

Rešitve nalog – MERITVE 2. del

1. Koliko mora biti izolacijska upornost voltmetra $R_Z = ?$, s katerim merimo diagonalno napetost odklonskega četrtinskega mostiča $R_{10} = R_2 = R_3 = R_4 = 1\text{k}\Omega$, $U_0 = 4\text{V}$, $R_V \gg R_{10}$, da bo vpliv motilne sofazne napetosti manjši od enega odstotka, pri spremembi upora $\Delta R_1/R_{10} = 0,01$. Upornosti vezi zanemarite.

Rešitev:

- Merjena diagonalna napetost odklonskega četrtinskega mostiča pri pogoju, da je upornost voltmetra zelo velika $R_V \gg R_{10}$, je enaka:

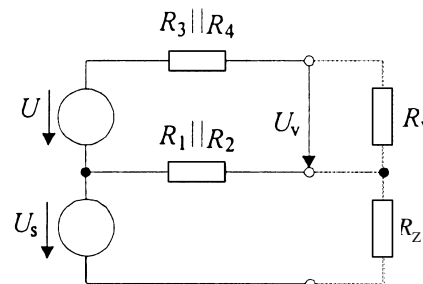
$$U_s = \frac{U_0}{4} \frac{\Delta R_1}{R_{10}} = 10\text{mV}$$

- Vpliv motilne sofazne napetosti $U_s \approx U_A \approx U_B \approx U_0/2 = 2\text{V}$ (velja za mostič z enakimi upornostmi) naj bo pod odstotkom merjene napetosti:

$$U_{m,s} \leq 0,01 \cdot U_s = 100\mu\text{V}$$

- Prispevek sofazne napetosti na vhodu voltmetra $U_{m,s}$ določa napetostni delilnik nadomestne notranje upornosti mostiča $R_1 \parallel R_2$ v spodnji veji in izolacijske upornosti R_Z , ker se ves padec napetosti z upornosti $R_1 \parallel R_2$ prenese neposredno na vhod voltmetra zaradi velike vhodne upornosti voltmetra $R_V \gg R_3 \parallel R_4$:

$$U_{m,s} = U_s \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + R_Z}$$



- Izolacijsko upornost voltmetra določimo iz enačbe:

$$\frac{U_{m,s}}{U_s} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + R_Z} = \frac{500\Omega}{500\Omega + R_Z} = \frac{10^{-4}\text{V}}{2\text{V}} = 5 \cdot 10^{-5}$$

$$\rightarrow R_Z \geq 9,9995\text{M}\Omega \approx 10\text{M}\Omega$$

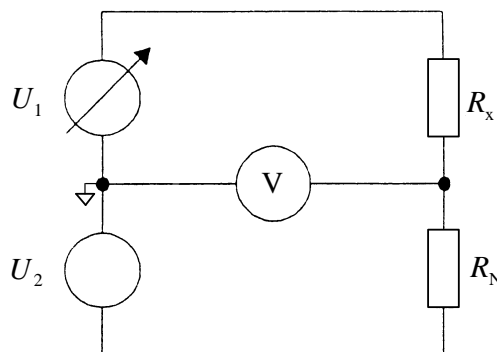
- Pri tem je slabljenje sofaznega signala izraženo v decibelih enako:

$$20\log \frac{U_{m,s}}{U_s} = 20\log(5 \cdot 10^{-5}) \approx -86\text{dB}$$

2. Z aktivnim mostičem z dvema enosmernima napetostnima viroma merimo upornost R_x . Po končanem uravnovešanju smo odčitali napetosti virov $U_1 = 1,000 \text{ V}$ ter $U_2 = -2,000 \text{ V}$. Za R_2 smo izbrali etalonski upor 1000Ω . Kolikšen je sistematični pogrešek izmerjene R_x , če nismo upoštevali lastnega pogreška voltmetra $E_V = -5 \text{ mV}$? Voltmeter in enosmerna vira imajo isto skupno točko. $R_V \gg R_x, R_2$

Rešitev:

- Vežalna shema:



- Če voltmeter nima lastnega pogreška, je ravnovesna enačba $\frac{U_1}{R_x} + \frac{U_2}{R_N} = 0$ in od

tod dobimo: $R_x^0 = R_N \frac{U_1}{|U_2|} = 500 \Omega$

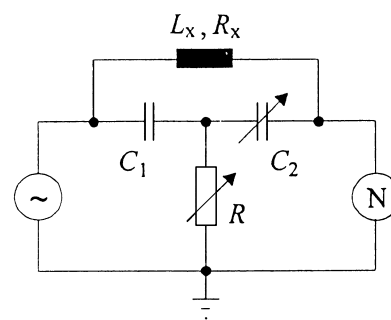
- Lastni pogrešek voltmetra doda sistematični zamik v ravnovesni enačbi:

$$\frac{U_1 - E_V}{R_x} = \frac{|U_2| + E_V}{R_N} \rightarrow R_x = R_N \frac{1,000 \text{ V} + 5 \text{ mV}}{2,000 \text{ V} - 5 \text{ mV}} = 503,76 \Omega$$

- Sistematični pogrešek merjenja R_x zaradi lastnega pogreška voltmetra je:

$$E = R_x - R_x^0 = 3,76 \Omega$$

3. Podajte merilno območje za induktivnost tuljave, ki jo merimo s premoščenim T-vezjem (ravnovesje: $\underline{Y}_A + \underline{Y}_x = 0$) pri frekvenci napetostnega vira $f = 10\text{kHz}$, če je kondenzator $C_1 = 150\text{nF}$ in lahko spreminjamo kapacitivno dekada $10\text{nF} \leq C_2 \leq 200\text{nF}$ in uporovno dekada $1\text{k}\Omega \leq R \leq 10\text{k}\Omega$!



$$\underline{Y}_A = \frac{j\omega C_1 \cdot j\omega C_2}{j\omega C_1 + j\omega C_2 + 1/R}$$

Rešitev:

- Ničelni indikator bo ostal brez odklona, ko bo $\underline{Y}_A + \underline{Y}_x = 0$:

$$\frac{j\omega C_1 \cdot j\omega C_2}{j\omega C_1 + j\omega C_2 + 1/R} + \frac{1}{R_x + j\omega L_x} = 0$$

- Ko izenačimo imaginarni del enačbe z nič, dobimo $\omega L_x = \frac{C_1 + C_2}{\omega C_1 C_2}$ in od tod:

$$L_x = \frac{1}{\omega^2} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

- V našem primeru se spreminja samo C_2 :

- $C_2 = 10\text{nF}$: $L_x = \frac{1}{(2\pi \cdot 10000)^2} \left(\frac{1}{150\text{nF}} + \frac{1}{10\text{nF}} \right) = 27,02\text{mH}$

- $C_2 = 200\text{nF}$: $L_x = \frac{1}{(2\pi \cdot 10000)^2} \left(\frac{1}{150\text{nF}} + \frac{1}{200\text{nF}} \right) = 2,955\text{mH}$

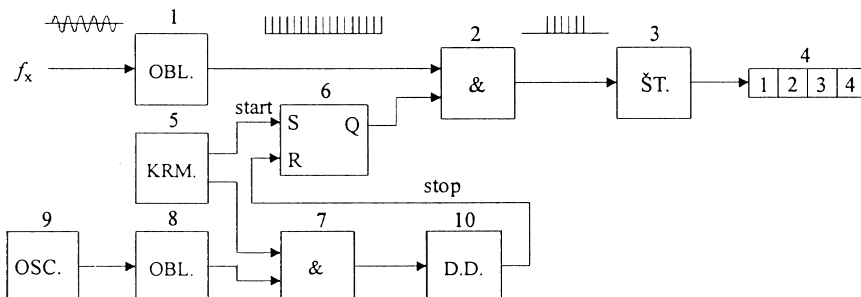
- Pri danih pogojih lahko induktivnost tuljave merimo v območju:

$$2,955\text{mH} \leq L_x \leq 27,02\text{mH}$$

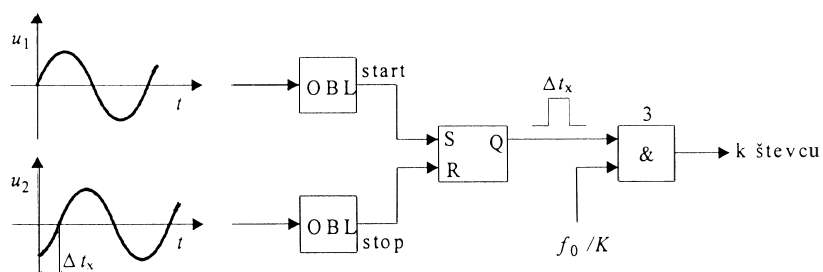
4. Narišite blokovno shemo univerzalnega elektronskega števca pri merjenju frekvence in časovnega zamika. Izračunajte kot φ , če imamo pri merjenju frekvence $Z_1 = 10000$, $K_1 = 10^8$ in pri merjenju časovnega premika $Z_2 = 100$, $K_2 = 10$! Koliko je standardna negotovost zaradi kvantizacijskega pogreška pri merjenju kota?

Rešitev:

- Shema števca pri merjenju frekvence:



- Shema števca pri merjenju časovnega zamika:



- Kot φ določimo z merjenjem frekvence in časovnega zamika (časa):

$$\varphi = 2\pi \cdot f_x \cdot \Delta t_x = 2\pi \cdot \frac{Z_1}{K_1 T_0} \cdot K_2 T_0 Z_2 = 2\pi \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot Z_1 Z_2 = 2\pi \cdot 0,1$$

$$\square f_x = \frac{Z}{T_M} = \frac{Z_1}{K_1 T_0}$$

$$\square \Delta t_x = \frac{Z_2}{f_0 / K_2} = K_2 T_0 Z_2$$

$$\square \text{Kot } \varphi \text{ je: } \varphi = 2\pi \cdot 0,1 = 0,6283 \text{ rad ali } \varphi \cong 360^\circ \cdot 0,1 = 36^\circ$$

- Standardna negotovost zaradi kvantizacijskega pogreška.

- Pri produktu merjenih veličin splošno zapišemo:

$$w(\varphi) = \sqrt{w^2(f) + w^2(\Delta t)}$$

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

$$w_q(f) = \frac{m_q(f)}{\sqrt{6}} = \frac{1}{Z_1 \sqrt{6}} \ll w_q(\Delta t) = \frac{m_q(\Delta t)}{\sqrt{6}} = \frac{1}{Z_2 \sqrt{6}}$$

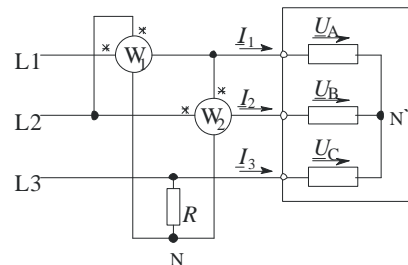
$$\square w_q(\varphi) \approx w_q(\Delta t) = 4,08 \cdot 10^{-3}$$

5. V trifaznem sistemu želite meriti jalovo moč nesimetričnega bremena. Kateri pogoji morajo biti izpolnjeni, da jo lahko merite z dvema vatmetroma? Koliko znaša, če kaže prvi vatmeter $P_1 = 30,1\text{W}$ in drugi $P_2 = 25,1\text{W}$?

Rešitev:

- Jalovo moč lahko izmerimo z dvema W-metroma, z vezavo na sliki, če imamo:

- trifazni **trivodni** sistem,
- uravnovešen trifazni vir in pravilno fazno zaporedje,
- ter dodatni upor $R = R_{W1,n} = R_{W2,n}$ za določitev težiščne točke simetričnega trikotnika, da dobimo fazno napetost, ki je za 90° zamaknjena proti medfazni napetosti.



- Ker je v trivodnem sistemu vsota tokov nič, lahko zapišemo $\underline{I}_3^* = -(\underline{I}_1^* + \underline{I}_2^*)$ in jalovo moč izrazimo s: $Q = \frac{1}{2} \text{Im} \{ (\underline{U}_A - \underline{U}_C) \underline{I}_1^* + (\underline{U}_B - \underline{U}_C) \underline{I}_2^* \}$
 - Pri simetričnem napajanju zapišemo za napetost med fazama 1 in 3: $\underline{U}_A - \underline{U}_C = \underline{U}_{13} = \sqrt{3} \underline{U}_{2N} e^{j90^\circ}$
 - in za napetost med fazama 2 in 3: $\underline{U}_B - \underline{U}_C = \underline{U}_{23} = \sqrt{3} \underline{U}_{1N} e^{-j90^\circ}$
- Skupno jalovo moč merimo z dvema vatmetroma:

$$Q = \frac{1}{2} \text{Im} \left\{ \sqrt{3} \underline{U}_{2N} \underline{I}_1^* e^{j90^\circ} + \sqrt{3} \underline{U}_{1N} \underline{I}_2^* e^{-j90^\circ} \right\}$$

$$Q = \sqrt{3} \left[\frac{1}{2} \text{Im} \left\{ \underline{U}_{2N} \underline{I}_1^* e^{j90^\circ} \right\} + \frac{1}{2} \text{Im} \left\{ \underline{U}_{1N} \underline{I}_2^* e^{-j90^\circ} \right\} \right]$$

$$Q = \sqrt{3} \left[\frac{1}{2} \text{Re} \left\{ \underline{U}_{2N} \underline{I}_1^* \right\} - \frac{1}{2} \text{Re} \left\{ \underline{U}_{1N} \underline{I}_2^* \right\} \right]$$

- $Q = \sqrt{3} (P_{W1} - P_{W2}) = \sqrt{3} (30,1\text{W} - 25,1\text{W}) = 8,7\text{VAr}$

