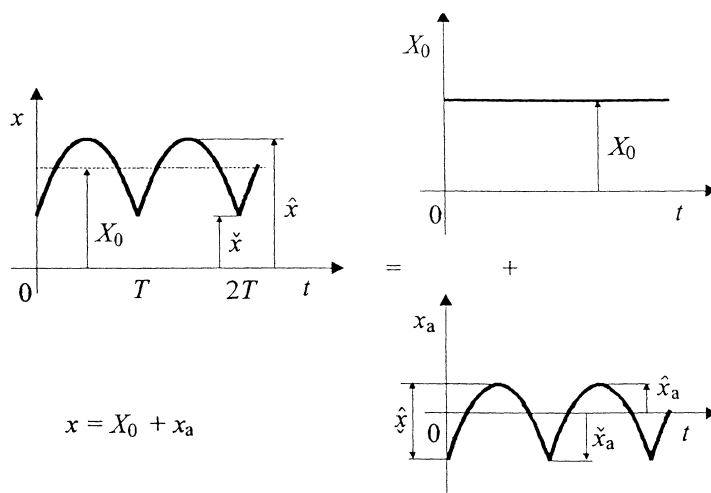


## Rešitve nalog – MERITVE 1. del

1. Naštejte parametre, ki določajo pulzirajočo periodično veličino. Skicirajte jih in opišite v enačbah! Kako je določena efektivna valovitost?

### Rešitev:

- **Pulzirajoča** veličina je sestavljena iz **enosmerne** in **izmenične** komponente:



- **Maksimalno** vrednost označujemo z  $\hat{x}$  ali  $x_m$ ,
- **Minimalno** vrednost označujemo z  $\check{x}$  ali  $x_{\min}$ ,
- **Enosmerno** komponento označujemo z  $X_0$ ,
  - **Aritmetična srednja vrednost** – povprečna vrednost – je enaka enosmerni komponenti:  $\bar{X} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = X_0$ , ker je povprečna vrednost **izmenične** komponente  $x_a$  nič:  $\bar{X}_a = \frac{1}{T} \int_0^T x_a(t) dt = 0$
- **Efektivna vrednost** pulzirajoče veličine:  $X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$ 
  - če upoštevamo  $x(t) = X_0 + x_a(t)$ , dobimo:  $X = \sqrt{X_0^2 + X_a^2}$
- Če pulzirajoča veličina ne spreminja predznaka, jo imenujemo **valovita veličina**.
  - Kadar je enosmerna komponenta primarnega pomena, podamo **valovitost** z najbolj pogosto uporabljeno **efektivno valovitostjo**:  $r = \frac{X_a}{|X_0|}$
  - kjer je  $X_a = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x_a^2(t) dt}$  efektivna vrednost izmenične komponente in  $|X_0|$  absolutna vrednost enosmerne komponente.

2. Na zaslonu osciloskopa ( $B=10\text{MHz}$ ; člen 1. reda) imamo zajeto periodo napetosti signala  $u = \hat{u} \cdot \sin(20\pi t/\mu\text{s})$ . Podajte merilni rezultat za efektivno in temensko vrednost napetosti signala na vhodu! Položaj signala smo sposobni oceniti z ločljivostjo  $0,2\text{mm}$ .  $\hat{y} = 4,30\text{d}$ ,  $k_y = 0,5\text{V/d}$ ,  $m_y = 2 \cdot 10^{-2}$ ,  $1\text{d} = 10\text{mm}$ ,  $k_t = ?$

**Rešitev:**

- Frekvenca vhodnega signala je:  $2\pi ft = 20\pi t/\mu\text{s} \rightarrow f = 10/\mu\text{s} = 10\text{MHz}$ 
  - Ker je x-os osciloskopov tipično razdeljena na 10 delov, mora biti konstanta časovne baze enaka:

$$10\text{d} \cdot k_t = T = 1/f \rightarrow k_t = \frac{1}{f} \frac{1}{10\text{d}} = \frac{10\text{ns}}{\text{d}}$$

- Ker je frekvenca signala enaka zgornji mejni frekvenci  $B = f_m = f$  in za člen 1. reda velja  $\hat{u}_{\text{prikaz}} = \hat{u}/\sqrt{2}$ , dobimo za temensko napetost sinusnega signala na vhodu osciloskopa:

$$\hat{u}_{\text{prikaz}} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \rightarrow \hat{u} = \sqrt{2} \cdot \hat{u}_{\text{prikaz}} = \sqrt{2} \cdot 4,30\text{d} \cdot 0,5\text{V/d} = 3,0406\text{V}$$

- in za efektivno napetost:  $U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = 2,15\text{V}$
- Standardno negotovost prikaza na osciloskopu določata prispevka mejnega pogreška osciloskopa in pogrešek ločljivosti pri odčitku temenske vrednosti  $\hat{y} = 4,30\text{d} \cdot 10\text{mm/d} = 43\text{mm}$ :

$$w(y) = \sqrt{\left(\frac{m_y}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta}{2\sqrt{3}y}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,2\text{mm}}{2\sqrt{3} \cdot 43\text{mm}}\right)^2} = 0,0116 \rightarrow 0,012$$

- Merilni rezultat za temensko vrednost napetosti signala na vhodu je tako:

$$\hat{u} = 3,041\text{V} \quad , \quad u(\hat{u}) = \hat{u} \cdot w(y) = 0,0365\text{V} \rightarrow u(\hat{u}) = 0,037\text{V}, \quad n = 1$$

- in merilni rezultat za efektivno vrednost napetosti signala na vhodu:

$$U = 2,150\text{V} \quad , \quad u(U) = U \cdot w(y) = 0,0258\text{V} \rightarrow u(U) = 0,026\text{V}, \quad n = 1$$

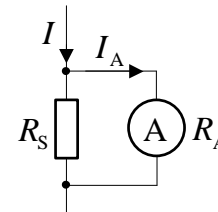
3. Ampermetru želimo s souporom razširiti merilno območje na  $I'_D = 2\text{ A}$ . Določite soupor tako, da bo standardna negotovost tokovnega delilnika zanemarljiva! Skicirajte vezje.

- ampermeter:  $I_D = 200,0\text{ mA}$ ;  $U_{A_0} = 200\text{ mV}$ ;  $M_I = \pm(0,6\% I + 1\text{ dig.})$ ;  $m_{R_A} = \pm 5 \cdot 10^{-4}$

### Rešitev:

- Merilno območje ampermetra razširimo s souporom  $R_S$  kot kaže

vezje in dobimo tokovni delilnik:  $I_A = I \frac{R_S}{R_S + R_A}$



- Delilno razmerje je:

$$K = \frac{I_A}{I} = \frac{R_S}{R_S + R_A} = \frac{I_D}{I'_D} = \frac{200\text{ mA}}{2\text{ A}} = \frac{1}{10}$$

- Po izračunu upornosti ampermetra  $R_A = \frac{U_{A_0}}{I_D} = \frac{200\text{ mV}}{200,0\text{ mA}} = 1\Omega$  določimo še

iskano vrednost upornosti soupora:  $R_S = \frac{KR_A}{1-K} = 0,1111\Omega$

- Standardno negotovost delilnika, ki jo sestavljata negotovost upornosti ampermetra  $w(R_A)$  in iskana negotovost soupora  $w(R_S)$ , zapišemo:

$$w(K) = \frac{u(K)}{K} = \frac{1}{K} \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial R_S} u(R_S)\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial R_A} u(R_A)\right)^2}$$

- Faktorja občutljivosti sta:  $\frac{\partial K}{\partial R_S} = \frac{R_A}{(R_A + R_S)^2}$  in  $\frac{\partial K}{\partial R_A} = -\frac{R_S}{(R_A + R_S)^2}$

$$w(K) = \sqrt{\left(\frac{(R_A + R_S)}{R_S} \frac{R_A}{(R_A + R_S)^2} u(R_S)\right)^2 + \left(\frac{(R_A + R_S)}{R_S} \frac{R_S}{(R_A + R_S)^2} u(R_A)\right)^2}$$

$$w(K) = \frac{R_A}{R_A + R_S} \sqrt{\left(\frac{u(R_S)}{R_S}\right)^2 + \left(\frac{u(R_A)}{R_A}\right)^2}$$

- Negotovost delilnika je zanemarljiva, če velja:  $w(K) \leq \frac{w(I)}{5}$

- Standardno merilno negotovost zaradi ampermetra določimo iz meje pogreška:

$$M_I = \pm(0,6\% I + 0,1\text{ mA}), \quad m_I = \frac{M_I}{I} = \pm\left(6 \cdot 10^{-3} + \frac{10^{-4}\text{ A}}{I}\right)$$

- Minimalna vrednost standardne merilne negotovosti v relativni obliki je pri največjem toku  $I = I_D$ :

$$w(I) = \frac{m_I}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(6 \cdot 10^{-3} + \frac{10^{-4}\text{ A}}{I_D}\right) = 3,75 \cdot 10^{-3} \quad \text{in} \quad w(K) \leq \frac{w(I)}{5} = 7,506 \cdot 10^{-4}$$

- Iskano negotovost soupora  $w(R_S)$  določimo iz izraza:

$$w(K) = \frac{R_A}{R_A + R_S} \sqrt{w^2(R_S) + w^2(R_A)}, \quad w(R_A) = m(R_A)/\sqrt{3} = 2,887 \cdot 10^{-4}$$

- Soupore mora biti enak  $R_S = 0,1111\Omega$  in imeti standardno negotovost manjšo kot

$$w(R_S) = \sqrt{\left(\frac{R_A + R_S}{R_A}\right)^2 w^2(K) - w^2(R_A)} = 7,9 \cdot 10^{-4}$$

4. Rezultat kalibracije ampermetra v štirih točkah je prikazan v tabeli. Prva kolona predstavlja referenčno vrednost, druga kolona kaže izmerjeno vrednost. Preračunana merilna negotovost ampermetra je 0,1A. Koliko znaša pogrešek kalibriranega inštrumenta (kolona tri) in koliko je korekcija kalibriranega inštrumenta (kolona štiri)? Pri uporabljanju ampermetra ste izmerili 15A. Zapišite enačbo in pravo vrednost rezultata!

$I_{\text{ref}}/\text{A}$	$I_i/\text{A}$	$E/\text{A}$	$K/\text{A}$
10,0	9,8		
15,0	15,1		
20,0	19,8		
25,0	25,1		

### Rešitev:

- Pogrešek kalibriranega inštrumenta je razlika izmerjene vrednosti in referenčne vrednosti. Korekcija pa ima obratni predznak pogreška in se prišteva k rezultatu.

$I_{\text{ref}}/\text{A}$	$I_i/\text{A}$	$E/\text{A}$	$K/\text{A}$
10,0	9,8	-0,2	0,2
15,0	15,1	0,1	-0,1
20,0	19,8	-0,2	0,2
25,0	25,1	0,1	-0,1

- Če pri uporabi inštrumenta izmerimo z ampermetrom 15A, znaša prava vrednost

$$\underline{\underline{I}} = I_i + K = 15\text{ A} + (-0,1\text{ A}) = \underline{\underline{14,9\text{ A}}}$$

- Pri tem smo upoštevali, da se lastni pogrešek instrumenta  $E$  v okolici točke kalibracije (primer:  $I_i = 15,1\text{ A} \rightarrow E = 0,1\text{ A}$ ) zelo malo spremeni.
- Merilni rezultat pa je enak

$$\underline{\underline{I = 14,9\text{ A}}}, \quad \underline{\underline{u(I) = 0,1\text{ A}}}, \quad \underline{\underline{n = 1}}$$

5. Izpeljite številsko enačbo za jalovo moč tuljave ( $Q = I^2 \omega L$ ), če so neposredno merjene veličine izražene v A, Hz in mH, jalovo moč pa želimo imeti v enoti kvar!

**Rešitev:**

- Veličinsko enačbo  $Q = I^2 \omega L$  zapišemo s produkti številskih vrednosti in enot:

$$\{Q\}[Q] = \{I\}^2 [I]^2 \{\omega\}[\omega] \{L\}[L]$$

- in preoblikujemo v obliko:  $\{Q\} = \{I\}^2 \{\omega\} \{L\} \frac{[I]^2 [\omega][L]}{[Q]}$

- Kvocien uporabljenih enot je številka vrednost:

$$\frac{[I]^2 [\omega][L]}{[Q]} = \frac{\text{A}^2 \cdot \text{Hz} \cdot 10^{-3} \text{H}}{10^3 \text{VA}} = 10^{-6} \frac{\text{AH}}{\text{Vs}} = 10^{-6}$$

- Ker za rezultat dobimo le številsko vrednost, moramo navesti tudi, za kakšne enote velja:

$$\{Q\} = \{I\}^2 \{\omega\} \{L\} \cdot 10^{-6} \rightarrow Q = 10^{-6} I^2 \omega L \left( \frac{Q}{\text{kvar}}, \frac{I}{\text{A}}, \frac{\omega}{\text{Hz}}, \frac{L}{\text{Hz}} \right)$$