

LJETNI ISPITNI ROK 2014/15

1. Na multimeter s odzivom na srednju vrijednost i pokazivanjem efektivne vrijednosti sinusnog signala (u slučaju izmjenične (AC) veze na ulazu) spojen je signal oblika $u(t)=5*\sin(2\pi ft) + 3$ [V]. Multimeter uz AC vezu na ulazu ima točnost od $\pm(2\% + 5$ znamenki), a uz istosmjernu (DC) vezu na ulazu točnost od $\pm(1\% + 2$ znamenke). U oba je slučaja razlučivost prikaza 1mV.

a) Zanemarujući sve pogreške, odredite pokazivanje (zapišite sve znamenke) multimetra u slučajevima AC i DC veze.

$$U_{dc} = 3.000 \text{ V}, U_{ac} = 3.536 \text{ V}$$

b) Odredite točnost pokazivanja u slučaju DC veze.

$$\sigma_{DC} = 3 * \frac{1}{100} + 2 * 10^{-3} = 0.032 \text{ V}$$

c) Odredite točnost pokazivanja u slučaju AC veze.

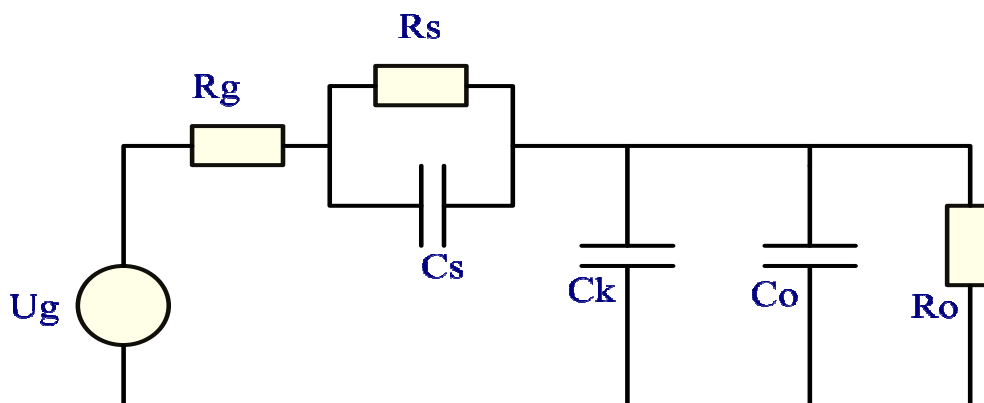
$$\sigma_{AC} = 3.536 * \frac{2}{100} + 5 * 10^{-3} = 0.076 \text{ V}$$

d) Odredite efektivnu vrijednost signala u .

$$u = \sqrt{3^2 + 3.536^2} = 4.637 \text{ V}$$

2. Sinusni naponski izvor amplitude 2 V, unutarnjeg otpora 5 k Ω i frekvencije 1 MHz spojen je kompenziranim sondom x10 na osciloskop. Kapacitet kabela sonde je 100 pF, a ulazna impedancija osciloskopa je 1 M Ω || 25 pF.

a) Nacrtajte shemu spoja.

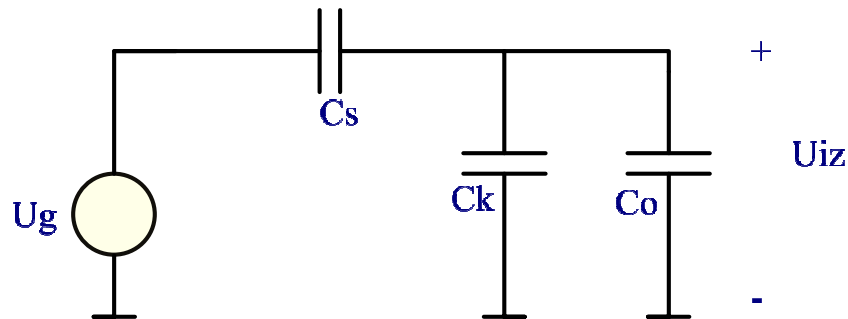


b) Označite vrijednosti svih elemenata sheme.

$$R_s = 9 \text{ M}\Omega, R_o = 1 \text{ M}\Omega, R_g = 5 \text{ k}\Omega, C_k = 100 \text{ pF}, C_o = 25 \text{ pF}$$

$$C_s * R_s = R_o * (C_k + C_o) \rightarrow C_s = 13.89 \text{ pF}$$

c) Kolika je amplituda u faza napona na ulazu osciloskopa u odnosu na napon izvora ako se zanemari utjecaj unutarnjeg otpora izvora.



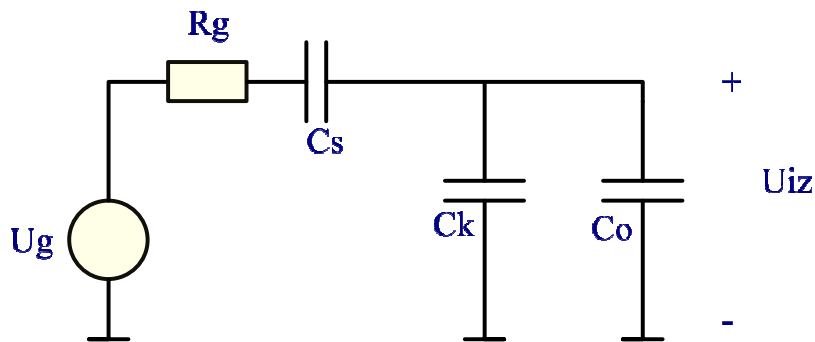
$$Z_c = C_k \parallel C_o = \frac{1}{j\omega(C_k + C_o)}$$

$$U_{iz} = U_g * \frac{Z_c}{Z_c + \frac{1}{j\omega C_s}} = U_g * \frac{C_s}{C_s + C_k + C_o}$$

$$|U_{iz}| = 2 * \frac{13.89 \text{ pF}}{(13.89 + 100 + 25) \text{ pF}} = 0.2 \text{ V}$$

$$\text{faza}(U_{iz}) = 0^\circ$$

d) Izračunajte stvarnu amplitudu i fazu napona na ulazu osciloskopa u odnosu na napon izvora.

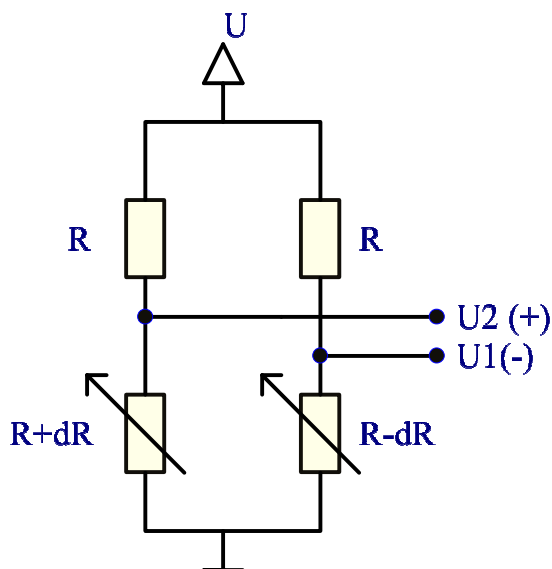


$$U_{iz} = U_g * \frac{Z_c}{Z_c + R_g + \frac{1}{j\omega C_s}} = U_g * \frac{C_s}{C_s + C_k + C_o + j\omega * R_g * C_s * (C_k + C_o)}$$

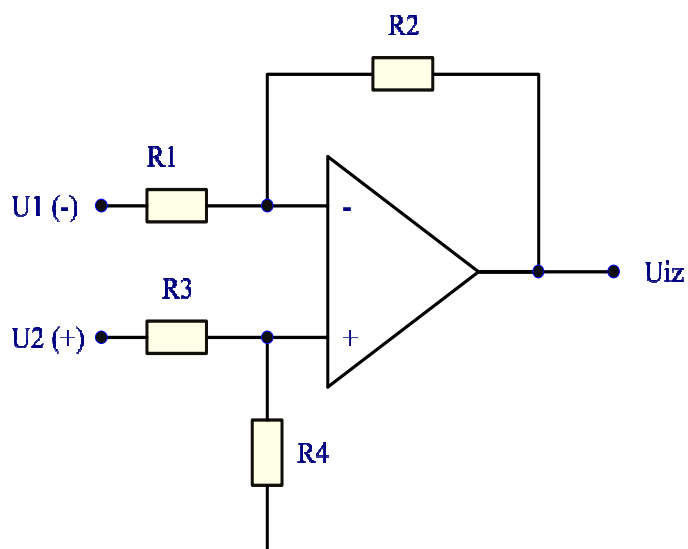
$$|U_{iz}| = U_g * \frac{C_s}{\sqrt{(C_s + C_k + C_o)^2 + (2\pi f R_g C_s (C_k + C_o))^2}} = 0.186 \text{ V}$$

$$\text{faza}(U_{iz}) = 0 - \tan^{-1} \left(\frac{2\pi f R_g C_s (C_o + C_k)}{C_s + C_k + C_s} \right) = -21.44^\circ$$

3. Mjerilo sile izvedeno je tenzometarskim mostom kao na slici. Tenzometri imaju nazivni otpor 200Ω i koeficijent pretvorbe 2. Ostali otpornici imaju otpor 200Ω . Napon napajanja mosta je 5 V. Diferencijalno pojačalo je izvedeno jednim operacijskim pojačalom faktora potiskivanja $F_{op} = 100$ dB. Kada pojačalo nije spojeno na most, ulazni diferencijalni otpor je $4\text{ k}\Omega$, a diferencijalno pojačanje 100.



a) Nacrtajte diferencijalno pojačalo i označite vrijednosti svih otpornika.



$$R1=R3, R2=R4$$

$$R_{ul} = R1 + R3 = 2 \cdot R1 \rightarrow R1 = 2\text{ k}\Omega$$

$$A_d = R2/R1 \rightarrow R2 = 100 \cdot 2\text{ k}\Omega = 200\text{ k}\Omega$$

Ako tenzometarski otpornici promijene svoje vrijednosti kao na slici za 0.1%, a pojačalo je spojeno na dijagonalu mosta (stezaljka + na U2), odredite:

b) diferencijalno pojačanje

$$K = 2 = \frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dT}{T}} \rightarrow dR = 0.4\Omega$$

$$R_{m1} = R + dR = 200.4\Omega, R_{m2} = R - dR = 199.6\Omega$$

$$R_{th1} = R \parallel R_{m1} = 200 \parallel 200.4 = 100.09\Omega, R_{th2} = R \parallel R_{m2} = 200 \parallel 199.6 = 99.89\Omega$$

$$R_{1'} = R_1 + R_{th2} = 2099.89\Omega$$

$$R_{3'} = R_3 + R_{th1} = 2100.09\Omega$$

$$U_{iz} = U_z * \frac{R_2}{R_{1'}} * \frac{R_{1'} - R_{3'}}{R_{3'} + R_2} + \frac{U_d}{2} * \frac{R_2}{R_{1'}} * \frac{R_{1'} + R_{3'} + 2 * R_2}{R_{3'} + R_2}$$

$$Ad = \frac{1}{2} * \frac{R_2}{R_{1'}} * \frac{R_{1'} + R_{3'} + 2 * R_2}{R_{3'} + R_2} = \frac{1}{2} * \frac{200\,000}{2099.89} * \frac{2099.89 + 2100.09 + 2 * 200\,000}{2100.09 + 200\,000}$$

$$Ad = 95.243$$

c) zajedničko pojačanje

$$A_z = \frac{R_2}{R_{1'}} * \frac{R_{1'} - R_{3'}}{R_{3'} - R_2} = \frac{200\,000}{2099.89} * \frac{2099.89 - 2100.09}{2100.09 + 200\,000} = -9.425 * 10^{-5}$$

d) ukupni faktor potiskivanja

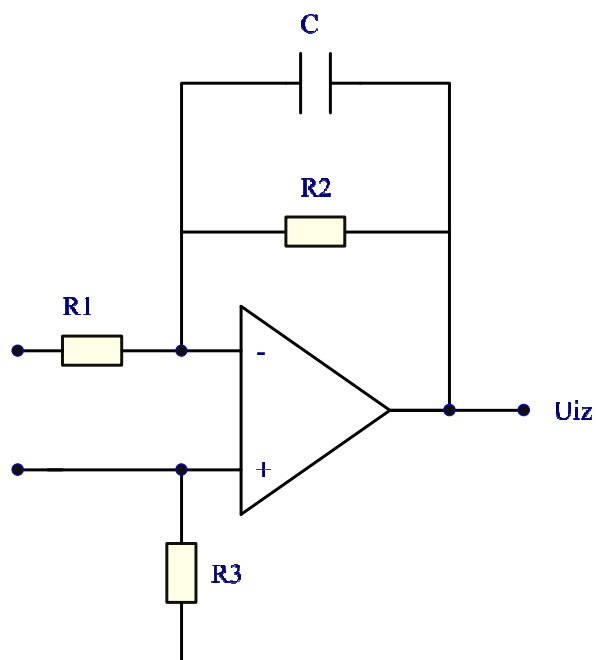
$$F = \left| \frac{Ad}{A_z} \right| = \frac{95.243}{9.425 * 10^{-5}} = 1\,010\,536 = 120\,dB$$

$$F_{op} = 100\,dB = 10^5$$

$$F_{uk} = \frac{F * F_{op}}{F + F_{op}} = \frac{1\,010\,536 * 100\,000}{1\,010\,536 + 100\,000} = 90\,995 = 99.18\,dB$$

4. Invertirajuće pojačalo ima ulazni otpor 10 kΩ, pojačanje -50, minimalan izlazni napon pomaka i gornju graničnu frekvenciju 25 kHz koja je određena kondenzatorom u povratnoj vezi operacijskog pojačala. Šum operacijskog pojačala je određen naponskim i strujnim izvorima spektralnih gustoća 20 nV/√Hz i 10 pA/√Hz. Na ulaz pojačala je spojen sinusni napon amplitude 20 mV. Izlaz pojačala je spojen na A-D pretvornik raspona ulaznog napona ±5 V i razlučivosti 16 bita. Temperatura okoline je 300 K, a Boltzmanova konstanta je 1.37*10⁻²³J/K. Zanemarite šum otpornika i pretpostavite beskonačan ulazni otpor operacijskog pojačala.

a) Nacrtajte shemu pojačala i označite vrijednosti svih elemenata.

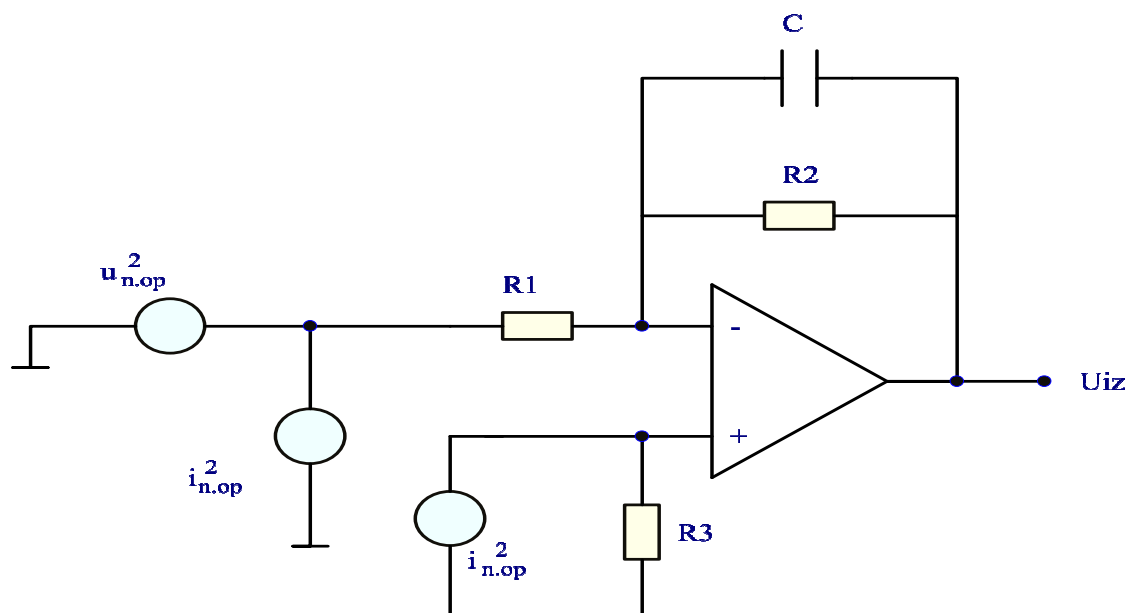


$$R1 = R_{ul} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$A = -R2/R1 \rightarrow R2 = 500 \text{ k}\Omega$$

$$R3 = R1 \parallel R2 = 9.8 \text{ k}\Omega$$

b) Odredite efektivnu vrijednost šuma na izlazu pojačala.



$$u_{n.ul}^2 = u_{n.op}^2 + (R1 \parallel R2)^2 * i_{n.op}^2 + R3^2 * i_{n.op}^2$$

$$u_{n.ul}^2 = (20 * 10^{-9})^2 + 2 * 9800^2 * (10 * 10^{-12})^2 = 1.9608 * 10^{-14} \frac{V^2}{Hz}$$

$$U_{n.ul}^2 = u_{n.ul}^2 * f_g * \frac{\pi}{2} = 7.7 * 10^{-10} V^2$$

$$U_{n.iz} = \sqrt{\left(1 + \frac{R2}{R1}\right)^2 * U_{n.ul}^2} = \sqrt{51^2 * 7.7 * 10^{-10}} = 1.415 \text{ mV}_{ef}$$

c) Odredite omjer snaga signala i šuma na izlazu pojačala.

$$SNR = \frac{U_{sig.iz}^2}{U_{n.iz}^2} = \frac{\left(\frac{20 * 10^{-3}}{\sqrt{2}}\right)^2 * 50^2}{(1.415 * 10^{-3})^2} = 249\,722 = 53.975 \text{ dB}$$

d) Na koliko najmanje značajnih bitova utječe šum pojačala?

$$U_{min} = \frac{10}{2^{16}} = 1.526 * 10^{-4} \text{ V}_{pp}/\text{LSB}$$

$$n = \log_2 \frac{1.415 * 10^{-3} * 6}{1.526 * 10^{-4}} = 5.798 = 5 \text{ bita}$$

5. Analogno-digitalni pretvornik s dva pilasta napona ima oscilator frekvencije 1 MHz i brojilo do 10^4 impulsa.

a) Nacrtajte blok shemu pretvornika i vremenski dijagram jednog ciklusa pretvorbe.

b) Odredite iznos referentnog napona pretvornika ako je za ulazni napon od 1 V stanje brojila na kraju pretvorbe 2500.

$$N = N_0 * \frac{U_{ul}}{U_{ref}} \rightarrow U_{ref} = 10^4 * \frac{1}{2500} = 4 \text{ V}$$

c) Izračunajte frekvenciju uzorkovanja za ulazni napon od 1 V.

$$f_s = \frac{1}{T_s}, \quad T_s = T_0 + T_1,$$

gdje je T_0 vrijeme potrebno brojilu da javi preljev, a T_1 vrijeme potrebno da napon na izlazu iz integratora dosegne vrijednost 0.

$$T_0 = \frac{N_0}{f_0} = \frac{10^4}{10^6} = 0.01 \text{ s}$$

$$U_0 = -\frac{T_0}{RC} * U_{ul}$$

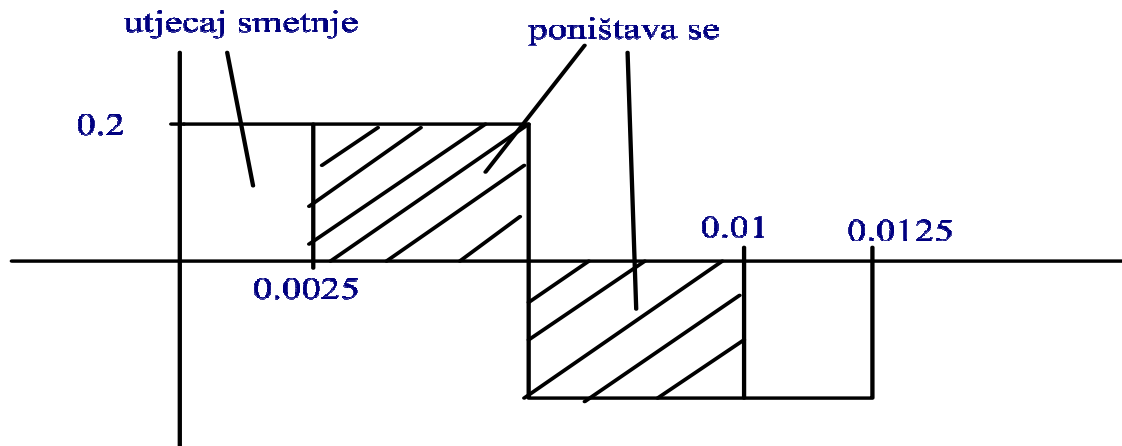
$$0 = U_0 + \frac{T_1}{RC} * U_{ref}$$

$$T_0 * U_{ul} = T_1 * U_{ref} \rightarrow T_1 = T_0 * \frac{U_{ul}}{U_{ref}} = 0.01 * \frac{1}{4} = 0.0025 \text{ s}$$

$$T_s = T_0 + T_1 = 0.01 + 0.0025 = 0.0125 \text{ s} \rightarrow f_s = \frac{1}{0.0125} = 80 \text{ Hz}$$

d) Izračunajte stanje brojila na kraju pretvorbe ako je na mjereni napon od 1 V superponirana smetnja (sinkrono s početkom pretvorbe) pravokutnog oblika amplitude 200 mV i frekvencije 80 Hz?

$$T_{sm} = \frac{1}{80} = 0.0125 \text{ s}, \quad T_0 = 0.01 \text{ s}$$



$$U_{ul} = 1 + \frac{1}{T_0} \int u_{sm} dt = 1 + \frac{1}{0.01} * 0.2 * 0.0025 = 1.05 \text{ V}$$

$$N = N_0 * \frac{U_{ul}}{U_{ref}} = 10^4 * \frac{1.05}{4} = 2625 \text{ impulsa}$$