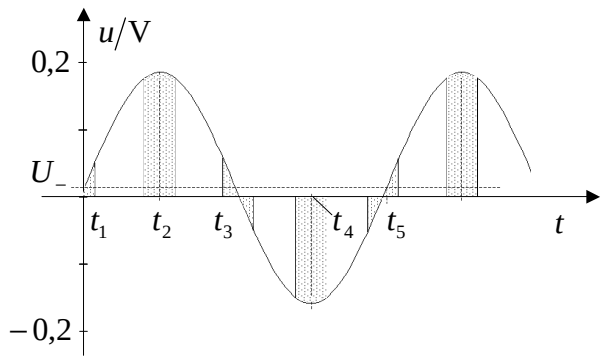
Rešitve nalog – MERITVE 2. del

1. Z integrirajočim ADP smo vzorčili sinusni signal $f = 50\,\mathrm{Hz}$ s časom integracije $T_{\mathrm{i}1} = 2\,\mathrm{ms}$ in vzorčno frekvenco $f_{\mathrm{S}} = 200\,\mathrm{Hz}$. Dobili smo zaporedje vzorčnih vrednosti napetosti, ki se po štirih začno ponavljati: $\overline{U}(t_1) = 0{,}014\,\mathrm{V}$, $\overline{U}(t_2) = 0{,}191\,\mathrm{V}$, $\overline{U}(t_3) = 0{,}014\,\mathrm{V}$, $\overline{U}(t_4) = -0{,}163\,\mathrm{V}$, $\overline{U}(t_5) = 0{,}014\,\mathrm{V}$ ... Koliko znaša amplituda vhodnega sinusnega signala? Skicirajte razmere!

$$\overline{U} = \hat{u}\,\frac{\sin \omega T_{\mathrm{i}}/2}{\omega T_{\mathrm{i}}/2}$$

Rešitev:

- Skica vzorčenja:



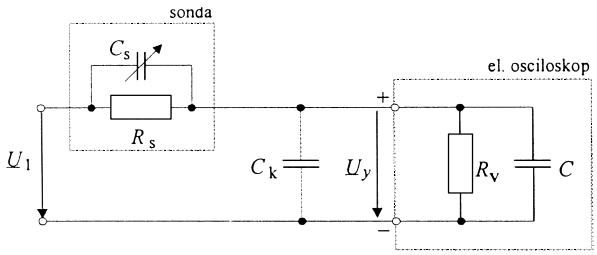
- Ker se vrednosti vzorca ponavljajo pri vsakem drugem vzorcu in je frekvenca vzorčenja $f_{\mathrm{S}} = 200\,\mathrm{Hz}$ 4-krat večja od $f = 50\,\mathrm{Hz}$, je ta vrednost enaka vrednosti prehoda izmeničnega dela signala mimo enosmernega nivoja $U_{_} = 0{,}014\,\mathrm{V}$ pri obeh strminah. Povzorčeni signal je sestavljen iz enosmerne komponente (prispevek ADP) in sinusnega signala. Zaradi integracijskega delovanja ADP je zmanjšana amplituda enaka:

$$\overline{U} = \overline{U}(t_2) - U_{_} = \overline{U}(t_4) + U_{_} = 0{,}177\,\mathrm{V}$$

- Amplitudo sinusnega signala izračunamo iz:

$$\hat{u} = \overline{U}\,\frac{\pi f T_{\mathrm{i}}}{\left|\sin(\pi f T_{\mathrm{i}})\right|} = \overline{U} \cdot 1{,}01669 = 0{,}180\,\mathrm{V}$$

2. Koliko morata biti upornost $R_s = ?$ in kapacitivnost $C_s = ?$ frekvenčno kompenzirane napetostne sonde, da bo zmanjšan nivo vhodnega signala na osciloskopu ($R_V = 1\,\mathrm{M\Omega}$, $C = 30\,\mathrm{pF}$) z razmerjem $10:1$? Za povezavo je uporabljen koaksialni kabel ($C_k/l = 50\,\mathrm{pF/m}$) dolžine $l = 1{,}2\,\mathrm{m}$.



Rešitev:

- Razmerje sonde $10:1$ mora veljati tudi za enosmerne signale, zato napetostni delilnik določata upora sonde R_s in vhodne upornosti R_V:

$$\frac{U_y}{U_1} = \frac{1}{10} = \frac{R_V}{R_V + R_s} \quad \rightarrow \quad \frac{R_V}{R_s} = \frac{1}{9}, \quad R_s = 9R_V = 9\,\mathrm{M\Omega}$$

- Če želimo, da je napetostna sonda frekvenčno kompenzirana, mora bit izpolnjen pogoj:

$$R_s \cdot C_s = R_V \cdot C_V$$

- Vhodno kapacitivnost delinika C_V sestavljata kapacitivnost povezovalnega kabla C_k in kapacitivnost vhoda osciloskopa C_{osc}:

$$C_V = C_{osc} + C_k = C_{osc} + l\frac{C_k}{l} = 30\,\mathrm{pF} + 1{,}2\,\mathrm{m}\frac{50\,\mathrm{pF}}{\mathrm{m}} = 90\,\mathrm{pF}$$

- Sedaj lahko izračunamo potrebno kapacitivnost frekvenčno kompenzirane sonde:

$$C_s = \frac{R_V \cdot C_V}{R_s} = \frac{1}{9} \cdot 90\,\mathrm{pF} = 10\,\mathrm{pF}$$

3. Pri Kelvinovem (Thomsonovem) mostiču uporabimo za ničelni indikator voltmeter z veliko upornostjo. Koliko mora biti ločljivost voltmetra, če želimo razločiti spremembo merjene upornosti $1\mu\Omega$? $R_x \approx R_N = 5\,\mathrm{m}\Omega$; $I_0 = 5\,\mathrm{A}$

$$\delta_q = \frac{(\Delta R_1)_q}{R_{10}} = \frac{(\Delta I_5)_q}{U_0}\left[R_{10} + R_2 + R_3 + R_4 + R_5\left(R_{10}/R_2 + 2 + R_2/R_{10}\right)\right]$$

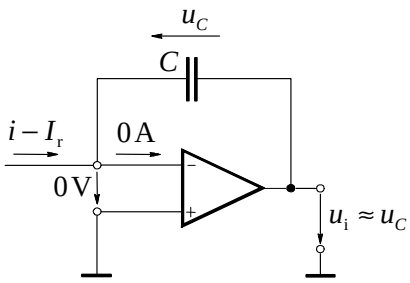
Rešitev:

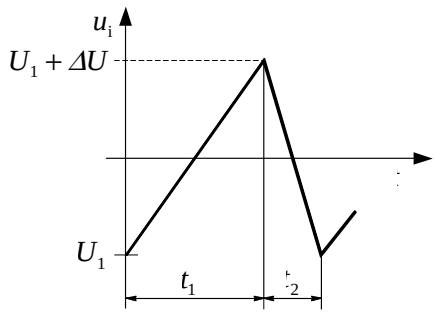
- Ob upoštevanju naslednjih dejstev:
  - velika upornost ničelnega indikatorja ($R_5 >> R_{10}, R_2, R_3, R_4$) nam tokovno občutljivost spremeni v napetostno:
    $$(\Delta U_5)_q = R_5 \cdot (\Delta I_5)_q);$$
  - in enakost upornosti: $R_x \approx R_N \quad \rightarrow \quad R_{10} \approx R_2$;
- se izhodiščna enačba spremeni v:
  $$\delta_q = \frac{(\Delta R)_q}{R_x} = \frac{(\Delta U_5)_q}{U_0}\left(R_{10}/R_2 + 2 + R_2/R_{10}\right) \approx 4\frac{(\Delta U_5)_q}{U_0}$$
- Ker je mostič napajan s tokovnim virom in so vsi štirje upori enaki $R_{10} \approx R_2 \approx R_3 \approx R_4 = R$, zapišemo za U_0:
  $$U_0 = I_0 \frac{R_{10}}{R_3}\left(R_3 + R_4\right) \approx I_0 \cdot 2R$$
  - in vstavimo v izraz za ločljivost:
    $$\frac{(\Delta R)_q}{R} \approx 4\frac{(\Delta U_5)_q}{U_0} \approx 2\frac{(\Delta U_5)_q}{I_0 \cdot R}$$
- Če želimo ločiti $(\Delta R)_q = 1\mu\Omega$, mora biti ločljivost voltmetra:
  $$(\Delta U_5)_q = \frac{I_0 \cdot (\Delta R)_q}{2} = \frac{5\,\mathrm{A} \cdot 1\mu\Omega}{2} = 2{,}5\mu\mathrm{V}$$

4. V katerih mejah lahko pričakujemo razmerja časov $r = t_1/t_2$ pri elektronskem pretvorniku moči ($U_\mathrm{n} = 100\,\mathrm{V}$; $I_\mathrm{n} = 1\,\mathrm{A}$) z amplitudno širinsko modulacijo ($I_\mathrm{R} = 10\,\mathrm{mA}$)? Na tokovnem vhodu je tokovni merilni transformator s prestavnim razmerjem 1000:1. Skicirajte razmere.

Rešitev:

- Skica:





- Čas t_1 je določen s kapacitivnostjo C, histerezno napetostjo ΔU, referenčnim tokom I_r in merjenim tokom i: $t_1 = -\dfrac{C\,\Delta U}{i - I_\mathrm{r}} = \dfrac{C\,\Delta U}{I_\mathrm{r} - i}$.

- Podobno je določen tudi čas $t_2 = \dfrac{C\,\Delta U}{I_\mathrm{r} + i}$.

- Razmerja časov je $r = \dfrac{t_1}{t_2} = \dfrac{I_\mathrm{r} + i}{I_\mathrm{r} - i} = \dfrac{1 + \dfrac{i}{I_\mathrm{r}}}{1 - \dfrac{i}{I_\mathrm{r}}}$

- Temenska vrednost toka, ki določa največjo oz. najmanjšo trenutno vrednost merjenega toka, je enaka: $\hat{i} = \sqrt{2}\,\dfrac{1\,\mathrm{A}}{1000} = 1{,}4142\,\mathrm{mA}$.

- Maksimalna vrednost razmerja r je dosežena pri maksimalni vrednosti toka $\hat{i}$:

$$r_\mathrm{max} = \frac{1 + \dfrac{\hat{i}}{I_\mathrm{r}}}{1 - \dfrac{\hat{i}}{I_\mathrm{r}}} = 1{,}329$$

- Minimalna vrednost razmerja r je dosežena pri minimalni vrednosti toka $-\hat{i}$:

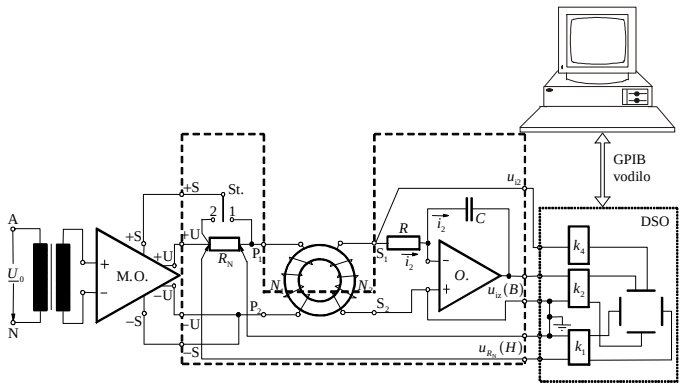
$$r_\mathrm{max} = \frac{1 - \dfrac{\hat{i}}{I_\mathrm{r}}}{1 + \dfrac{\hat{i}}{I_\mathrm{r}}} = 0{,}752$$

5. Pri merjenju dinamične histerezne zanke feromagnetnega jedra, pri sinusni obliki gostote magnetnega pretoka *B*, ste s primernim vezjem dobili dve izmerjeni vrednosti skupnih izgub v jedru. In sicer $P_{s1} = 1{,}125\,\text{W/kg}$ pri $F_1/F_0 = 1{,}211$ in $P_{s2} = 1{,}266\,\text{W/kg}$ pri $F_2/F_0 = 1{,}322$. Koliko znašajo skupne, histerezne in vrtinčne izgube pri $F_3/F_0 = 1$?

Rešitev:

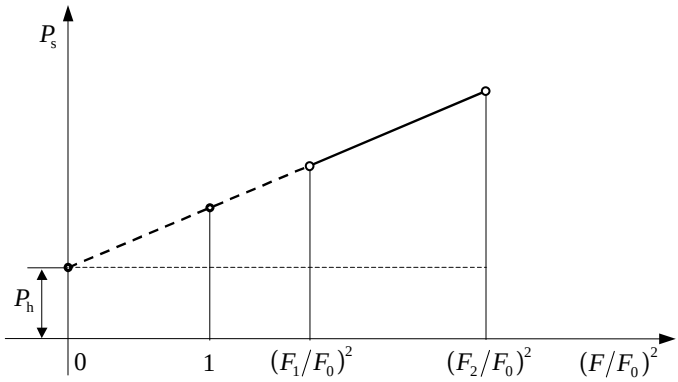
- $$P_s = aB_m^n f + b\frac{d^2B_m^2F^2f^2}{\rho} = P_h + P_e$$

  $$P_s = P_h + c\left(\frac{F}{F_0}\right)^2$$



- Iz dveh izmerjenih točk definiramo koeficiente premice, ki gre skozi izmerjeni točki.

  - $P_s = P_h + c\left(\frac{F}{F_0}\right)^2$
  - $P_{s1} = P_h + c\left(\frac{F_1}{F_0}\right)^2$
  - $P_{s2} = P_h + c\left(\frac{F_2}{F_0}\right)^2$



$$1{,}125 = P_h + c(1{,}211)^2$$

$$\underline{1{,}266 = P_h + c(1{,}322)^2}$$

$$1{,}266 - 1{,}125 = c\left((1{,}322)^2 - (1{,}211)^2\right) \quad \rightarrow \quad c = 0{,}502\,\text{W/kg}$$

- Če koeficient *c* vstavimo v eno od gornjih enačb, dobimo $P_h = 0{,}390\,\text{W/kg}$.
  - Histerezne izgube so konstantne: $P_{h1} = P_{h2} = P_{h3} = 0{,}390\ \text{W/kg}$
- Preračun izgub na $F_3/F_0 = 1$ se izvede z vstavitvijo podatkov v osnovno enačbo.

  $$P_{s3} = 0{,}390\,\text{W/kg} + 0{,}502\,\text{W/kg}\cdot(1)^2 = 0{,}891\,\text{W/kg}$$

- Vrtinčne izgube dobimo, če od skupnih izgub odštejemo histerezne.

  $$P_{e3} = P_{s3} - P_{h3} = 0{,}502\ \text{W/kg}$$