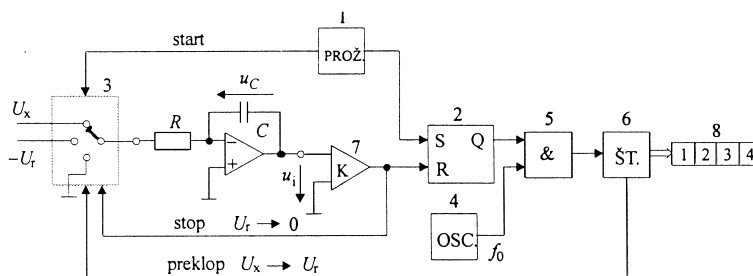


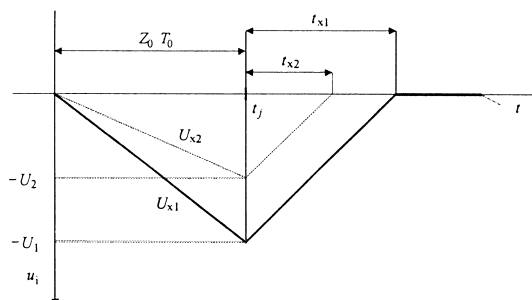
Rešitve nalog – MERITVE 2. del

1. Dano je vezje integracijskega analogno-digitalnega pretvornika z dvojnim naklonom. Razložite delovanje vezja in izpeljite enačbo za vrednost na prikazovalniku 8. V katerem delu pretvorbe se zmanjša vpliv izmeničnega motilnega signala?



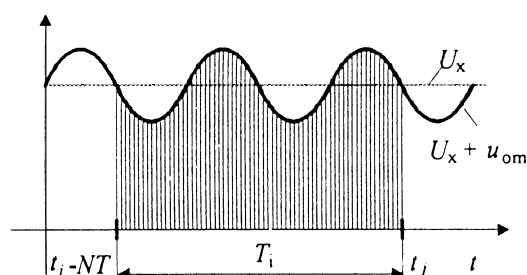
Rešitev:

- Imamo dva takta integriranja, ki se izvaja s pomočjo kondenzatorja C v negativni povratni zanki ojačevalnika. Napetost integracije je enaka napetosti na kondenzatorju: $u_i \approx u_C$
- Za prvi takt velja: :



- vsota tokov na vhodu integratorja nam da povezavo veličin: $\frac{U_x}{R} + C \frac{du_i}{dt} = 0$
 - in po integraciji dobimo: $\int_0^{-U_1} du_i = -\frac{1}{RC} \int_{t_j - Z_0 T_0}^{t_j} U_{x1} dt \Rightarrow U_1 = \frac{Z_0 T_0}{RC} \bar{U}_{x1}$
- Za drugi takt, kjer se integrira referenčna napetost $-U_r$, velja:
 - za vsoto tokov na vhodu integratorja zapišemo: $-\frac{U_r}{R} + C \frac{du_i}{dt} = 0$
 - in po integraciji dobimo: $\int_{-U_1}^0 du_i = \frac{1}{RC} \int_{t_j}^{t_j + t_{x2}} U_r dt \Rightarrow U_1 = \frac{t_{x2}}{RC} U_r$
- Izenačenje napetosti obeh integracij U_1 nam da: $t_{x1} = \frac{Z_0 T_0}{U_r} \bar{U}_{x1}$
 - ker je $Z = \frac{t_{x1}}{T_0}$, dobimo: $Z = \frac{Z_0}{U_r} \bar{U}_{x1}$
 - točnost pretvornika ni odvisna od R in C pa tudi f_0 ne!
- Vpliv izmeničnega motilnega signala se zmanjša v prvem taktu pretvorbe, če je čas integracije enak mnogokratniku periode motilnega signala $T_i = Z_0 T_0 \approx N \cdot T$

$$\bar{U}_j = \frac{1}{NT} \int_{t_j - NT}^{t_j} (U_x + u_{\text{omr}}) dt = U_x + \frac{1}{NT} \int_{t_j - NT}^{t_j} u_{\text{omr}} dt \approx U_x$$



2. Za koliko se relativno spremeni vrednost uporovne dekade R_A na preciznem mostiču, ki ga uporabimo kot Wheatstonov in nato kot Kelvinov (Thomsonov) mostič - $R_B = 1000\Omega$, $R_N = 10,000(1 \pm 10^{-4})m\Omega$ - za merjenje neznane upornosti $R_x \approx 0,02\Omega$? Upornost uporabljenih vezi je $R_{vez} = 1m\Omega$. Uporabite in skicirajte vezji z najmanjšim pogreškom vezave uporov! Pri obeh mostičih morajo biti uporabljene vse dekade upora $R_A = 10 \times (1000_100_10_1_0,1)\Omega$.

Rešitev:

- Če hočemo izkoristiti vse dekade upora R_A , mora biti vrednost v mejah $11111\Omega \geq R_A \geq 1000\Omega$. To dosežemo s priključitvijo, kjer imamo razmerje uporov:

$$\frac{R_x}{R_N} = \frac{20m\Omega}{10m\Omega} = 2 = \frac{R_A}{R_B} \rightarrow \frac{R_A^\circ}{R_B} = \frac{2000\Omega}{1000\Omega}$$

- Wheatstonov** mostič ne odpravlja vpliva upornosti vezi R_{vez} med R_x in R_N , ki predstavlja bistveni sistematični pogrešek pri merjenju majhnih upornosti. Ker jo moramo priključiti k enemu uporov, je bolje, da jo priključimo k R_x , ki je v našem primeru večji kot R_N in je pogrešek priključitve manjši. Ničelni indikator tako priključimo na napetostno sponko R_N (vezava B) in v ravnovesju dobimo:

$$\frac{R_x + R_{vez}}{R_N} = \frac{21m\Omega}{10m\Omega} = 2,1 = \frac{R_A^*}{R_B} = \frac{2100\Omega}{1000\Omega} \text{ in pogrešek } \Delta R_A^* = R_A^* - R_A^\circ = 100\Omega$$

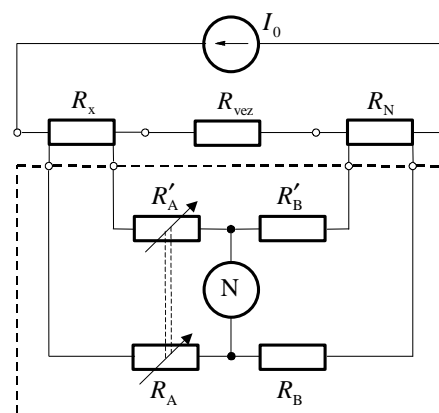
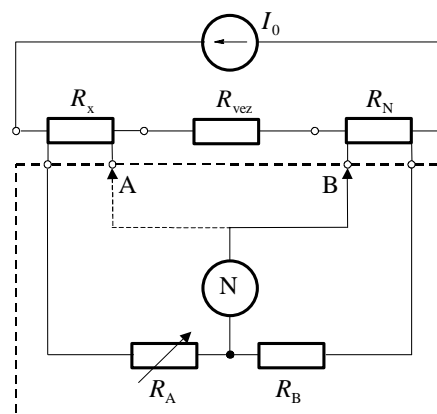
- pri vezavi A bi dobili: $\frac{R_x}{R_N + R_{vez}} = \frac{20m\Omega}{11m\Omega} = 1,81818 = \frac{R_A^{**}}{R_B} = \frac{1818,2\Omega}{1000\Omega}$
in pogrešek $\Delta R_A^{**} = R_A^{**} - R_A^\circ = -181,8\Omega$

- Kelvinov** (Thomsonov) mostič, ki je namenjen za merjenje majhnih upornosti, močno zmanjša vpliv upornosti vezi. Ničelni indikator se s pomočjo dodatnih dveh uporov R'_A in R'_B navidezno priključi med R_x in R_N tako, da se R_{vez} razdeli v enakem razmerju, kot je razmerje R_x/R_N .

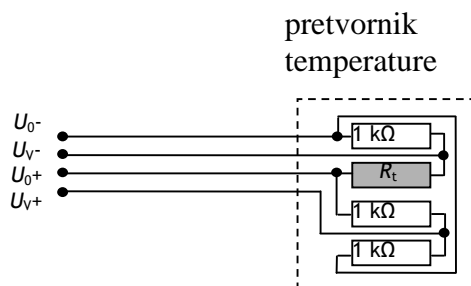
$$\frac{R_x}{R_N} = 2 = \frac{R_A}{R_B} \rightarrow \frac{R_A^\circ}{R_B} = \frac{2000\Omega}{1000\Omega}$$

- Pri prehodu iz vezave Wheatstonovega mostič v vezavo Kelvinovega mostič se vrednost upornosti R_A zmanjša in relativno spremeni za:

$$\delta = \frac{R_A^\circ}{R_A^*} - 1 = \frac{2000\Omega}{2100\Omega} - 1 = -0,048 \rightarrow -4,8\%$$

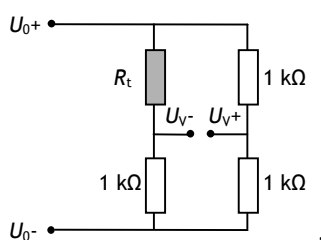


3. Uporovni senzor temperature R_t vežemo skupaj s tremi temperaturno neodvisnimi upori $1\text{ k}\Omega$ v pretvornik temperature kot na sliki. Po priključitvi napajanja U_0 kaže voltmetr na izhodu pretvornika $U_V = 5\text{ mV}$. Koliko kaže voltmeter, če priključitev voltmetra in napajanja medsebojno zamenjamo ($U_{0^-} \leftrightarrow U_{V^-}$; $U_{0^+} \leftrightarrow U_{V^+}$)? Dokažite!

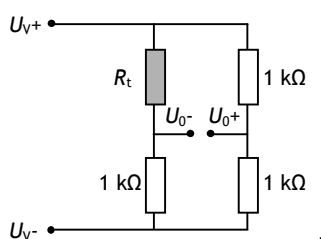


Rešitev:

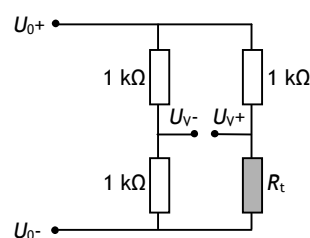
- Pretvornik na sliki lahko preoblikujemo v naslednje vezje:



- kar glede na tri temperaturno nespremenljive upore predstavlja **četrtnski** mostič.
- Če medsebojno zamenjamo priključke U_{0^-} in U_{V^-} ter U_{0^+} in U_{V^+} , dobimo naslednje vezje:



- ki ga ponovno lahko preoblikujemo v četrtnski mostič, ki ima enako karakteristiko, samo pozicija spremenljivega upora se spremeni.

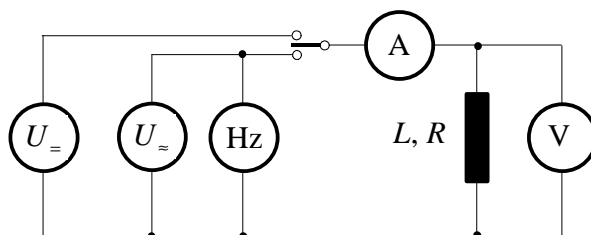


- Tudi ob zamenjavi priključkov bo voltmeter kazal enako napetost $U_V = 5\text{ mV}$.

4. Induktivnost tuljave brez feromagnetnega jedra merimo po U-I metodi. Pri merjenju z enosmernim virom nam kaže voltmeter $U_1 = 196,5 \text{ mV}$ in ampermeter $I_1 = 102,4 \text{ mA}$, z izmeničnim virom ($f = 50 \text{ Hz}$) pa dobimo $U_2 = 187,5 \text{ mV}$ in $I_2 = 89,5 \text{ mA}$. Koliko sta induktivnost in faktor kvalitete Q tuljave, če smo uporabili voltmeter z veliko upornostjo in smo lahko sistematični pogrešek zanemarili? Skicirajte vezje!

Rešitev:

- Narisano je merilno vezje, kjer smo vezali voltmeter neposredno na impedanco, saj lahko sistematični pogrešek priključitve zanemarimo $R_v \gg 1$:



- Skupno impedanco tuljave sestavljata upornost navitja (realna komponenta) in induktivnost tuljave (imaginarna komponenta). Za serijsko nadomestno vezavo, ki prevladuje pri analizi realnih tuljav, zapišemo skupno impedanco v obliki $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$.

- Od tod izrazimo induktivnost: $L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2}$
- Pri merjenju v enosmernih razmerah dobimo z U-I metodo omsko upornost navitja: $R = U_1 / I_1 = 1,9189 \Omega$
- Pri merjenju v izmeničnih razmerah dobimo z U-I metodo skupno impedanco: $Z = U_2 / I_2$
- Sedaj lahko ovrednotimo induktivnost

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2} = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U_2}{I_2}\right)^2 - \left(\frac{U_1}{I_1}\right)^2}$$

$$L = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz}} \sqrt{\left(\frac{187,5 \text{ mV}}{89,5 \text{ mA}}\right)^2 - \left(\frac{196,5 \text{ mV}}{102,4 \text{ mA}}\right)^2} = 2,6756 \text{ mH}$$

- Faktor kvalitete Q tuljave je razmerje jalove moči z delovno. Pri serijskem nadomestnem vezju je:

$$Q = \frac{I^2 \omega L_s}{I^2 R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s}$$

- Po vstavitvi vrednosti za L , R in f dobimo:

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi f L}{R} = \frac{0,8406}{1,9189} = 0,438$$

5. Radi bi merili frekvenco $f_x = 5\text{kHz}$ z univerzalnim elektronskim števcem tako, da bi bil mejni kvantizacijski pogrešek pod 0,01% .
- Kolikšen naj bo čas merjenja T_M ?
 - Kaj kaže (številna vrednost in enota)?
 - Koliko mest N mora imeti prikazovalnik?
 - Koliko impulzov Z prešteje števec v T_M ?

Rešitev:

- a) Mejni kvantizacijski pogrešek je razmerje izmerjene vrednosti in časa merjenja. Upoštevati moramo, da naj bi bil kvantizacijski pogrešek manjši od navedenega. Ker smo merili frekvenco, torej velja:

$$m_f = \frac{T_x}{T_M} = \frac{1}{T_M f_x}$$

- Čas merjenja bi moral biti: $T_M = \frac{1}{m \cdot f_x} = \frac{1}{10^{-4} \cdot 5\text{kHz}} = 2\text{s}$
 - Ker lahko na univerzalnem elektronskem števcu nastavimo samo okrogle desetiške vrednosti časa merjenja, in ker je mejni kvantizacijski pogrešek čim manjši, tem večji je čas merjenja (glej prvo enačbo), moramo zato čas merjenja nastaviti na: $T_M' = 10\text{s}$
- b) Da bi ugotovili, kaj števec prikazuje na zaslonu, moramo najprej izračunati absolutni kvantizacijski pogrešek.

$$M_f = m_f f_x = \frac{T_x}{T_M'} \frac{1}{T_x} = \frac{1}{T_M'} = 0,1\text{Hz}$$

- Ker je absolutni kvantizacijski pogrešek 0,1Hz, pomeni, da inštrument prikazuje desetine Hz izmerjene frekvence. Prikazana vrednost je:

$$f_i = 5000,0\text{Hz}$$

- c) Število mest, ki jih mora imeti prikazovalnik, je razvidno iz prikazane vrednosti, torej

$$N = 5$$

- d) Število impulzov Z , ki jih števec prešteje v času merjenja, je enako produktu merjene frekvence in časa merjenja.

$$Z = f \cdot T_M' = 5\text{kHz} \cdot 10\text{s} = 50\,000$$