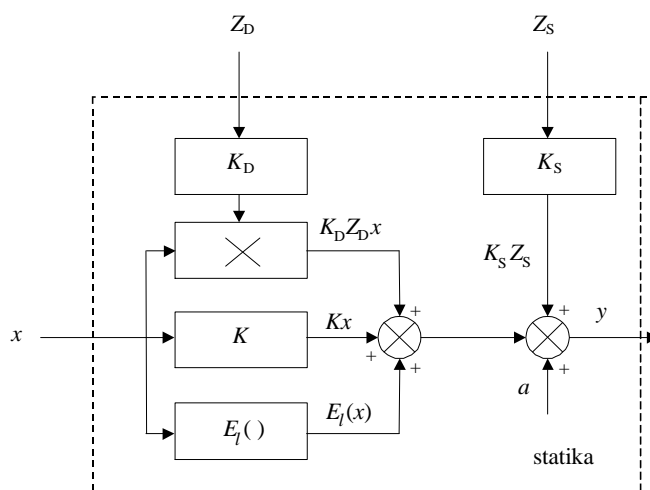


## Rešitve nalog – MERITVE 2. del

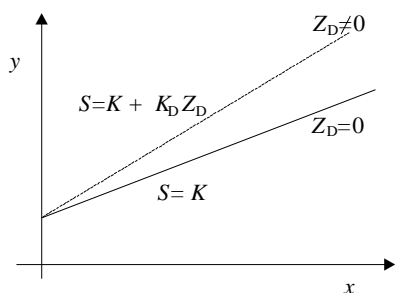
1. Narišite posplošen model merilnega pretvornika in ga opišite! Katere vplivne veličine nastopajo in kakšen značaj imajo?

### Rešitev:

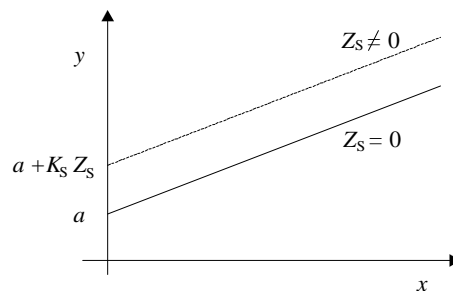
- Posplošen model merilnega pretvornika:



- Če pretvornik ni v referenčnih pogojih, je njegova karakteristika
 
$$y = Kx + a + E_l(x) + K_D Z_D x + K_S Z_S,$$
  - Imamo enosmerni zamik  $a$ , smerni koeficient  $K$  in nelinearnost  $E_l(x)$ .
- $Z_D$  in  $Z_S$  sta odstopanji vplivnih veličin od referenčnih pogojev.
  - Znotraj okvirja so referenčni pogoji, zunaj pa vplivne veličine.
- Opravka imamo z dvema skupinama vplivnih veličin:
  - **deformirajoče** vplivne veličine  $Z_D$ 
    - deformirajo karakteristiko (v najbolj preprostem primeru spremenijo naklon).
  - **superponirajoče** vplivne veličine  $Z_S$ .
    - dodajo, prištejejo neko vrednost h karakteristiki.



vplivna veličina učinkuje  
na naklon karakteristike  
-deformirajoča vpliv. vel.

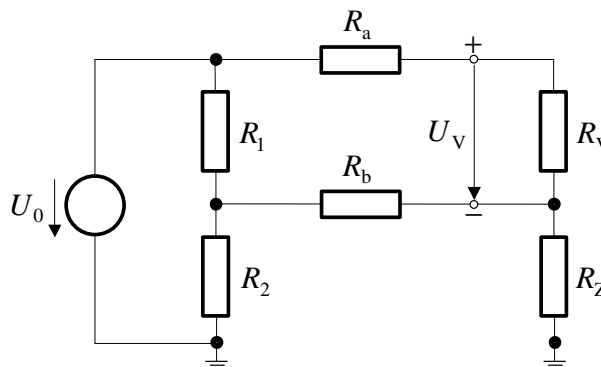


vplivna veličina učinkuje  
na premaknitev ničlišča  
-superponirajoča vpliv. vel.

2. Koliko kaže voltmeter ( $U_V = ?$ ) pri merjenju napetosti na upor  $R_1$ . Voltmeter ima neozemljeni vhod ( $U_D = 5\text{ V}$ , ločljivost:  $\Delta U = 10\mu\text{V}$ ,  $R_V = 10\text{M}\Omega$ )? Narišite nadomestno shemo!

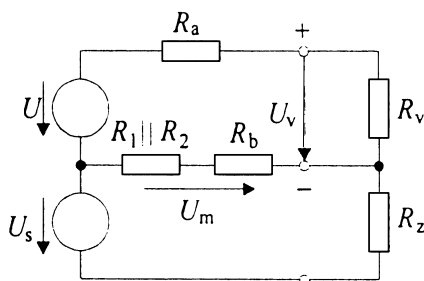
$$R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega, U_0 = 10\text{ V}$$

$$R_a = R_b = 10\Omega, R_z = 100\text{M}\Omega$$



### Rešitev:

- Nadomestna shema:



- Merjena napetost  $U = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 5\text{ V}$  deluje na vhoda voltmetra (+ in -) v nasprotnih smereh.
- Motilna sofazna napetost  $U_s = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5\text{ V}$  deluje na vhoda voltmetra v isto smer.

- Ker je  $R_z \gg (R_1 || R_2 + R_b)$ , zapišemo za prispevek merjene napetosti na vhodu voltmetra (napetostni delilnik):

$$U_V = U \frac{R_V}{R_1 || R_2 + R_b + R_a + R_V} = 5\text{ V} \cdot 0,9994982 = 4,997491\text{ V} \rightarrow U_V = 4,99749\text{ V}$$

- Prispevek motilne sofazne napetosti na vhodu voltmetra je nekaj manjši, kot je padec na nadomestnem upor  $(R_1 || R_2 + R_b)$ :

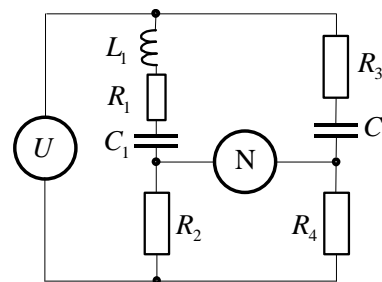
$$U_{V,m} = U_s \cdot \frac{R_1 || R_2 + R_b}{R_1 || R_2 + R_b + R_z} \cdot \frac{R_V}{R_1 || R_2 + R_a + R_b + R_V} = U_s \cdot 5,0099 \cdot 10^{-5} \cdot 0,999498 = 2,504 \cdot 10^{-4}\text{ V}$$

$$\rightarrow U_{V,m} = 0,00025\text{ V}$$

- Skupna napetost, ki jo kaže voltmeter, je:

$$U_{\text{skupna}} = U_V + U_{V,m} = 4,9977416\text{ V} \rightarrow U_{\text{skupna}} = 4,99774\text{ V}$$

3. Pri katerih frekvencah mostiča ne moremo uravnovesiti, če spreminjamo  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  ali  $C_3$ ? Ali mostič lahko uravnovesimo pri  $R_2C_1 > R_4C_3$ ?



**Rešitev:**

- Za mostič zapišemo impedance posameznih vej:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1, \quad \underline{Z}_2 = R_2, \quad \underline{Z}_3 = R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}, \quad \underline{Z}_4 = R_4$$

- Ravnovena enačba  $\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_4 = \underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3$  nam da naslednjo povezavo,

$$\left( R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1 \right) \cdot R_4 = R_2 \cdot \left( R_3 + \frac{1}{j\omega C_3} \right)$$

- ki jo uredimo v obliko:

$$R_1 R_4 + \frac{R_4}{j\omega C_1} (1 - \omega^2 L_1 C_1) = R_2 R_3 + \frac{R_2}{j\omega C_3}$$

- Mostič ne moremo uravnovesiti, kadar je izraz  $(1 - \omega^2 L_1 C_1)$  negativen in ne moremo izravnati imaginarni del leve in desne strani ravnovesne enačbe.

$$1 - \omega^2 L_1 C_1 < 0 \quad \rightarrow \quad 1 < \omega^2 L_1 C_1 \quad \rightarrow \quad f > \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

- Ob izravnavi imaginarnega dela leve in desne strani ravnovesne enačbe dobimo:

$$\frac{R_4}{C_1} (1 - \omega^2 L_1 C_1) = \frac{R_2}{C_3} \quad \Rightarrow \quad (1 - \omega^2 L_1 C_1) = \frac{R_2 C_1}{C_3 R_4}$$

- Neenačba  $R_2 C_1 > R_4 C_3$  nam da  $R_2 C_1 / R_4 C_3 > 1$ , kar pomeni, da bi moral biti izraz  $(1 - \omega^2 L_1 C_1)$  tudi večji od 1:

$$1 - \omega^2 L_1 C_1 > 1 \quad \Rightarrow \quad \omega^2 L_1 C_1 < 0$$

- Ker so vrednosti za kotno frekvenco  $\omega$ , induktivnost  $L_1$  in kapacitivnost  $C_1$  realne in pozitivne, pri danem pogoju ne moremo uravnovesiti mostiča.

4. Z univerzalnim digitalnim števcem ( $K = 1, 10, \dots, 10^8$ ,  $f_0 = 10 \text{ MHz}$ ) merimo fazno karakteristiko merilnega člana 1. reda z dvižnim časom  $T_r = 1 \text{ ms}$ . Koliko je minimalna standardna negotovost zaradi kvantizacijskega pogreška pri merjenju faznega kota  $\varphi$  pri  $f = 800 \text{ Hz}$ !

**Rešitev:**

- Kot  $\varphi$  določimo iz izraza  $\varphi = -\arctg \omega\tau = -\arctg 2\pi f\tau$  in znane povezave za člen 1. reda  $\tau = T_r / \ln 9 = 4,5512 \cdot 10^{-4} \text{ s}$ :

$$|\varphi| = \arctg 2\pi f\tau = 1,1587 \text{ rad}$$

- Od tod dobimo vrednost časovnega zamika pri periodi  $T = 1/f = 1,25 \text{ ms}$ :

$$\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} \Rightarrow \Delta t = \varphi \frac{T}{2\pi} = 2,30516 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

- Pri dani frekvenci in elektronskem števcu je minimalna standardna negotovost merjenja frekvence, če izberemo najdaljši čas merjenja  $T_M = 10 \text{ s}$  oziroma  $K = 10^8$ :

$$u_q(f) = \frac{1}{T_M} \frac{1}{\sqrt{6}} = \frac{f_0}{K} \frac{1}{\sqrt{6}} = 4,082 \cdot 10^{-2} \text{ Hz}$$

$$w_q(f) = \frac{u(f)}{f} = 5,103 \cdot 10^{-5}$$

- in minimalna standardna negotovost merjenja periode, če izberemo najmanjšo vrednost delinika  $K = 1$ :

$$u_q(T) = \frac{K}{f_0 \sqrt{6}} = 4,082 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

$$w_q(T) = \frac{u(T)}{T} = 3,266 \cdot 10^{-5}$$

- Na podlagi izračunov izberemo merjenje periode, ki ima majšo standardno negotovost zaradi kvantizacijskega pogreška.
- Pri kvocientu neposredno merjenih veličin  $\Delta t/T$  zapišemo skupno standardno negotovost posredno merjene veličine  $\varphi$  v obliki:

$$w_q(\varphi) = \sqrt{w_q^2(T) + w_q^2(\Delta t)}$$

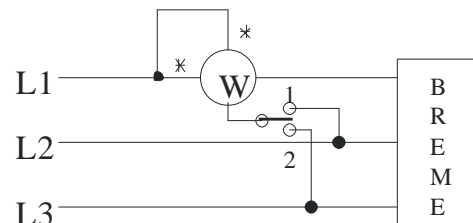
- Kvantizacijska negotovost merjenja časovnega zamika je večja kot pri merjenju periode zaradi manjšega števila preštetihih impulzov:

$$w_q(T) = 3,266 \cdot 10^{-5} < w_q(\Delta t) = \frac{u_q(T)}{\Delta t} = \frac{1}{f_0 \sqrt{6} \Delta t} = \frac{4,082 \cdot 10^{-8} \text{ s}}{2,30516 \cdot 10^{-4} \text{ s}} = 1,771 \cdot 10^{-4}$$

- Minimalna standardna negotovost zaradi kvantizacijskega pogreška pri merjenju faznega kota  $\varphi$  je tako:

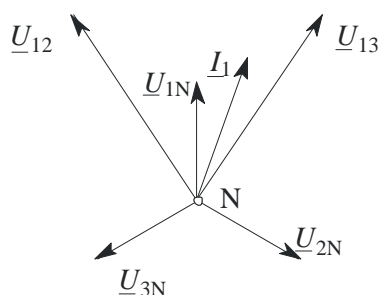
$$w_q(\varphi) = \sqrt{w_q^2(T) + w_q^2(\Delta t)} = 1,801 \cdot 10^{-4} \rightarrow w_q(\varphi) = 1,8 \cdot 10^{-4}$$

5. Dokažite, kakšno moč dobimo, če z vatmetrom izmerimo moč, ko je stikalo v položaju 1 in prištejemo moč, ki jo izmerimo, ko je stikalo v položaju 2? Narišite fazorski (kazalčni) diagram! Ali mora biti pri tovrstni meritvi breme simetrično? Kaj pa trifazni vir, ali mora biti uravnotežen?



### Rešitev:

- Če seštejemo odčitka, ko je vatmeter v položajih 1 in 2, dobimo moč trifaznega bremena. Toda samo, če je breme simetrično oziroma trifazni vir uravnotežen, torej trifazni sistem uravnotežen.
- Fazorski (kazalčni) diagram



- Ko je preklopnik v položaju 1, je odklon vatmetra enak

$$P_{W1} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ \underline{U}_{12} \underline{I}_1^* \} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ (\underline{U}_{1N} - \underline{U}_{2N}) \underline{I}_1^* \},$$

- Ko pa je v položaju 2, pa

$$P_{W2} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ \underline{U}_{13} \underline{I}_1^* \} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ (\underline{U}_{1N} - \underline{U}_{3N}) \underline{I}_1^* \}.$$

- Če seštejemo oba odčitka, dobimo

$$P_{W1} + P_{W2} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ [(\underline{U}_{1N} - \underline{U}_{2N}) \underline{I}_1^* + (\underline{U}_{1N} - \underline{U}_{3N}) \underline{I}_1^*] \}$$

- To pa je enako skupni moči sistema

$$P_{W1} + P_{W2} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \{ 3 \underline{U}_{1N} \underline{I}_1^* \} = P,$$

- saj je  $-(\underline{U}_{2N} + \underline{U}_{3N}) = \underline{U}_{1N}$ .