

## Mjerna nesigurnost, multimetar

1. Snaga  $P$  se određuje **nekoreliranim** mjerenjima napona i otpora. Izrazite rezultat mjerenja snage ako je mjerna **nesigurnost** mjerenja napona **0,05 V**, a otpora **0,07  $\Omega$** . **Izmjereni** napon je **10,00 V**, a otpor **20,00  $\Omega$** .

Rješenje:  $P = (5,000 \pm 0,053) \text{ W}$

2. Otpor otpornika  $R_1$  je izmjeren **prvim multimetrom** i iznosi **1200  $\Omega$**  uz mjernu nesigurnost od **5  $\Omega$** . Otpor otpornika  $R_2$  je izmjeren **drugim multimetrom** i iznosi **2500  $\Omega$**  uz mjernu nesigurnost od **7  $\Omega$** . Koliki je **otpor serijskog spoja** ta dva otpornika ako je faktor **korelacije** između dva multimetra **0,371**.

Rješenje:  $R_S = (3700 \pm 10) \Omega$

3. Snaga trošila u krugu izmjenične struje određuje se iz mjerenja **napona** i **struje** trošila **jednim digitalnim multimetrom**. Struja trošila je **2,5 A** a napon na trošilu **160 V**. Izrazite rezultat mjerenja snage (**mjernu nesigurnost neizravno mjerene veličine**), koristeći podatke proizvođača multimetra prema sljedećim tablicama.

Točnosti mjerenja **izmjeničnog** napona

Opseg	Razlučivost	Točnost
4 V	1 mV	$\pm(1\%+5)$
40 V	10 mV	
400 V	100 mV	
750 V	1 V	$\pm(1,2\%+5)$

Točnosti mjerenja **izmjenične** struje

Opseg	Razlučivost	Točnost
400 $\mu\text{A}$	0,1 $\mu\text{A}$	$\pm(1,5\%+5)$
4000 $\mu\text{A}$	1 $\mu\text{A}$	
40 mA	0,01 mA	$\pm(2\%+5)$
400 mA	0,1 mA	
4 A	0,001 A	$\pm(2,5\%+5)$
10 A	0,01 A	

Rješenje: Uz pretpostavku da je  $r = 1$  (jedan multimetar),  $P = (400 \pm 16) \text{ W}$ .

4. Istosmjerna komponenta napona je  $U_{DC} = 4 \text{ V}$ , a **efektivna vrijednost** njoj superponirane **izmjenične** komponente je  $U_{AC} = 3 \text{ V}$ . Izmjenična komponenta je **sinusnog** valnog oblika. Koristeći podatke proizvođača voltmetra **odredite pokazivanje** voltmetra na **AC i DC** području te **iskažite točnost mjerenja** za oba područja. Na AC području voltmetar ima odziv na ispravljenu srednju vrijednost, a prikazuje efektivnu vrijednost uz pretpostavku sinusnog valnog oblika. Kolika je ukupna **efektivna vrijednost signala**?

Točnosti mjerenja **istosmjernog** napona

Opseg	Razlučivost	Točnost
500 mV	0,1 mV	$\pm(0,8\%+3)$
5 V	1 mV	$\pm(0,8\%+1)$
50 V	10 mV	
500 V	100 mV	
2000 V	1 V	$\pm(1\%+3)$

Točnosti mjerenja **izmjeničnog** napona

Opseg	Razlučivost	Točnost
5 V	1 mV	$\pm(1\%+5)$
50 V	10 mV	
500 V	100 mV	
1000 V	1 V	$\pm(1,2\%+5)$

Rješenje: DC područje:  $(4,000 \pm 0,033) \text{ V}$ ; AC područje:  $(3,000 \pm 0,035) \text{ V}$ ;  $U_{ef} = 5 \text{ V}$ .

5. Otpor otpornika se mjeri s dva multimetra U/I metodom. **Pad napona** na otporniku izmjeren prvim multimetrom je **5,40 V**, a **struja** kroz otpornik izmjerena drugim multimetrom je **5,00 mA**. **Mjerna nesigurnost prvog** multimetra na mjernom području je **0,04 V**, a **drugog 0,01 mA**. Mjerenja imaju faktor **korelacije -0,15**. Izrazite rezultat mjerenja otpora U/I metodom i usporedite ga s mjerenjem otpora **jednim multimetrom** koji pokazuje **1,076 kΩ**, a čiji su podaci o točnosti dani Tablicom 1. Odgovorite koje je mjerenje točnije, a koje preciznije pod uvjetom da je **stvarni otpor otpornika 1079,000 Ω**.

Podaci proizvođača o točnosti mjerenja otpora

Opseg	Razlučivost	Točnost
400 Ω	0,1 Ω	±(1,2%+2)
4 kΩ	1 Ω	±(1%+2)
40 kΩ	10 Ω	
400 kΩ	100 Ω	
4 MΩ	1 kΩ	±(1,2%+2)
40 MΩ	10 kΩ	±(1,5%+2)

**Rješenje:** Dva multimetra:  $R_2 = (1080,0 \pm 8,6) \Omega$ ; jedan multimetar:  $R_1 = (1,076 \pm 0,013) \text{ k}\Omega$ . Točnije i preciznije je mjerenje s dva multimetra.

6. Tijekom mjerenja **istosmjernog napona** digitalni multimetar pokazuje broj **250,3** na **mjernom području 400 mV**, a **0,250** na **mjernom području 4 V**. Iskažite oba rezultata mjerenja korištenjem podataka proizvođača multimetra iz Tablice 1. Koji je rezultat precizniji?

Podaci proizvođača o točnosti mjerenja istosmjernog napona

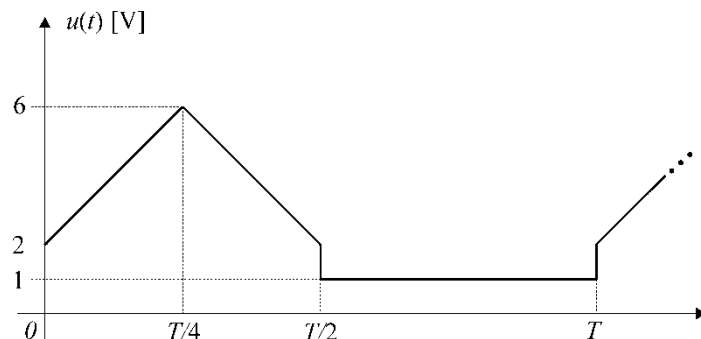
Range	Resolution	Accuracy
400 mV	0,1 mV	±(0,8%+3)
4 V	1 mV	±(0,8%+1)
40 V	10 mV	
400 V	100 mV	
1000 V	1 V	±(1%+3)

**Rješenje:** Za mjerno područje 400 mV rezultat je  $(250,3 \pm 2,3) \text{ mV}$ , za mjerno područje 4 V rezultat je  $(0,250 \pm 0,003)$ , tj.  $(250 \pm 3) \text{ mV}$ . Precizniji je prvi rezultat. Za dodatnu vježbu: što je preciznije 250,3 mV ili 250,0 mV?

7. Na multimetar s odzivom na srednju vrijednost i pokazivanjem efektivne vrijednosti sinusnog signala spojen je signal valnog oblika  $u_{ul} = 3 \sin(2\pi f t) + 3 \text{ [V]}$ . Multimetar uz izmjeničnu (AC) vezu na ulazu ima točnost od  $\pm (1\% + 5 \text{ znamenki})$ , a uz istosmjernu (DC) vezu na ulazu točnost od  $\pm (0,8\% + 1 \text{ znamenka})$ . U oba slučaja razlučivost prikaza je **1 mV**. Zanemarujući sve pogreške, odredite pokazivanje multimetra u slučajevima AC i DC veze na ulazu. Pretpostavljajući uniformnu razdiobu AC i DC mjerenja, odredite **interval** unutar kojeg se **sigurno** nalazi **ukupna efektivna vrijednost** signala.

**Rješenje:** AC pokazivanje: 2,1213 V, DC pokazivanje: 3,000 V. Minimalna efektivna vrijednost je  $U_{ef,min} = \sqrt{U_{AC,min}^2 + U_{DC,min}^2} = 3,639 \text{ V}$ , maksimalna efektivna vrijednost je  $U_{ef,max} = \sqrt{U_{AC,max}^2 + U_{DC,max}^2} = 3,710 \text{ V}$

8. Na multimetar s **odzivom na srednju vrijednost** i **pokazivanjem efektivne** vrijednosti sinusnog signala spojen je napon periodičkog valnog oblika kao na slici. Odredite pokazivanje multimetra **razlučivosti 1 mV** u slučajevima **izmjenične** veze (AC), odnosno **istosmjerne** (DC) veze na ulazu.



**Rješenje:**  $U_{DC} = 2,500\text{ V}$ ,  $U_{AC} = 1,7000\text{ V}$ .

## Elektromagnetske smetnje

1. Vodič spojen na mjerni krug zaključen je otporom **10 kΩ**. Paralelno vodiču na udaljenosti  $D$  prolazi vod rasvjetne mreže ( $U_1=230\text{ V}$ ). Izračunajte **minimalnu udaljenost vodiča** tako da **efektivna** vrijednost **kapacitivne smetnje** bude **manja od 2,2 mV**. Pretpostavite da oba vodiča imaju promjer  $d=1\text{ mm}$  te da je kapacitet između dva paralelna vodiča dan izrazom  $C_{12} = \pi\epsilon_0 / \ln(2D/d)$ .

Rješenje:  $D = 4,6\text{ m}$ .

2. Na pojačalo s **asimetričnim** ulazom i **ulaznom** impedancijom **10 MΩ** i **20 pF** kabelom je spojen naponski izvor. **Kabel** ima kapacitet od **5 pF** prema vodu gradske mreže. Kolike su **dozvoljene vrijednosti unutarnjeg otpora** naponskog izvora za koje je smetnja na ulazu pojačala **manja od 50 μV vršne vrijednosti**.

Rješenje:  $R_g < 102,4\ \Omega$ .

3. Na elektronički voltmetar s asimetričnim ulazom i ulaznim otporom **10 MΩ** priključen je vodič koaksijalnog kabla. Oklop tog kabla je s vodom rasvjetne mreže (**230 V, 50 Hz**) spregnut preko koncentriranog kondenzatora kapaciteta  **$C_1 = 5\text{ pF}$** . Oklop kabla je prema uzemljenju spregnut koncentriranim kondenzatorom kapaciteta  **$C_2 = 5\text{ pF}$** . Kapacitet koncentriranog kondenzatora između oklopa i vodiča kabla  **$C_3 \gg C_1 + C_2$** . **Nacrtajte nadomjesnu shemu i izračunajte napon smetnje** koji će se zbog ove kapacitivne veze pojaviti na ulazu voltmetra.

Rješenje:  $U_{\text{smetnje}} = 3,61\text{ V}$ .

4. Osciloskop je pasivnom mjernom sondom **x1** spojen na naponski izvor amplitude **1 V**, frekvencije **1 MHz** i unutarnjeg otpora **1 kΩ**. Duljina kabla sonde je **1,5 m**, a kapacitet **60 pF/m**. Ulazna impedancija osciloskopa je **1 MΩ || 30 pF**. Nacrtajte **nadomjesnu shemu spoja** i odredite **amplitude napona na zaslonu osciloskopa**.

Rješenje:  $U_{\text{osc}} = 0,8\text{ V}$ .

5. Diferencijalno pojačalo diferencijalnog pojačanja  **$A_D = 100$**  i ulazne impedancije za svaku od stezaljki prema masi  **$R_{ul} = 1\text{ MΩ}$**  spojeno je na dijagonalu mosta s vrijednostima otpornika  **$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\text{ kΩ}$**  koristeći središnje vodove dva koaksijalna kabla. Oklopi oba koaksijalna kabla su spojeni na način kojim se smanjuju smetnje zbog električnog polja. Kapacitet između aktivnog voda i oklopa svakog od kabla je **160 pF**, a između oklopa i voda napajanja gradske mreže **230 V / 50 Hz** je **200 pF**. **Nacrtajte nadomjesnu shemu** mjerenja koja uključuje i parazitne kapacitete, te **odredite amplitudu smetnje** koja se pojavljuje na izlazu diferencijalnog pojačala ako se **oklop jednog od kabla odspoji**.

Rješenje:  $U_{\text{smetnje}} = 4,32\text{ V}$ .

**6. Nacrtajte nadomjesnu shemu** spoja naponskog izvora zajedničke smetnje i voltmetra s **plivajućim** ulazom. Izračunajte **faktor potiskivanja** zajedničke smetnje od **50 V**. Unutarnji otpor izvora zajedničkog napona je **1000  $\Omega$** , a impedancije stezaljki pojačala prema zajedničkom potencijalu su **2 G $\Omega$**  i **1,5 G $\Omega$** .

**Rješenje:**  $F = 135$  dB.

## Mjerenje vremenskog intervala i frekvencije

1. Nacrtajte blok shemu **digitalnog mjerila vremena**. Odredite **relativnu pogrešku mjerenja** uslijed asinkronosti ulaznih impulsa i impulsa referentnog oscilatora u slučaju mjerenja **perioda signala frekvencije 100 Hz**, ako se koristi stabilni **oscilator frekvencije 1 MHz**. Frekvencija ulaznog signala smanjuje se **4 puta**.

**Rješenje:**  $p_r = 0,0025 \%$ .

2. Isti signal frekvencije  $f_M = 250 \text{ kHz}$  je spojen i na **mjerilo vremena** i na **mjerilo frekvencije**. Oba mjerila imaju isti precizni oscilator frekvencije  $f_0 = 1 \text{ MHz}$  i isto vrijeme trajanja jednog mjerenja  $T_S = 10 \text{ ms}$ . Izračunajte **pogreške oba mjerila** na frekvenciji signala.

**Rješenje:**  $p_{r,f} = 0,04 \%$ ,  $p_{r,T} = 0,01 \%$ . Mjerilo vremena je preciznije.

3. Isti signal frekvencije  $f_M = 250 \text{ kHz}$  je spojen i na **mjerilo vremena** i na **mjerilo frekvencije**. Oba mjerila imaju isti precizni oscilator frekvencije  $f_0$  i isto vrijeme trajanja jednog mjerenja  $T_S = 100 \mu\text{s}$ . Kolika mora biti frekvencija  $f_0$  da bi **maksimalne pogreške oba mjerila** na frekvenciji signala bile **jednake**? Izračunajte tu pogrešku.

**Rješenje:**  $f = 250 \text{ kHz}$ ,  $p_r = 4 \%$ .