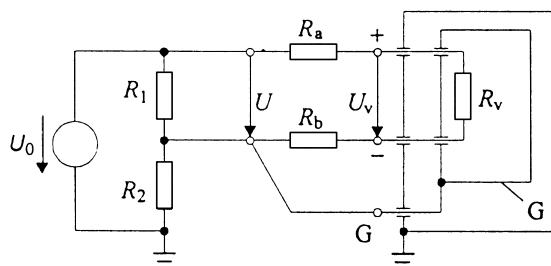


Rešitve nalog – MERITVE 2. del

1. Koliko kaže voltmeter z oklopljenim vhodom pri merjenju napetosti na uporu R_1 ? Voltmeter ($U_D = 5\text{ V}$, ločljivost: $\Delta U = 10\mu\text{V}$, $R_V = 10\text{ M}\Omega$) ima oklopljeni vhod, priključen kot je narisano na sliki. Narišite nadomestno shemo! Upornost med negativnim vhodom in okloпом je $R_G = 1\text{ G}\Omega$ ter okloпом in ozemlitvijo $R_Z = 1\text{ G}\Omega$. Koliko znaša sistematični pogrešek priključitve?

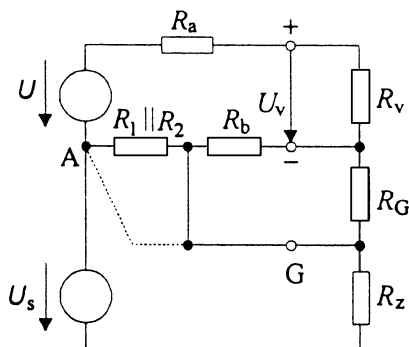
$$R_1 = R_2 = 100\text{ k}\Omega, U_0 = 10\text{ V}$$

$$R_a = R_b = 10\ \Omega$$



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 $R_G \gg R_b$ in $R_Z \gg R_1 \parallel R_2$, zapišemo za prispevek merjene napetosti na vhodu voltmetra (napetostni delilnik):

$$U_v = U \frac{R_V}{R_1 \parallel R_2 + R_b + R_a + R_V} = 5\text{ V} \cdot 0,995023 = 4,975114\text{ V} \rightarrow U_v = 4,97511\text{ V}$$

- Prispevek motilne sofazne napetosti na vhodu voltmetra je nekaj manjši, kot je padeč na nadomestnem uporu $R_1 \parallel R_2$:

$$U_{v,m} = U_s \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + R_Z} \frac{R_V}{R_a + R_b + R_V} \approx U_s \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + R_Z} = 5\text{ V} \cdot 4,999 \cdot 10^{-5} = 2,4998 \cdot 10^{-4}\text{ V}$$

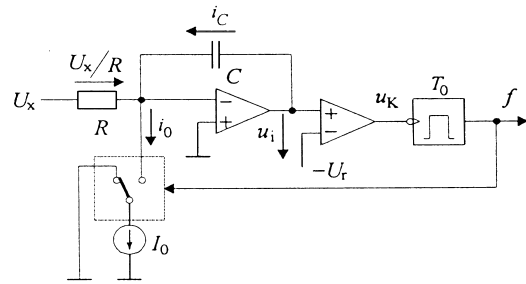
$$\rightarrow U_{v,m} = 0,00025\text{ V}$$

- Skupna napetost je: $U_{\text{skupna}} = U_v + U_{v,m} = 4,97536\text{ V}$

- Ker je prava vrednost merjene napetosti $U = 5\text{ V}$, je sistematični pogrešek zapisan v relativni oblik enak:

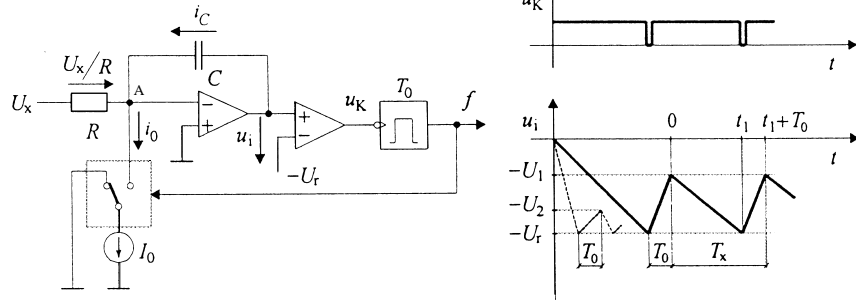
$$e = \frac{U_{\text{skupna}} - U}{U} = -0,0049 = -0,49\%$$

2. Dano vezje je del analogno-digitalnega pretvornika, ki uporablja frekvenco f kot vmesno veličino. Razložite delovanje vezja in izpeljite enačbo za f . Dodajte še manjkajoči del ADP!



Rešitev:

- **Vezje:**



- **Delovanje:**

- V času 0 do t_1 pade napetost u_i od $-U_1$ na $-U_r$. Iz vsote tokov na negativnem vходу operacijskega ojačevalnika (vozlišče A) dobimo:

$$\frac{U_x}{R} + C \frac{du_i}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{du_i}{dt} = -\frac{U_x}{CR}$$

- V času od t_1 do $t_1 + T_0$ naraste napetost u_i od $-U_r$ na $-U_1$, ker dodani tok $I_0 > U_x/R$ v času T_0 spremeni smer integracije:

$$\frac{U_x}{R} - I_0 + C \frac{du_i}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{du_i}{dt} = \frac{1}{C} \left(I_0 - \frac{U_x}{R} \right)$$

- Za en cikel izravnave naboja zapišemo:

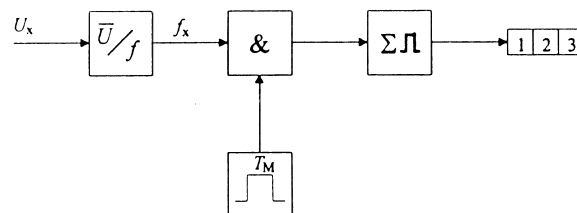
$$\int_{-U_1}^{-U_r} du_i + \int_{-U_r}^{-U_1} du_i = 0 = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} U_x dt + \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_1+T_0} \left(I_0 - \frac{U_x}{R} \right) dt$$

in od tod:
$$\frac{I_0 T_0}{C} = \frac{1}{RC} \int_0^{t_1} U_x dt + \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_1+T_0} U_x dt = \frac{1}{RC} \int_0^{t_1+T_0} U_x dt$$

- Iz $I_0 T_0 = \frac{T_x}{R} \frac{1}{T_x} \int_0^{t_1+T_0} U_x dt = \frac{1}{Rf_x} \bar{U}_x$ ($T_x = t_1 + T_0$) izrazimo frekvenco

ponavljanja:
$$f_x = \frac{1}{RI_0 T_0} \bar{U}_x$$

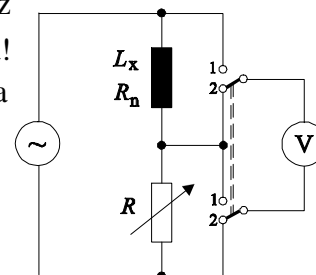
- Digitalizacija se izvrši s štetjem impulzov frekvence, ki je še analogna veličina in nosi informacijo o povprečni napetosti.



- IN vrata se odpro za določen čas T_M . Na števec pride $Z = f_x T_M$ impulzov, ki jih števec prešteje in prikaže na prikazovalniku.

$$Z = f_x T_M = \frac{T_M}{RI_0 T_0} \bar{U}$$

3. Izpeljite enačbo za neznano induktivnost L_x tuljave brez železnega jedra, katere upornost navitja R_n je znana! Spremenljivi upor z upornostjo R toliko časa spreminjamo, da kaže voltmeter v obeh položajih stikala enako.



Rešitev:

- Napetosti v položajih stikala 1 in 2 sta enaki: $U_1 = U_2 \rightarrow I \cdot Z_L = I \cdot R$
- Ker je impedanca tuljave $Z_L = \sqrt{(\omega \cdot L_x)^2 + R_n^2}$, zapišemo: $\sqrt{(\omega \cdot L_x)^2 + R_n^2} = R$
- Induktivnost tuljave je:

$$L_x = \sqrt{\frac{R^2 - R_n^2}{\omega^2}} \rightarrow L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{R^2 - R_n^2}$$

4. Izbrani voltmeter je prilagojen za evropsko tržišče in ima ob merjenju napetosti 5-mestni stabilni prikaz $U_i = 2,3810 \text{ V}$. Integracijski čas ima nastavljen na 1 periodo omrežne napetosti. Kolikšna je lahko amplituda sinusne omrežne motnje, da bi ob uporabi istega voltmetra v državi, kjer imajo omrežno frekvenco 60 Hz, pri merjenju iste napetosti dobili stabilen vsaj 4-mestni prikaz?

$$\bar{U}_{\text{omr}} = \hat{u}_{\text{omr}} \frac{\sin \omega T_i / 2}{\omega T_i / 2}$$

Rešitev:

- Stabilen 4-mestni prikaz pomeni, da se dodana motilna napetost spreminja v mejah zaokrožitve okoli vrednosti $U_i = 2,381 \text{ V}$:

$$U_i \pm \bar{U}_{\text{omr}} = [2,3805, 2,3815] \Rightarrow \bar{U}_{\text{omr,max}} < 0,5 \text{ mV}$$

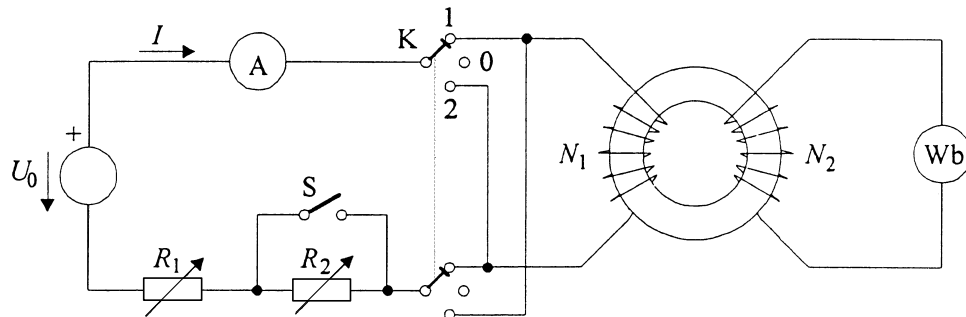
- Omrežna motnja je slabljena z integracijo. Ker integracijski čas ni mnogokratnik motilnega signala, imamo le delno slabljenje. Amplitudo sinusne omrežne motnje dobimo iz največje dopustne tekoče povprečne vrednosti \bar{U}_{omr} in obratne vrednosti slabljenja:

$$\begin{aligned} \hat{u}_{\text{omr}} &= \bar{U}_{\text{omr,max}} \frac{\omega T_i / 2}{\sin \omega T_i / 2} = 0,5 \text{ mV} \frac{\pi \cdot 60 \text{ Hz} \cdot 20 \text{ ms}}{\sin(\pi \cdot 60 \text{ Hz} \cdot 20 \text{ ms})} \\ &= 0,5 \text{ mV} \cdot 6,413 = 3,2068 \text{ mV} \end{aligned}$$

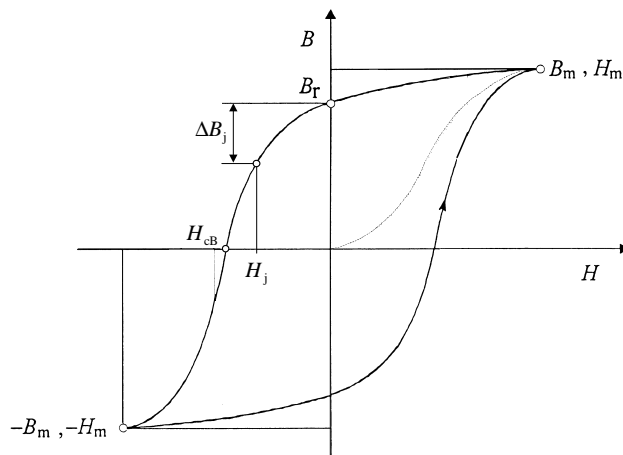
5. Skicirajte vezje za snemanje statične histerezne zanke in razložite:
- postopek nastavitve na zahtevano maksimalno magnetno indukcijo,
 - postopek merjenja razmagnetilne krivulje!

Rešitev:

- Vezje za snemanje statične histerezne zanke:



- Potek snemanja statične histerezne zanke:



- Najprej nastavimo B_m
 - K je v polžaju 1. Stikalo S sklenemo, s čimer povečamo tok, ki ga določa upor R_1 . Dosežemo točko (B_m, H_m) .
 - Komutiramo stikalo K . Iz dvojne vrednosti B_m zaradi komutiranja dobimo: $y_1 = \frac{2N_2 A}{c_F} B_m$
- Razmagnetilna krivulja:
 - Remanenčno indukcijo dobimo tako, da pri že nastavljeni vrednosti B_m izklopimo tok ($K \rightarrow 0$):

$$\Delta B = B_m - B_r = \frac{c_F y_r}{N_2 A} \Rightarrow B_r = B_m - \frac{c_F y_r}{N_2 A}$$

- Točke razmagnetilne krivulje med B_r in H_{cb} snemamo z razlikami ΔB_j pri vklapljanju toka v negativno smer (K v polžaj 2):

$$\Delta B_j = \frac{c_F y_j}{N_2 A} \rightarrow B_j = B_r - \Delta B_j; \quad H_j = \frac{I_j N_1}{l_{sr}}$$

- Do naslednjih točk pridemo po obhodu histereze:

$$\rightarrow (-B_m, -H_m) \rightarrow (B_m, H_m) \rightarrow B_r \rightarrow$$