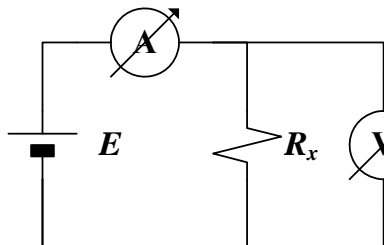


Vežba 5 – Merenje otpornosti – merna nesigurnost

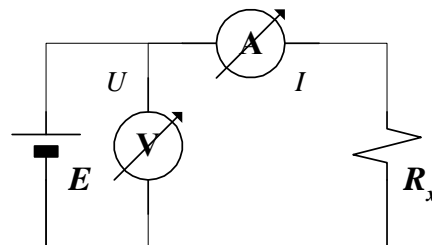
Uvod

Cilj vežbe je da se na relativno jednostavnom primeru merenja električne otpornosti direktnim i indirektnim metodama sagledaju praktični aspekti procene merne nesigurnosti merenja. U okviru vežbe se otpornost nekoliko priloženih otpornika meri na različite načine, direktno, koristeći multimeter kao ommetar, i indirektno, merenjem struje i napona u kolu. Pri tom se koriste analogni i digitalni instrumenti različitih karakteristika. Za svako merenje se procenjuje merna nesigurnost.

Otpornost priloženih otpornika meri se direktno, ommetrom i indirektno, merenjem napona i struje voltmetrom i ampermetrom. Kada se nepoznata otpornost određuje indirektno, primenjuje se Ohmovo zakon, odnosno otpornost se određuje na osnovu izmerene struje koja protiče kroz otpornik nepoznate otpornosti i napona izmerenog na njegovim krajevima. Slika 1 prikazuje naponsku vezu (ampermetar je vezan ispred voltmetra), a slika 2 strujnu vezu sa obrnutim rasporedom mernih instrumenata. Kod naponske veze ampermetar meri zbir struja koje protiču kroz otpornik i voltmetar, jer realni voltmetar ima otpornost koja nije beskonačna. U drugom slučaju voltmetar meri zbir napona na ampermetru (koji ima konačnu otpornost) i otporniku nepoznate otpornosti. Može se zaključiti da je za male vrednosti merenih otpornosti bolje primeniti naponsku, a za velike strujnu vezu. Koje vrednosti otpornosti se ponašaju kao male a koje kao velike, zavisi od unutrašnjih otpornosti korišćenih instrumenata.



Slika 1. Naponska veza



Slika 2. Strujna veza

Zadatak i upustvo za merenje

Zadatak 1

Otpornosti priloženih otpornika izmeriti multimetrom koristeće ga kao ommetar. Oba priložena multimetra su *autorange* i za oba su osnovne karakteristike data u podacima porizvođača. Izabarat jedan od multimetara (obrazložiti izbor) i njime izmeriti otpornosti osam priloženim otpornika. Poznato je da su sve otpornosti iz opsega ($200 \Omega - 10 \text{ k}\Omega$). Za svako merenje, na osnovu podataka o tačnosti iz korisničkog uputstva, odrediti mernu nesigurnost tipa B. Smatrati da merna nesigurnost tipa A može da se zanemari. Mernu nesigurnost računati po formuli:

$$u_B = \frac{\Delta_x}{\sqrt{3}} = \frac{\delta}{100} \frac{R + N \cdot REZ}{\sqrt{3}}$$

gde je: δ – greška (u procentima) u odnosu na očitano vrednost R , R – pokazivanje instrumenta, REZ – rezolucija, N - broj cifara najmanje težine (“digit” “count”) za procenu greške opsega.

Izmeriti otpornike i analognim multimetrom.

Zadatak 2

Elemente povezati prema slici 1, koristiti analogni ampermetar i voltmetar. Napon generatora je $E=15$ V. Otpornost merenih otpornika dobija se na osnovu Omovog zakona $R_x = \frac{U}{I}$, gde su U i I napon i struja izmereni voltmetrom odnosno ampermetrom. Odrediti i vrednosti R_{X0} , za slučaj kada se ne zanemaruju unutrašnje otpornosti korišćenih instrumenata:

$$R_{X0} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_v}}$$

gde su U i I napon i struja izmereni voltmetrom odnosno ampermetrom a R_v otpornost voltmetra. Za svako merenje naznačiti u kom mernom opsegu je bio instrument prilikom merenja. Za oba merenja R_x i R_{X0} proceniti mernu nesigurnost tipa B. Smatrati da merna nesigurnost tipa A može da se zanemari. Mernu nesigurnost za slučaj kada se zanemaruje uticaj unutrašnje otpornosti voltmetra, računati po formuli:

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{\left(\left|\frac{\partial R_x}{\partial U}\right| u_U\right)^2 + \left(\left|\frac{\partial R_x}{\partial I}\right| u_I\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\left|\frac{1}{I}\right| u_U\right)^2 + \left(\left|-\frac{U}{I^2}\right| u_U\right)^2} = \sqrt{\frac{I^2 u_U^2 + U^2 u_U^2}{I^4}} = R_x \sqrt{\left(\frac{u_U}{U}\right)^2 + \left(\frac{u_U}{I}\right)^2} \\ u_U &= \frac{K_{TV}}{100\sqrt{3}} U_{MAX} \\ u_I &= \frac{K_{TA}}{100\sqrt{3}} I_{MAX} \end{aligned}$$

gde je: K_{TV} – klasa tačnosti voltmetra, U_{MAX} – opseg merenja voltmetra, K_{TA} – klasa tačnosti ampermetra, I_{MAX} – opseg merenja ampermetra.

Mernu nesigurnost za slučaj kada se ne zanemaruje uticaj unutrašnje otpornosti voltmetra, računati po formuli:

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{\left(\left|\frac{\partial R_{X0}}{\partial U}\right| u_U\right)^2 + \left(\left|\frac{\partial R_{X0}}{\partial I}\right| u_I\right)^2 + \left(\left|\frac{\partial R_{X0}}{\partial R_v}\right| u_{R_v}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\left|\frac{IR_v^2}{(IR_v - U)^2}\right| u_U\right)^2 + \left(\left|-\frac{UR_v^2}{(IR_v - U)^2}\right| u_U\right)^2} = R_{X0}^2 \frac{I}{U} \sqrt{\left(\frac{u_U}{U}\right)^2 + \left(\frac{u_U}{I}\right)^2}, \frac{u_{R_v}}{R_v} \ll \frac{u_U}{U}, \frac{u_{R_v}}{R_v} \ll \frac{u_I}{I} \\ u_U &= \frac{K_{TV}}{100\sqrt{3}} U_{MAX} \\ u_I &= \frac{K_{TA}}{100\sqrt{3}} I_{MAX} \end{aligned}$$

gde je: K_{TV} – klasa tačnosti voltmetra, U_{MAX} – opseg merenja voltmetra, K_{TA} – klasa tačnosti ampermetra, I_{MAX} – opseg merenja ampermetra.

Zadatak 3

Elemente povezati prema slici 2. Napon generatora je $E=15$ V. Otpornost merenih otpornika dobija se na osnovu Omovog zakona $R_x = \frac{U}{I}$, gde su U i I napon i struja izmereni voltmetrom odnosno ampermetrom. Odrediti i vrednosti R_{X0} , za slučaj kada se ne zanemaruju unutrašnje otpornosti korišćenih instrumenata:

$$R_{X0} = \frac{U}{I} - R_A$$

gde su U i I napon i struja izmereni voltmetrom odnosno ampermetrom a R_A otpornost ampermetra. Za svako merenje naznačiti u kom mernom opsegu je bio instrument prilikom merenja. Za oba merenja proceniti mernu nesigurnost tipa B. Smatrati da merna nesigurnost tipa A može da se zanemari. Mernu nesigurnost za slučaj kada se zanemaruje uticaj unutrašnje otpornosti ampermetra, računati po formuli:

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{\left(\left|\frac{\partial R_x}{\partial U}\right| u_U\right)^2 + \left(\left|\frac{\partial R_x}{\partial I}\right| u_I\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\left|\frac{1}{I}\right| u_U\right)^2 + \left(\left|-\frac{U}{I^2}\right| u_U\right)^2} = \sqrt{\frac{I^2 u_U^2 + U^2 u_I^2}{I^4}} = R_x \sqrt{\left(\frac{u_U}{U}\right)^2 + \left(\frac{u_I}{I}\right)^2} \\ u_U &= \frac{K_{TV}}{100\sqrt{3}} U_{MAX} \\ u_I &= \frac{K_{TA}}{100\sqrt{3}} I_{MAX} \end{aligned}$$

gde je: K_{TV} – klasa tačnosti voltmetra, U_{MAX} – opseg merenja voltmetra, K_{TA} – klasa tačnosti ampermetra, I_{MAX} – opseg merenja ampermetra.

Mernu nesigurnost za slučaj kada se ne zanemaruje uticaj unutrašnje otpornosti ampermetra, računati po formuli:

$$u_B = \sqrt{\left(\left|\frac{\partial R_{X0}}{\partial U}\right| u_U\right)^2 + \left(\left|\frac{\partial R_{X0}}{\partial I}\right| u_I\right)^2 + \left(\left|\frac{\partial R_{X0}}{\partial R_A}\right| u_{R_A}\right)^2}$$

što za $\frac{u_{R_A}}{R_A} \ll \frac{u_U}{U}$, $\frac{u_{R_A}}{R_A} \ll \frac{u_I}{I}$ daje isti rezultat kao u slučaju kada se unutrašnja otpornost ampermetra može potpuno zanemariti.

Zadatak 4

Za proizvoljno izabranu šemu, ponoviti merenja koristeći digitalne merne instrumente. Na osnovu podataka proizvođača za oba multimetra proceniti koji treba da se koristi kao ampermetar a koji kao voltmetar. Otpornost merenih otpornika dobija se na osnovu Omovog zakona $R_x = \frac{U}{I}$, gde su U i I napon i struja izmereni voltmetrom odnosno ampermetrom. Oba instrumenta su *autorange*. Za otpornik R_4 ponoviti merenje pri manuelno promenjenom opsegu na oba instrumenta na prvi veći u odnosu na samopodešenu vrednost. Proceniti mernu nesigurnost tipa B. Smatrati da merna nesigurnost tipa A može da se zanemari. Mernu nesigurnost računati po formuli:

$$\begin{aligned}u_B &= \sqrt{\left(\left.\frac{\partial R_x}{\partial U}\right| u_U\right)^2 + \left(\left.\frac{\partial R_x}{\partial I}\right| u_I\right)^2} \\&= \sqrt{\left(\left.\frac{1}{I}\right| u_U\right)^2 + \left(\left.-\frac{U}{I^2}\right| u_U\right)^2} = \sqrt{\frac{I^2 u_U^2 + U^2 u_I^2}{I^4}} = R_x \sqrt{\left(\frac{u_U}{U}\right)^2 + \left(\frac{u_I}{I}\right)^2} \\u_U &= \frac{\frac{\delta_V}{100} U + N_V \cdot REZ_V}{\sqrt{3}} \\u_I &= \frac{\frac{\delta_A}{100} I + N_A \cdot REZ_A}{\sqrt{3}}\end{aligned}$$

gde je: $\delta_{V,A}$ – greška (u procentima) u odnosu na očitano vrednost napona, odnosno struje, U – pokazivanje voltmetra, I – pokazivanje ampermetra, REZ – rezolucija, $N_{V,A}$ - broj cifara najmanje težine (“*digit*” “*count*”) za procenu greške opsega voltmetra, odnosno ampermetra.

Napomena:

Za brži proračun možete koristiti opciju da definišete formule u *Excel*-u.

Na primer, ukoliko u ćeliji c3 želite rezultat koji bi bio $\frac{xy}{\sqrt{3}}$, gde je x sadržaj ćelije a3 a y sadržaj ćelije b3, možete kucati „=a3*b3/sqrt(3)“. Kasnije možete prekopirati ovu formulu u neku drugu ćeliju, na primer c4. Rezultat će biti isti kao da ste direktno u ćeliji c4 kucali „=a4*b4/sqrt(3)“.