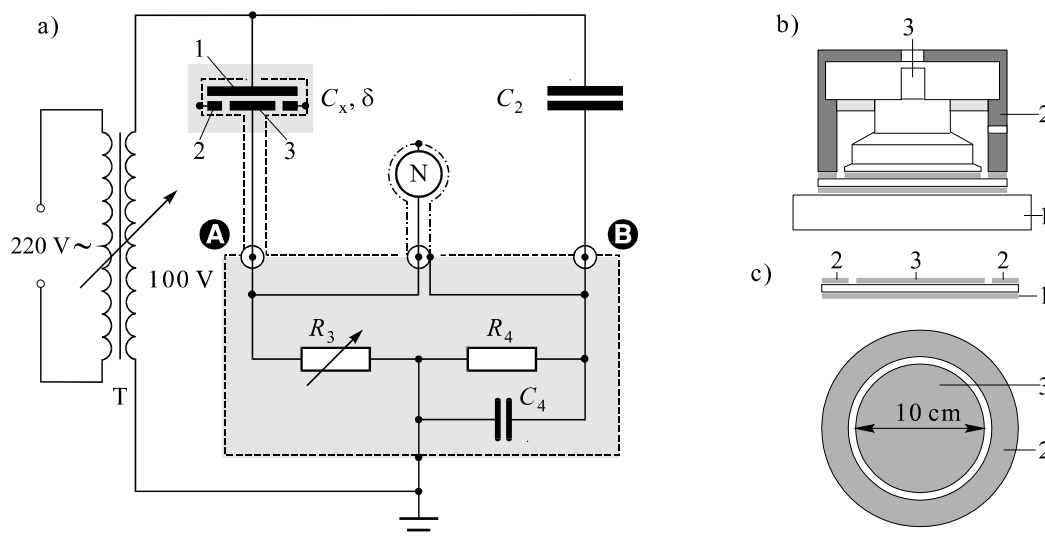
$R_3$  - potencijometar 20 k $\Omega$  (ugrađen u kutiju)

$R_4$  - precizni otpornik 4 k $\Omega$  male vremenske konstante (ugrađen u kutiju)

$C_4$  - kondenzatorska dekada (ugrađena u kutiju)

N - selektivni nulindikator za 50 Hz

RT - regulacijski transformator



## UPUTE ZA RAD

1. Prema shemi na slici a) pregledajte spoj Scheringovog mosta. Elementi u granama 3 i 4 smješteni su unutar kutije koja im služi kao oklop. Prilikom prespajanja pažljivo postupajte s osjetljivim oklopljenim vodovima.
2. Uzorak pertinaksa, na slici c), premazan je s gornje i donje strane srebrnim ili grafitnim vodljivim premazom kako bi se ostvarile elektrode 1, 2 i 3 mjernog kondenzatora. Uzorak je potrebno umetnuti u uređaj za mjerenje prema slici b). Gornjenaponska elektroda (1) uzorka i jedan kraj kondenzatora  $C_2$  neoklopljeni se spajaju na izvor napona. Donjenaponska elektroda (3) i drugi kraj kondenzatora  $C_2$  spajaju se oklopljenim vodovima na odgovarajuće točke A i B na mostu. Zaštitna elektroda (2) uzorka se uzemljuje odnosno spaja na oklop kutije. Kućište nulindikatora spojeno je na oklop njegova spojnog vodiča, a time i na točku B mosta; stoga treba voditi računa da se ono ne dodirne uzemljenih dijelova jer će se tako premostiti grana 4 i onemogućiti mjerenje. Isto tako potrebno je da iz nulindikatora bude izvučen mrežni kabel koji je potreban za punjenje ugrađenog akumulatora.

**OKRENITE!**

3. Pozovite demonstratora da pregleda spoj.
4. Osjetljivost nulindikatora postavite na 5 V, a kliznik regulacijskog transformatora na 0. Priključite i uključite regulacijski transformator, te postupno podižite napon napajanja do 100 V. Zakretanjem  $R_3$  ugodite minimalni otklon nulindikatora. Povećajte osjetljivost nulindikatora i konačno ugodite ravnotežu mosta (minimum pokazivanja nulindikatora) naizmjeničim ugađanjem  $R_3$  i  $C_4$ . Zabilježite vrijednosti  $R_3$  i  $C_4$ .
5. Isključite napajanje nulindikatora njegovom sklopkom. Napon regulacijskog transformatora smanjite na ništicu te ga isključite.
6. Ponovite postupak opisan u točkama 3 - 5 za uzorak od vitroplasta (materijal za izradu tiskanih pločica).
7. Isključite napajanje nulindikatora i odspojite regulacijski transformator. Ostale elemente na vježbi nemojte raspajati.
8. Iz podatka dobivenih mjerenjem i dimenzija uzorka izračunajte kut gubitaka  $\delta$  i dielektričke konstante materijala  $\varepsilon$  ( $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  F/m).

## 3. POKUS

**Mjerenje otpora, induktiviteta i kapaciteta univerzalnim RLC mostom tvorničke izvedbe****Elementi na vježbi:**

- $R_X$  - otpornici nepoznatog otpora 2 komada
- $C_X$  - kondenzator nepoznatog kapaciteta
- $L_X$  - zavojnica nepoznatog induktiviteta
- univerzalni RLC most ISKRA MA 4303

**UPUTE ZA RAD**

1. Na odgovarajuće stezaljke mosta, a u skladu s priloženom uputom za rukovanje mostom ISKRA MA 4303, priključite redom mjerene komponente, te pri odabranoj frekvenciji 1 kHz izmjerite njihove vrijednosti. Prije mjerenja detaljno proučite upute i prema njima pažljivo postupajte.
2. Izračunajte mjerne pogreške izmjerenih komponenata.

**Općenito o RLC mostu**

Ovim mostom mogu se mjeriti otpori, induktiviteti i kapaciteti. Otpor se mjeri Wheatstoneovim mostom, kapacitet Wienovim, a induktivitet Maxwellovim mostom. Sva tri mosta napajaju se izjениčnim naponom frekvencije 1 kHz i 10 kHz iznosa  $1,5 V_{pp}$  (od vrha do vrha) s tolerancijom  $\pm 10\%$ .

U pravilu se otpori ovim mostom mjere naponom frekvencije 1 kHz. Mogu se mjeriti otpori od  $0,1 \Omega$  do  $10 M \Omega$  u 8 mjernih opsega. Granice pogrešaka mjerenja otpora od  $10 \Omega$  do  $10 M \Omega$  iznose  $\pm 1,5\%$  od gornje granice mjernog područja, a za otpore do  $10 \Omega$  i iznad  $1 M \Omega$  iznose  $\pm 3\%$  od gornje granice mjernog područja.

Kapaciteti se mogu mjeriti u 8 mjernih područja od 10 pf do  $100 \mu F$ . Granice pogrešaka mjerenja su  $\pm 5\%$  od gornje granice mjernog područja. Frekvencija napajanja mosta je 1 kHz.

Induktiviteti od  $10 \mu H$  do 100 H mogu se mjeriti u 7 mjernih područja. Frekvencija napajanja mosta je 1 kHz ako je faktor dobrote  $Q$  svitka velik, 10 kHz ako je malen. Granice pogrešaka mjerenja su  $\pm 3\%$  od gornje granice mjernog područja.

Ravnoteža Wheatstoneovog mosta ugađa se gumbom 9. (sl. 1), Wienovog gumbima 9 i 11, a Maxwellovog gumbima 9 i 10. Gumbima 10 i 11 ugađa se ravnoteža mosta po faznom kutu tj, faktor dobrote  $Q$ , za zavojnice, i kut gubitaka  $\tan \delta$ , za kondenzatore.

Nulindikator je elektronički s linearnim pojačanjem kada je preklopka za osjetljivost (5) u položaju "LOW", a s eksponencijalnim pojačanjem kada je u položaju "HIGH". Pojačalo nulindikatora je tako projektirano da se analogni nulindikator ne može preopteretiti

**OKRENITE!**

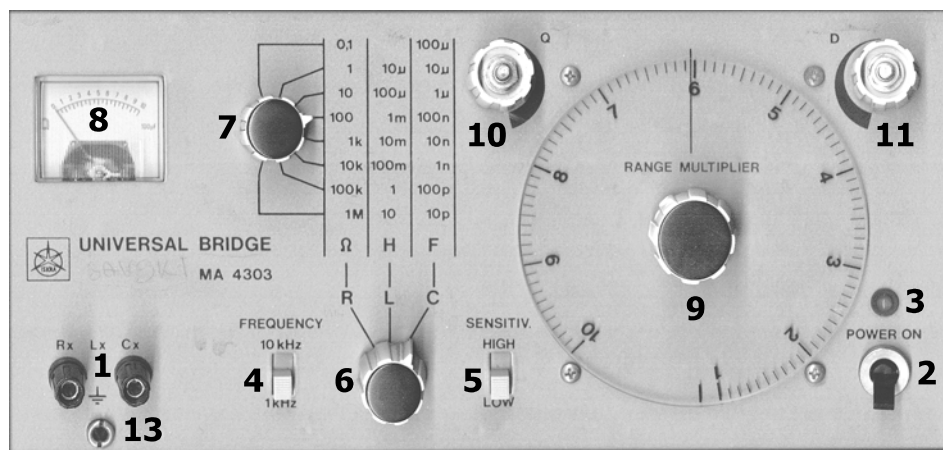
## Postupak pri mjerenju

Mjerni objekt priključuje se na stezaljke 1 (na slici), a njegovo kućište odnosno oklop (ako postoji) na priključnicu za uzemljenje 13. Preklopku 6 za odabiranje vrste mjerenja postavite u odgovarajući položaj. Preklopku 4 postavite u položaj 1 kHz prilikom mjerenja otpora i kapaciteta, a u položaj 10 kHz prilikom mjerenja induktiviteta. Preklopku 5 postavite u položaj "LOW". Preklopku 7 postavite u područje u kojem očekujete mjerni rezultat. Okretanjem guba 7 dovedite kazaljku nulindikatora u crveno područje.

Prilikom mjerenja otpora fino ugađanje ravnoteže mosta provodi se gumbom 9 uz preklopku 5 u položaju "HIGH", dok se ne postigne najmanji otklon kazaljke nulindikatora. Fina ugađanja i ostalih mjernih veličina provode se s preklopkom 5 položaju "HIGH".

Prilikom mjerenja kapaciteta oba gumba (koaksijalna) 11 zakrenite do kraja ulijevo. Gumbom 9 ugodite najmanji utklon nulindikatora. Ako to nije moguće, naizmjeničnim ugađanjem većeg gumba 11 i gumba 9, a zatim malog gumba 11 i gumba 9, postignite najmanji otklon kazaljke nulindikatora.

Prilikom mjerenja induktiviteta prvo oba guba 10 zakrenite sasvim udesno. Ako je iznos mjerenog induktiviteta 10  $\mu\text{H}$  do 100  $\mu\text{H}$  odaberite frekvenciju 10 kHz, a za sve ostale iznose induktiviteta, frekvenciju 1kHz. Gumbom 9 ugodite najmanji otklon kazaljke nulindikatora. Ako zavojnica ima mali  $Q$  konvergencija je loša pa se najmanji otklon nulindikatora ugađa naizmjenično gumbom 9 i velikim gumbom 10, a zatim gumbom 9 i malim gumbom 10. Ako je  $Q$  mali treba skalu gumba 9 postaviti u srednji položaj, a laganim okretanjem velikog gumba 10 postići najmanji otklon nulindikatora. Zatim laganim okretanjem gumba 9 ponovo ugodite najmanji otklon. Ako je potrebno ponovite ugađanje laganim zakretanjem malog gumba 10 i gumba 9.



Prednja ploča RLC mosta ISKRA MA 4303

## Električna shema

Na slici 2. prikazana je električna shema mosta. Na lijevom dijelu zapaža se most koji se prebacivanjem preklopke S3a i S3b može prespojiti u Wheatstoneov, Wienov ili Maxwellov. Gore je električni nulindikator, a dolje oscilator i izvor napajanja elektroničkih sklopova (ispravljač i stabilizator).

Napomena: Rijetki su mostovi kod kojih se Wheatstoneov most za mjerenja napaja izmjeničnim naponom. Takvo je rješenje kod ovog mosta odabrano, vjerojatno, zbog pojednostavljenja sheme i time uštede na elementima.

