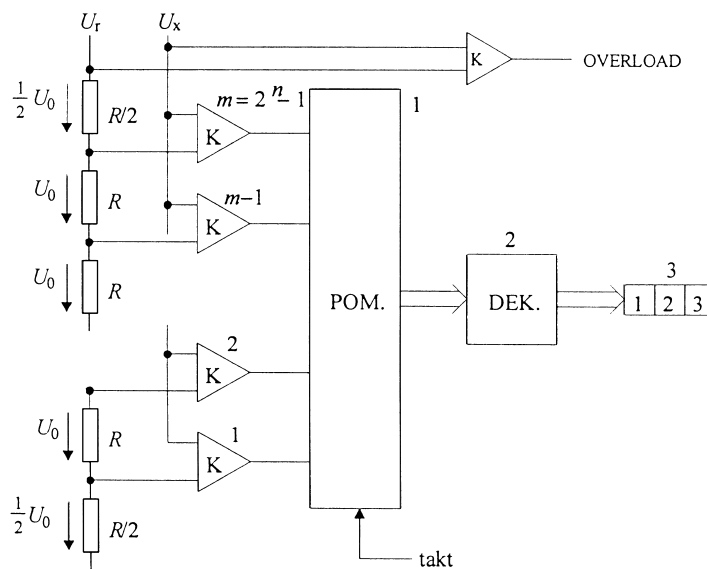


Rešitve nalog – MERITVE 2. del

1. Skicirajte vezje paralelnega A/D pretvornika in razložite princip delovanja. Koliko je potrebnih referenc in koliko korakov pretvorbe 8-bitnega A/D pretvornika? Kolikšna je lahko frekvenca sinusne vhodne napetosti, da bodo vsi biti verodostojni, če je čas enega takta $t = 1\text{ ns}$?

Rešitev:

- Paralelni trenutni pretvornik (flash converter):



- Postopek kvantizacije je pred vzorčenjem!
- Referenčne napetosti so realizirane z uporovnim delilnikom
 - Komparatorji pod nivojem napetosti U_x imajo vrednost 1 in nad 0 - termometerska koda.
 - Eksponentno se poveča poraba pri realizaciji. Število potrebnih referenc in komparatorjev je $r = 2^n - 1$
- Uporablja se za zelo velike hitrosti pretvarjanja, ker se pretvoba izvrši v enem koraku ($k = 1$), zato je čas pretvorbe v našem primeru enak času takta $t_c = 1\text{ ns}$.
- Največja dopustna sprememba vhodne napetosti v času pretvorbe t_c naj bo manjša od ločljivosti ADP (Δ), da bodo vsi biti verodostojni:

$$\left| \frac{dU_x}{dt} \right|_{\max} = \frac{\Delta}{t_c} = \frac{U_D}{2^n t_c}; \quad U_D - \text{doseg ADP}$$

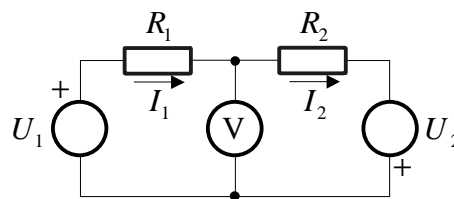
- Če je na vhodu sinusna napetost, imamo: $u_x = \hat{u} \sin \omega t \Rightarrow \left| \frac{du_x}{dt} \right|_{\max} = \omega \hat{u}$

- Kadar je ADP polno izkoriščen $\hat{u} = U_D/2$, je največja frekvenca signala:

$$2\pi f \hat{u} = 2\pi f \frac{U_D}{2} = \frac{U_D}{2^n t_c} \Rightarrow f = \frac{1}{2^n \pi t_c}$$

- in v našem primeru: $f = \frac{1}{2^8 \pi 1\text{ ns}} = 1,24\text{ MHz}$

2. Koliko bitov še lahko imata idealna D/A pretvornika napetostnih generatorjev ($U_D = 2,5\text{ V}$) v narisanim vezju za merjenje upornosti R_1 ($R_1 \doteq 1\text{ k}\Omega$; $U_1 = 1\text{ V}$; $U_2 = 2\text{ V}$ - v ravnovesju), da zazna voltmeter ($U_D = 10,000\text{ V}$; $R_V = 10\text{ M}\Omega$) spremembo amplitude napetosti zadnjega bita D/A pretvornika? Pokažite v enačbah!



Rešitev:

- Za obe napetostni zanki vezja velja:

$$U_1 = I_1 R_1 + U_V \quad \text{in} \quad U_2 = I_2 R_2 - U_V$$

- V ravnovesju $U_V = 0\text{ V}$ velja: $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \rightarrow R_2 = \frac{U_2}{U_1} R_1 = 2\text{ k}\Omega$
- Če mostiček ni v ravnovesju imamo $U_V \neq 0\text{ V}$. Ker je upornost voltmetra precej večja od obeh upornosti $R_V \gg R_1, R_2$, sta toka praktično enaka $I_1 \doteq I_2$ in zapišemo:

$$\frac{U_1 - U_V}{R_1} = \frac{U_2 + U_V}{R_2}$$

- in od tod izrazimo napetost voltmetra kot ničelnega indikatorja:

$$U_V = \frac{R_2 U_1 - R_1 U_2}{R_1 + R_2}$$

- Občutljivost dobimo z delnim odvajanjem:

$$\frac{\partial U_V}{\partial U_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow \Delta U_1 = \Delta U_V \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$\frac{\partial U_V}{\partial U_2} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} \rightarrow |\Delta U_2| = \Delta U_V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

- Iskani ločljivosti D/A pretvornikov sta:

$$\Delta U_1 = \frac{U_D}{2^{n_1}} = \Delta U_V \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1\text{ mV} \cdot 1,5$$

$$2^{n_1} = \frac{U_D}{1,5\text{ mV}} = 1666,6. \rightarrow n_1 = 10,7 \rightarrow 10$$

$$\Delta U_2 = \frac{U_D}{2^{n_2}} = \Delta U_V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 1\text{ mV} \cdot 3$$

$$2^{n_2} = \frac{U_D}{3\text{ mV}} = 833,3. \rightarrow n_2 = 9,7 \rightarrow 9$$

3. Kako se spremeni nelinearnost četrtinskega mostiča ($R_{1,0} = R_2 = R_3 = R_4 = R; R_5 \rightarrow \infty$), če namesto idealne karakteristike $U_5 = U_0 \delta R/4$ uporabimo premico, ki povezuje obe meji območja spreminjanja upora $0 \leq \delta R \leq 0,1$ pri realnem mostiču. Skicirajte razmere! Vezje napajamo z idealnim napetostnim generatorjem.

$$U_5 = U_0 \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

(pri izračunu nelinearnosti upoštevajte $\frac{1}{1+x} \approx 1-x \iff x \ll 1$)

Rešitev:

- Realna karakteristika: $U_5 = U_0 \frac{\delta R}{4(1 + \delta R/2)}$

- Idealna karakteristika, kadar je sprememba upornosti zanemarljiva $\delta R \ll 1$ in jo v imenovalcu zanemarimo:

$$U_5' \doteq U_0 \delta R/4 = 0,25 U_0 \delta R$$

- Nelinearnost je največja na zgornji meji območja $\delta R = 0,1$, kjer je odstopanje od idealne karakteristike največje:

$$n' = \frac{E'_{n,\max}}{U_D} = \frac{U_5 - U_5'}{U_5'} \Big|_{\delta R=0,1} = \frac{U_5}{U_5'} - 1 = \frac{1}{(1 + \delta R/2)} - 1 = \frac{1}{(1 + 0,1/2)} - 1 = -0,048$$

- Idealna karakteristika, ki povezuje obe meji območja spreminjanja upora $0 \leq \delta R \leq 0,1$ pri realnem mostiču:

$$U_5'' = U_0 \left(\frac{1}{4(1 + \delta R/2)} \right)_{\delta R=0,1} \cdot \delta R = 0,238 U_0 \delta R$$

- Mesto največjega odstopanja od idealne karakteristike dobimo z odvajanjem razlike karakteristik:

$$E_n'' = U_5 - U_5'' = U_0 \frac{\delta R}{4(1 + \delta R/2)} - 0,238 U_0 \delta R = U_0 \frac{\delta R}{4} (1 - \delta R/2) - 0,238 U_0 \delta R$$

$$\frac{\partial E_n''}{\partial \delta R} = \frac{U_0}{4} - \frac{U_0}{4} \frac{2\delta R}{2} - 0,238 U_0 = 0$$

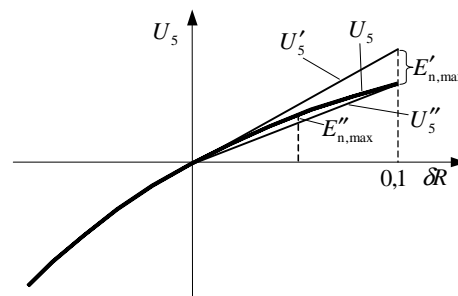
$$\delta R = 1 - 4 \cdot 0,238 = 0,048$$

- Največje odstopanje je tako:

$$E_{n,\max}'' (\delta R = 0,048) = U_0 \frac{\delta R}{4} (1 - \delta R/2) - 0,238 U_0 \delta R = 2,88 \cdot 10^{-4} U_0$$

- in nelinearnost: $n'' = \frac{E_{n,\max}''}{U_D} = \frac{2,88 \cdot 10^{-4} U_0}{0,238 U_0 \cdot 0,1} = 0,0121$

- V drugem primeru se nelinearnost zmanjša za štirikrat in postane pozitivna.

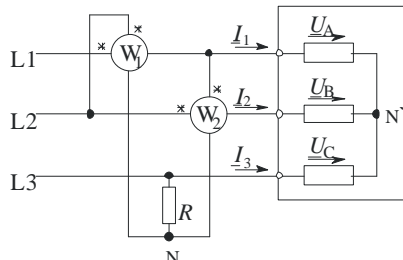


4. Trifaznemu nesimetričnemu bremenu želite izmeriti jalovo moč. Ali lahko izmerite jalovo moč, če imate na razpolago en VAR-meter in dva W-metra? Določite in narišite vezalno shemo ter opišite potrebne pogoje! Izračunajte jalovo moč, če bi VAR-meter kazal 30,1 VAR, prvi W-meter 30,0 W in drugi W-meter 25,1 W !

Rešitev:

- Zaradi nesimetričnosti bremena ne moremo zmeriti jalovo moč z enim VAR-metrom. Izmerimo jo lahko z dvema W-metroma in 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 $I_3^* = -(I_1^* + I_2^*)$ in jalovo moč izrazimo kot: $Q = \frac{1}{2} \text{Im} \{ (\underline{U}_A - \underline{U}_C) I_1^* + (\underline{U}_B - \underline{U}_C) I_2^* \}$

- 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: $\underline{U}_B - \underline{U}_C = \underline{U}_{23} = \sqrt{3} \underline{U}_{1N} e^{-j90^\circ}$

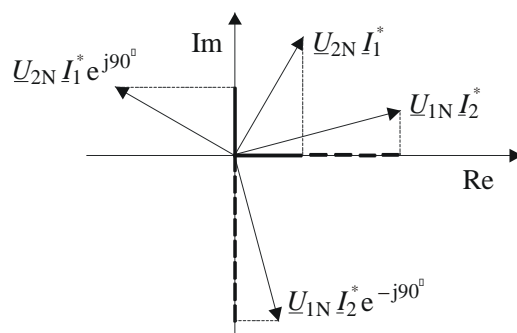
- Skupno jalovo moč merimo z dvema vatmetroma:

$$Q = \frac{1}{2} \text{Im} \left\{ \sqrt{3} \underline{U}_{2N} I_1^* e^{j90^\circ} + \sqrt{3} \underline{U}_{1N} I_2^* e^{-j90^\circ} \right\}$$

$$Q = \sqrt{3} \left[\frac{1}{2} \text{Im} \{ \underline{U}_{2N} I_1^* e^{j90^\circ} \} + \frac{1}{2} \text{Im} \{ \underline{U}_{1N} I_2^* e^{-j90^\circ} \} \right]$$

$$Q = \sqrt{3} \left[\frac{1}{2} \text{Re} \{ \underline{U}_{2N} I_1^* \} - \frac{1}{2} \text{Re} \{ \underline{U}_{1N} I_2^* \} \right]$$

- $Q = \sqrt{3} (P_{W1} - P_{W2}) = \sqrt{3} (30,0 \text{ W} - 25,1 \text{ W}) = 8,49 \text{ VAR}$



5. S senzorjem merimo gostoto magnetnega pretoka $B = 2 \text{ mT}$. S pretvornikom nato pretvorimo B v frekvenco in sicer $B = 2 \text{ mT}$ v $f = 50 \text{ kHz}$. To frekvenco merimo z univerzalnim digitalnim števcem, ki ima frekvenco notranjega oscilatorja $f_0 = 10 \text{ MHz}$ in delilnik z največjo vrednostjo $K = 10^4$. Kolikšna je najmanjša ločljivost Q_B merjenja gostote magnetnega pretoka zaradi uporabe tega števca?

Rešitev:

- Merjenje f_x s števcem:
 - Najboljšo oz. najmanjšo ločljivost dobimo, kadar imamo najdaljši čas merjenja. V našem primeru ga dosežemo z izborom $K = 10^4$:

$$Q_f = \frac{1}{T_M} = \frac{1}{KT_0} = \frac{f_0}{K} = 1 \text{ kHz}$$

- Relativno ločljivost gostote magnetnega pretoka dobimo iz enačbe

$$\frac{Q_B}{B} = \frac{Q_f}{f}$$

- in od tod ločljivost gostote magnetnega pretoka:

$$Q_B = B \frac{Q_f}{f} = 2 \text{ mT} \cdot \frac{1 \text{ kHz}}{50 \text{ kHz}} = 40 \mu\text{T}$$

- Merjenje T_x s števcem:
 - Najmanjšo ločljivost dobimo, kadar imamo najkrajši korak časovne kvantizacije. V našem primeru ga dosežemo z izborom $K = 1$:

$$Q_T = KT_0 = 0,1 \mu\text{s}$$

- Ločljivost gostote magnetnega pretoka dobimo iz enačbe:

$$\frac{Q_B}{B} = \frac{Q_T}{T} \rightarrow Q_B = B \cdot Q_T \cdot f = 2 \text{ mT} \cdot 0,1 \mu\text{s} \cdot 50 \text{ kHz} = 10 \mu\text{T}$$

- Najmanjša ločljivost merjenja gostote magnetnega pretoka B zaradi uporabe univerzalnega števca je v načinu merjenja periode in znaša $10 \mu\text{T}$.