

Ime i prezime

JMBAG

Ispit ima 5 zadataka i maksimalno donosi 40 bodova. Svaki zadatak vrijedi 8 bodova. Za prolaz je potrebno stvariti barem 20 bodova. Ispit se piše 120 minuta.

1. Generator sinusnog signala frekvencije 150 kHz i unutarnjeg otpora 100Ω spojen je na invertirajuće pojačalo nazivnog pojačanja -10 . Maksimalno dopušteno odstupanje pojačanja zbog utjecaja konačnog ulaznog otpora pojačala je $0,5\%$. Operacijsko pojačalo ima ulaznu struju 20 nA , ulaznu struju pomaka 5 nA , napon pomaka na ulazu $50 \mu\text{V}$, te maksimalnu brzinu porasta signala na izlazu $5 \text{ V}/\mu\text{s}$.

- Nacrtajte shemu i odredite otpore uz koje je izlazni napon pomaka najmanji (generator spojen).
- Izračunajte izlazni napon pomaka.
- Za koliko se promijeni izlazni napon pomaka ako temperatura poraste za 40°C ? Temperaturni koeficijent ulazne struje i ulazne struje pomaka je $40 \text{ pA}/^\circ\text{C}$, a napona pomaka $0,3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.
- Odredite najveću amplitudu ulaznog signala pri kojoj neće doći do izobličenja izlaznog signala.

2. Diferencijalno pojačalo diferencijalnog pojačanja $A_D = 100$ i ulazne impedancije za svaku od stezaljki prema masi $R_{ul} = 1 \text{ M}\Omega$ spojeno je na dijagonalu mosta s vrijednostima otpornika $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$ koristeći središnje vodove dva koaksijalna kabela. Oklopi oba koaksijalna kabela su spojeni na način kojim se smanjuju smetnje zbog električnog polja. Kapacitet između aktivnog voda i oklopa svakog od kabela je 160 pF , a između oklopa i voda napajanja gradske mreže $230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ je 200 pF . Prepostavite da diferencijalno pojačalo ima beskonačan faktor potiskivanja.

- Nacrtajte nadomjesnu shemu mjerena koja uključuje i parazitne kapacitete.
- Odredite amplitudu smetnje na izlazu pojačala ako su svi oklopi ispravno spojeni.
- Odredite amplitudu smetnje na izlazu pojačala ako se oklop jednog od kabela odspoji.
- Odredite modul impedancije ulazne stezaljke prema masi u slučaju ispravno spojenog oklopa i odspojenog oklopa na frekvenciji 100 kHz .

3. Diferencijalno pojačalo je sustav 1. reda granične frekvencije 15 kHz i pojačanja 150 . Izlazni šum pojačala preslikan na ulaz ima spektralnu gustoću snage $15 \cdot 10^{-18} \text{ V}^2/\text{Hz}$. Na neinvertirajuću stezaljku pojačala spojen je generator istosmjernog signala unutarnjeg otpora 1000Ω i napona $2,5003 \text{ V}$, a na invertirajuću stezaljku spojen je generator istosmjernog signala unutarnjeg otpora 2000Ω i napona $2,5002 \text{ V}$. Temperatura okoline je 300 K , a Boltzmanova konstanta je $1,37 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

- Izračunajte doprinos oba generatora izlaznom šumu.
- Izračunajte efektivnu vrijednost ukupnog šuma na izlazu.
- Izračunajte omjer snaga signala i šuma (SNR) na izlazu pojačala.
- Ako se na izlaz pojačala spoji niskopropusni filter 1. reda, izračunajte gornju graničnu frekvenciju filtra za koju se SNR iz c) poboljša za 20 dB .

4. Izvor nazivne vrijednosti 5 V koristi se kao izvor referentnog napona analogno-digitalnog pretvornika ulaznog opsega $0\text{--}5 \text{ V}$. Referentni izvor ima značajke kao u tablici.

Inicijalna točnost	50 ppm	maks.
Koef. naponske regulacije	$300 \mu\text{V}/\text{V}$	maks.
Koef. strujne regulacije	$50 \mu\text{V}/\text{mA}$	maks.
Temperaturni koeficijent	$20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$	maks.

Termička histereza	20 ppm	tip.
Šum, $0,1 \text{ Hz} - 10 \text{ Hz}$	$20 \mu\text{V}$	tip.
Dugotrajna stabilnost	15 ppm	tip.

Temperaturno područje rada je od 10°C do 40°C , najveća promjena napona napajanja je 500 mV , a najveća promjena opterećenja referentnog izvora 4 mA . Izračunajte: (Uputa: izračunajte konzervativnu ocjenu.)

- doprinose šuma, termičke histereze i dugotrajne stabilnosti ukupnoj točnosti referentnog izvora.
- doprinose naponske i strujne regulacije ukupnoj točnosti referentnog izvora.
- ukupnu točnost referentnog izvora.
- najveću razlučivost analogno-digitalnog pretvornika za koju je ovaj izvor prikladan.

5. Analogno-digitalni pretvornik s dva pilasta napona ima oscilator frekvencije 1 MHz , referentni napon 5 V i brojilo do 10^4 impulsa. Na ulaz pretvornika je spojen istosmjerni napon od $2,5 \text{ V}$ kojem se može superponirati smetnja sinusnog valnog oblika amplitude 20 mV i frekvencije 50 Hz .

- Nacrtajte shemu pretvornika i vremenski dijagram jednog ciklusa pretvorbe?
- Koliko impulsa izbroji brojilo u slučaju bez superponirane smetnje?
- Koliko impulsa izbroji brojilo u slučaju sa superponiranom smetnjom?
- Odredite minimalnu i maksimalnu frekvenciju otipkavanja ovog pretvornika.

JIR 2013

$$f_g = 150 \text{ kHz}$$

$$I_B = 20 \text{ nA}$$

$$\alpha_B =$$

$$R_f = 100 \Omega$$

$$I_{os} = 5 \text{ nA}$$

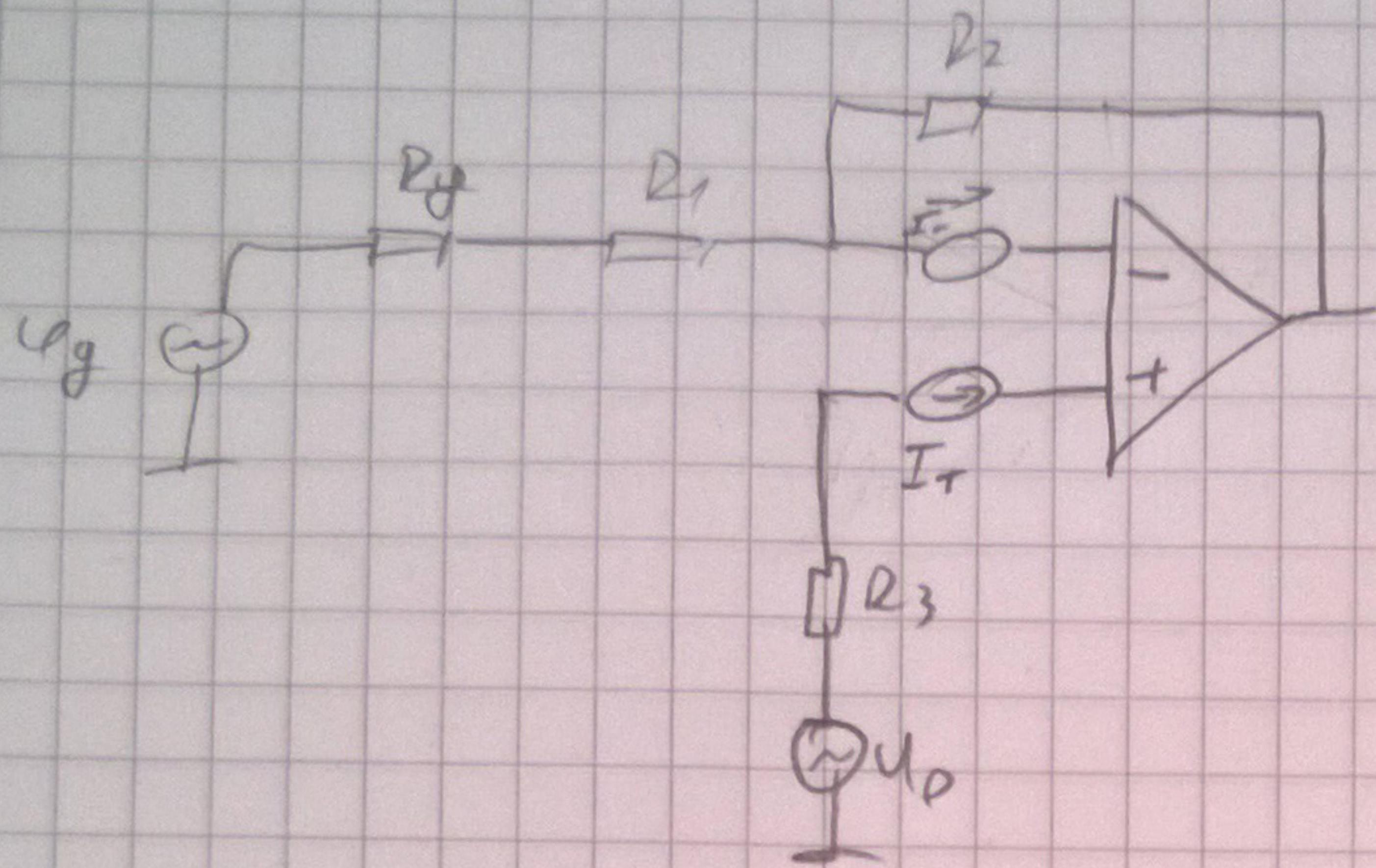
$$\alpha_{os} = 40 \text{ pA/}^\circ\text{C}$$

$$A = -10 \pm 0.5\%$$

$$V_p = 50 \text{ mV}$$

$$\Delta u_p = 0.3 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

$$S = 5 \text{ V/}\mu\text{s}$$



$$R_g = 0.005 R_d \Rightarrow R_g = 20 \Omega$$

$$R_{ul} = R_1 + R_g \Rightarrow R_1 = 19.9 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = -A R_1 = 199 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = R_{ul} // R_2 = 18.17 \text{ k}\Omega$$

d) $U_{12} = \left(1 + \frac{R_2}{R_{ul}}\right) \left(|U_p| + |I_B| \left(R_{ul} // R_2 - R_3 \right) + \frac{|I_{os}|}{2} \left(R_1 // R_2 + R_3 \right) \right)$

$$U_{12} = \left(1 + \frac{R_2}{R_{ul}}\right) \left(|U_p| + |I_{os}| \cdot 2 R_{ul} // R_2 \right)$$

$$U_{12} = 1.54 \text{ mV}$$

c) $\Delta T = 40^\circ\text{C}$

$$\Delta U_{12} = \Delta T \left(1 + \frac{R_2}{R_{ul}} \right) \left(\Delta u_p + \alpha_{os} R_3 \right)$$

$$\Delta U_{12} = 4.497 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

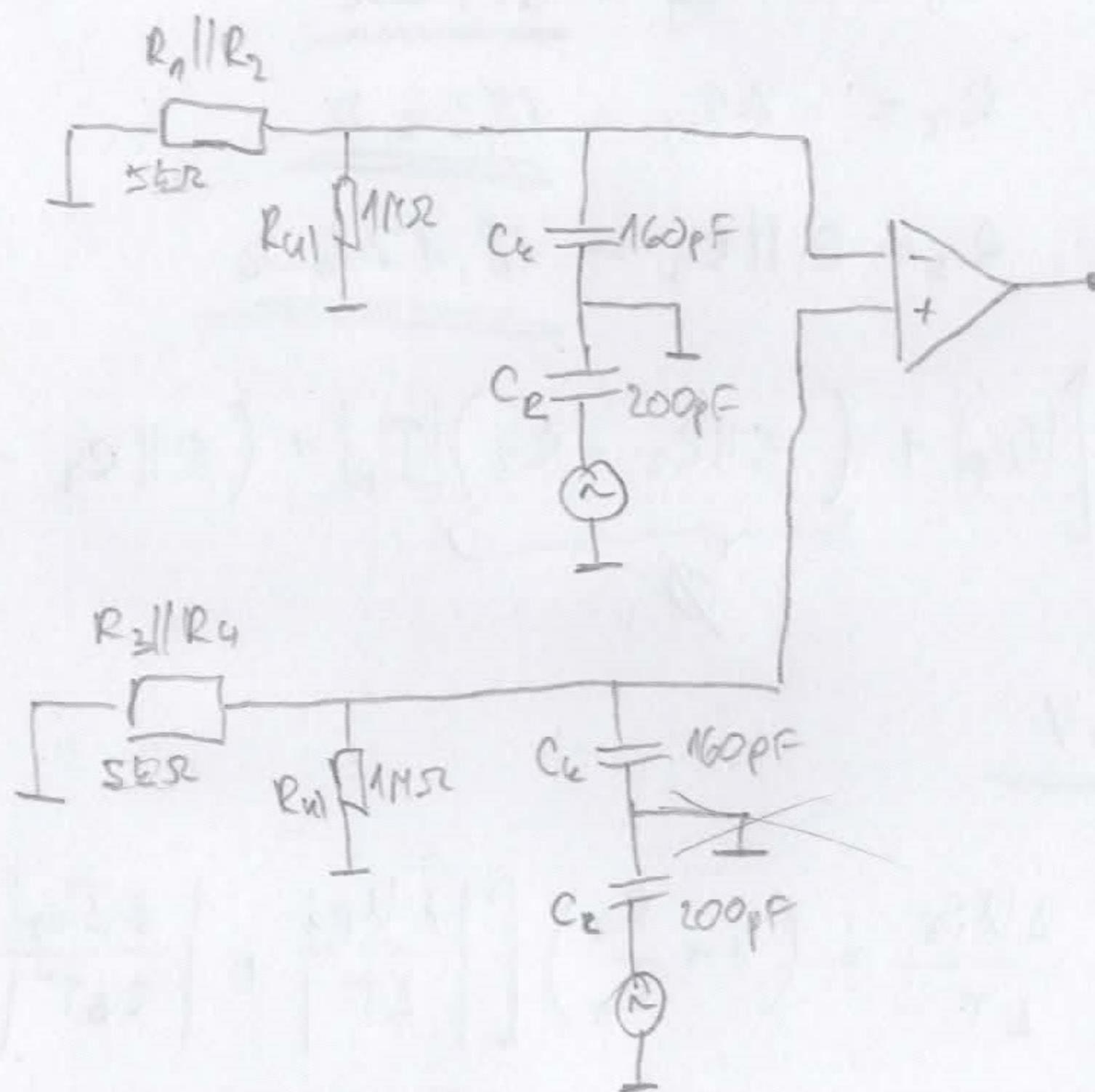
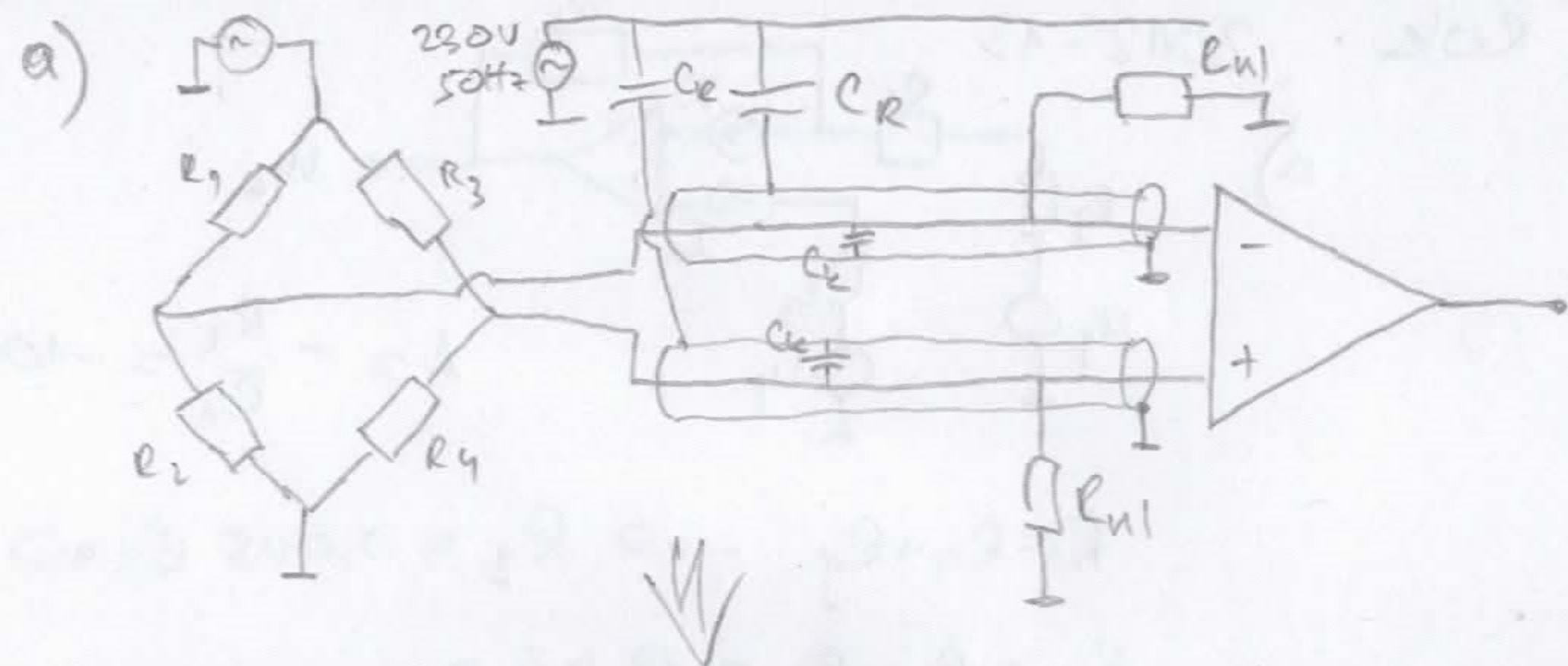
d)

$$S = \omega C_m \Rightarrow 124 \text{ pA}$$

$$S = \omega C_{m,ul} \cdot f$$

$$U_{ul} = \frac{S}{2\pi f \cdot A} = 0.53 \text{ V}$$

2.) $A_D = 100$
 $R_{UL} = 1\text{ M}\Omega$
 $R_{1-4} = 10\text{k}\Omega$
 $C_E = 160\text{ pF}$
 $C_R = 200\text{ pF}$
 $F = \infty$



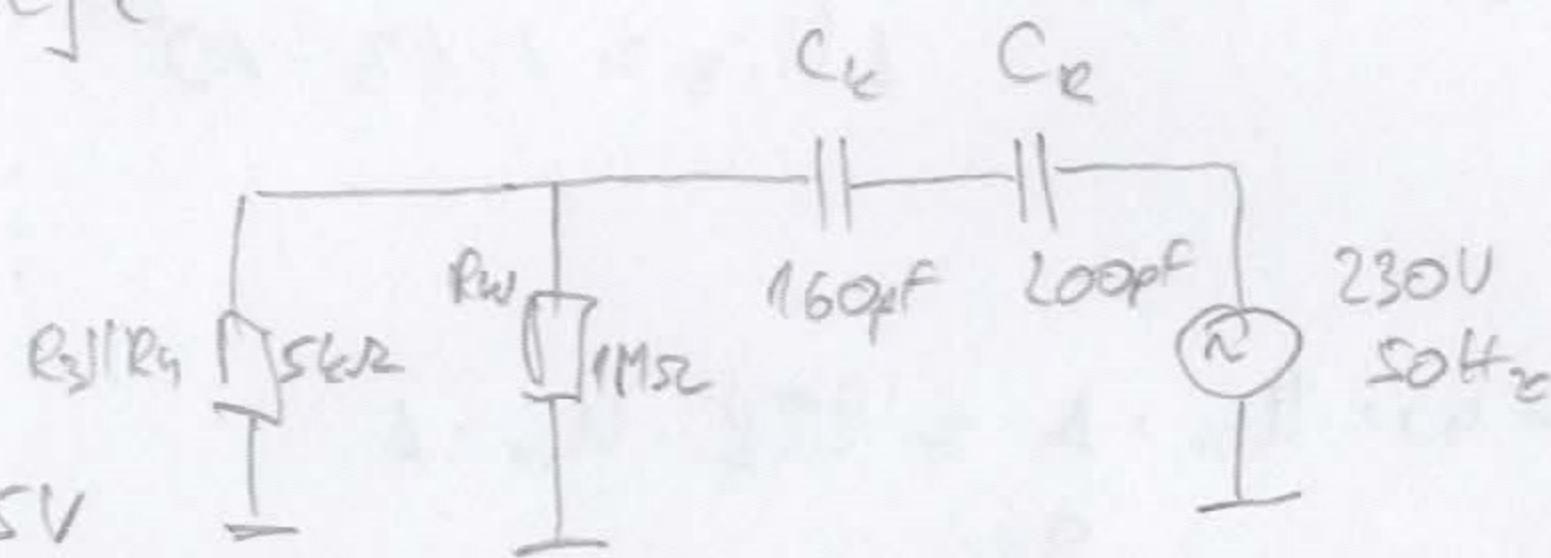
b) na izlazu nema simetrije

c) $C_{eq} = \frac{C_E \cdot C_R}{C_E + C_R} = 88.88\text{ pF}$

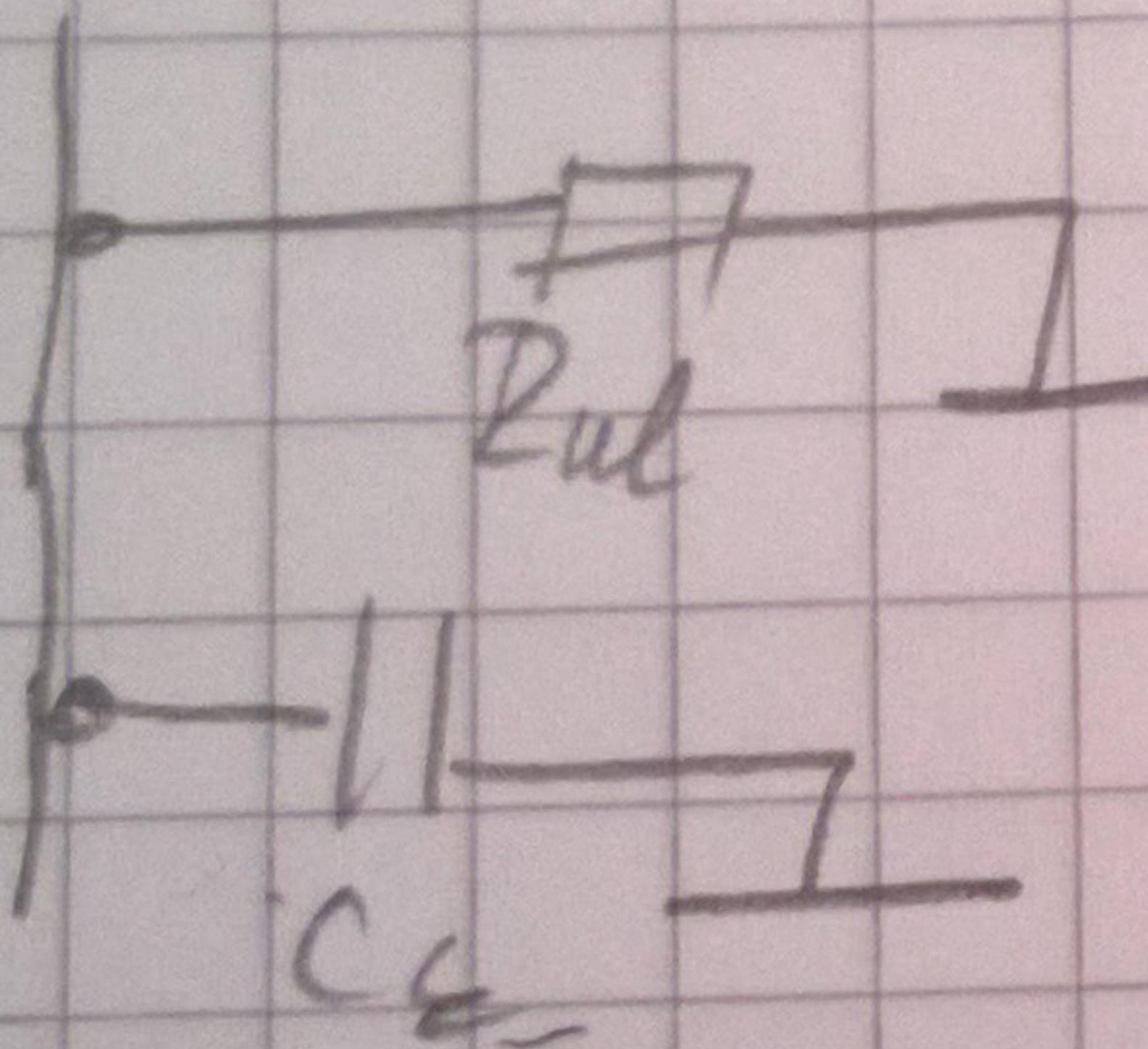
$$U_{s.ul} = U_s \sqrt{2} \cdot \frac{(R_3||R_4)||R_{UL}}{(R_3||R_4)||R_{UL} + \frac{1}{j\omega C_{eq}}} = 0.045\text{ V}$$

$$U_{sm} = A_D \cdot U_{s.ul} = 4.5\text{ V}$$

d) $f = 100\text{ kHz}$



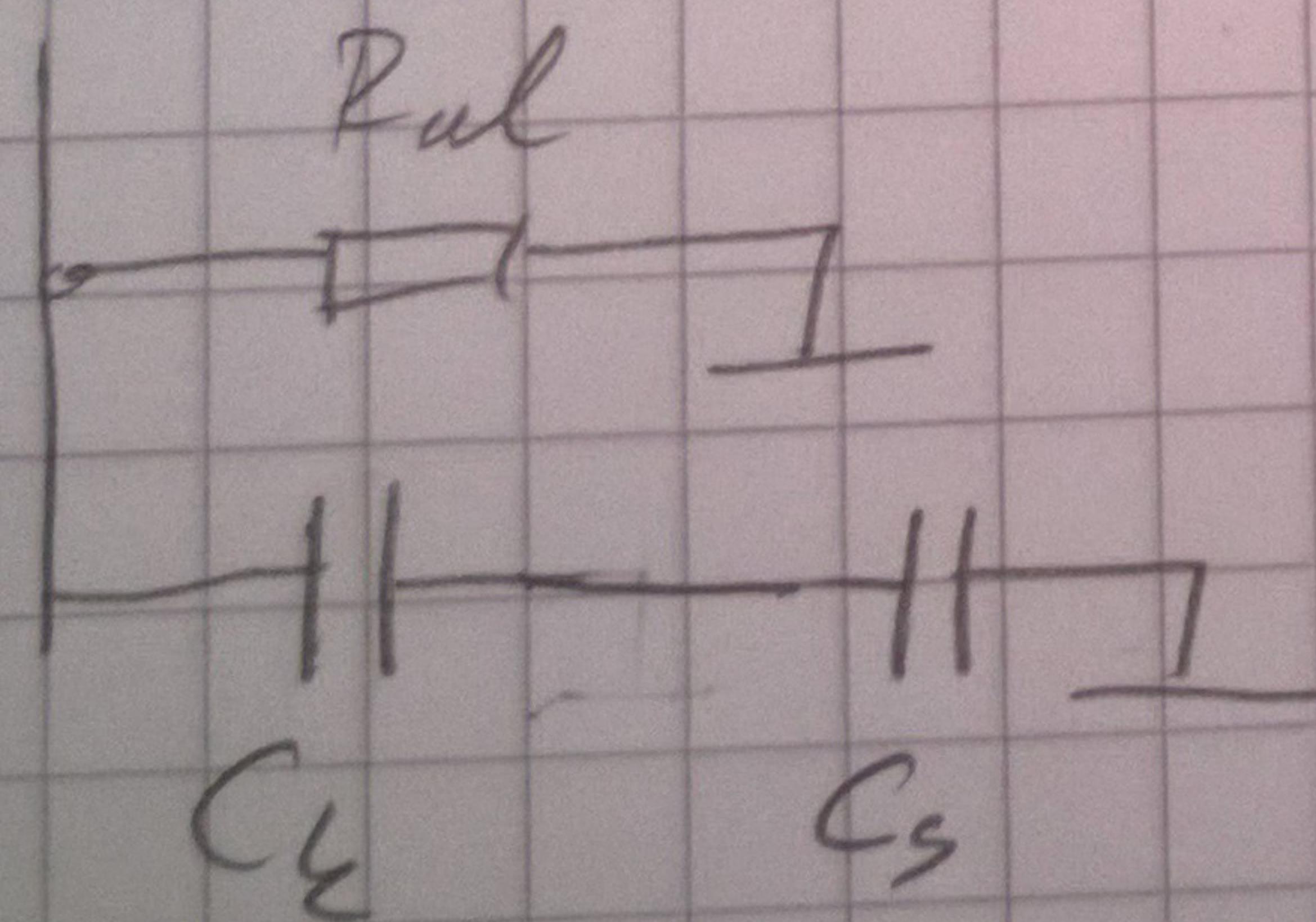
$$\textcircled{1) } f = 1000 \text{ Hz}$$



Pravilno
Spoštevamo

$$Z = R_{\text{dil}} // C_E$$

$$Z = 9966,7 \Omega$$



$$Z = R_{\text{dil}} // (C_E + C_S)$$

$$Z = 4422,93 \Omega$$

$$③ f_g = 15 \text{ kHz}$$

$$A = 150$$

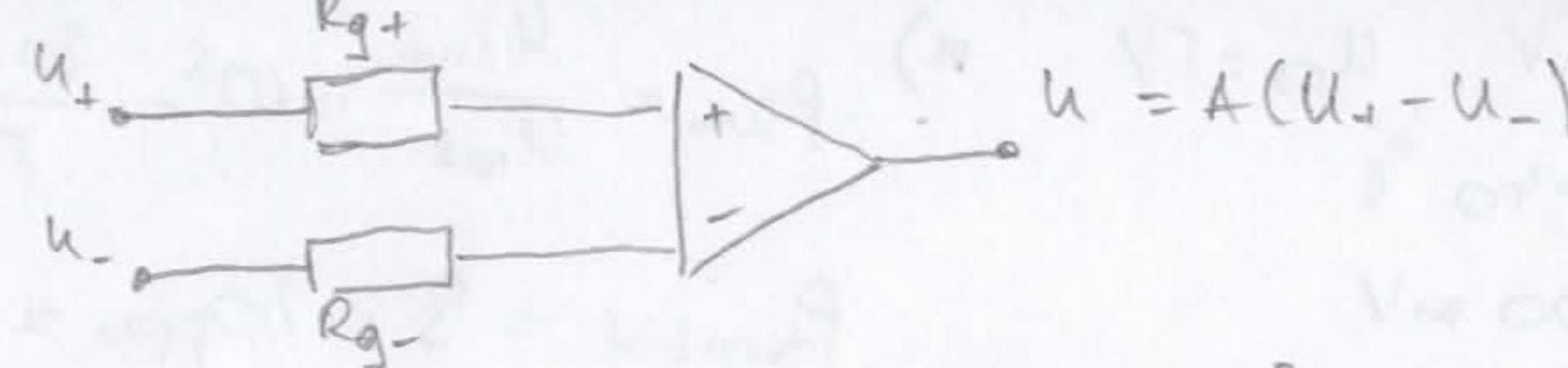
$$U_{n,op}^2 = 15 \cdot 10^{-18} \text{ V}^2 / \text{Hz}$$

$$R_{g+} = 1000 \Omega \quad U_t = 2500 \text{ mV}$$

$$R_{g-} = 2000 \Omega \quad U_t = 2500 \text{ mV}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$k = 1.32 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$



$$\text{a)} U_{n,+}^2 = 4kTR_{g+} = \underline{\underline{1.644 \cdot 10^{-12} \text{ V}^2 / \text{Hz}}}$$

$$U_{n,-}^2 = 4kTR_{g-} = \underline{\underline{3.288 \cdot 10^{-12} \text{ V}^2 / \text{Hz}}}$$

$$\text{b)} U_{n,\text{ul}}^2 = U_{n,op}^2 + U_{n,+}^2 + U_{n,-}^2 = 6.932 \cdot 10^{-17} \text{ V}^2 / \text{Hz}$$

$$U_{n,\text{iz}}^2 = U_{n,\text{ul}}^2 \cdot A^2 \cdot f_g \cdot \frac{T}{2} = 3.41 \cdot 10^{-8} \text{ V}^2 / \text{Hz}$$

$$U_{n,\text{iz}} = \sqrt{U_{n,\text{iz}}^2} = \underline{\underline{184.65 \mu\text{V}}}$$

$$\text{c)} \text{SNR} = \frac{A^2 \cdot (U_+ - U_-)^2}{(U_{n,\text{iz}})^2} = 6598.46 = \underline{\underline{38.2 \text{ dB}}}$$

d)

$$d) SNR' = SNR + 20 \log 3 = 56.2 \text{ dB} = 6606 \text{ gJ ss g}$$

$$\frac{\epsilon^2 (\psi_t - \psi_s)^2}{SNR'} = U_u'^2$$

$$U_u'^2 = 3.5 \cdot 10^{-10} \text{ V}^2/\text{Hz}$$

$$U_u'^2 = (\psi_{u,t}^2 + \psi_{u,s}^2 + \psi_{u,0A}^2) A^2 \frac{f_g}{2}$$

$$\underline{f_g} = 148.67 \text{ Hz} \approx 150 \text{ Hz}$$

$$\textcircled{4} \quad U_{\text{ref}} = 5V \quad U_{\text{FS}} = 5V \quad \text{a) } P_{\text{sum}} = \frac{U_{\text{sum}}}{U_{\text{ref}}} \cdot 10^6 = \frac{20 \cdot 10^{-6}}{5} \cdot 10^6 = 4 \text{ ppm}$$

$$T = 10 \rightarrow 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta U = 500 \text{ mV}$$

$$\Delta I = 4 \text{ mA}$$

$$P_{\text{term,hist.}} = 3 \cdot 20 \text{ ppm} = \underline{\underline{60 \text{ ppm}}}$$

$$P_{\text{dug,stab.}} = 3 \cdot 15 \text{ ppm} = \underline{\underline{45 \text{ ppm}}}$$

$$\text{b) } P_{\text{prop.reg}} = \Delta U \cdot 300 \frac{\mu\text{V}}{\%} = 500 \text{ mV} \cdot 300 \frac{\mu\text{V}}{\%} = \underline{\underline{150 \mu\text{V}}}$$

$$P_{\text{str.reg}} = \Delta I \cdot 50 \frac{\mu\text{V}}{\text{mA}} = 4 \text{ mA} \cdot 50 \frac{\mu\text{V}}{\text{mA}} = \underline{\underline{200 \mu\text{V}}}$$

$$\text{c) } P_{\text{wL}} = P_{\text{sum}} + P_{\text{term,hist}} + P_{\text{dug,stab}} + P_{\text{prop.reg}} + P_{\text{str.reg}} + P_{\text{inic}} + P_{\text{temp}}$$

$$P_{\text{temp}} = \Delta T \cdot 20 \frac{\text{ppm}}{\text{C}} = 30 \cdot 20 = 600 \text{ ppm}$$

$$P_{\text{inic}} = 50 \text{ ppm} \quad (\text{zadano})$$

$$P_{\text{wL}} = 4 \text{ ppm} + 60 \text{ ppm} + 45 \text{ ppm} + 150 \mu\text{V} + 200 \mu\text{V} + 50 \text{ ppm} + 600 \text{ ppm}$$

$$= 759 \text{ ppm} \cdot 5V + 350 \mu\text{V} = \underline{\underline{4145 \mu\text{V}}}$$

$$\text{d) } 2^n = \frac{U_{\text{FS}}}{P_{\text{wL}}} = \frac{5 \text{ V}}{4145 \mu\text{V}} \Rightarrow n = \log_2 \frac{5 \cdot 10^6}{4145} = 10.24 \approx \underline{\underline{10 \text{ bit}}}$$

$$\textcircled{5} \quad f_{\text{osc}} = 1 \text{ MHz}$$

$$U_{\text{ref}} = 5 \text{ V}$$

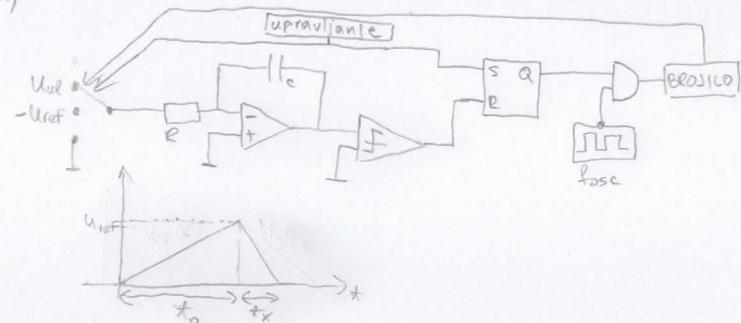
$$N_0 = 10^4$$

$$U_{\text{ul}} = 2.5 \text{ V}$$

$$U_{\text{sm}} = 20 \text{ mV}$$

$$f_{\text{sm}} = 50 \text{ Hz}$$

a)



$$\text{b)} \quad N = N_0 \frac{U_{\text{ul}}}{U_{\text{ref}}} = 10^4 \cdot \frac{2.5}{5} = \underline{\underline{5000}}$$

$$\text{c)} \quad t_0 = \frac{N_0}{f_{\text{osc}}} = \frac{10^4}{10^6} = 10 \text{ ms}$$

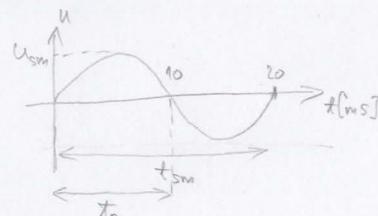
$$t_{\text{sm}} = \frac{1}{f_{\text{sm}}} = \frac{1}{50} = 20 \text{ ms}$$

$$U'_{\text{sm}} = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} U_{\text{sm}}(t) dt$$

$$= \frac{1}{10 \cdot 10^{-3}} \int_0^{10 \cdot 10^{-3}} (20 \cdot 10^{-3}) \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t) dt = 0.013 \text{ V} = 13 \text{ mV}$$

$$N' = N_0 \frac{(U_{\text{ul}} + U'_{\text{sm}})}{U_{\text{ref}}} = 5025.46 = \underline{\underline{5025}}$$

d)



$$U_{\text{sm}}(t) = U_{\text{sm}} \sin(2\pi f_{\text{sm}} t)$$

c) $f_{osc\ max} = N_o \cdot f_{sw} = 500 \text{ kHz}$

$$T_g = t_g + t_m$$

$$T_g - \frac{t_g}{f_{osc\ max}} = 20 \text{ } \mu\text{s}$$

$$T_g = 30 \text{ } \mu\text{s}$$

$$T_m = \frac{T_g}{N_o} \text{ } \& \text{ } = 10 \text{ } \mu\text{s}$$

$$f_{s, max} = 33.33 \text{ Hz}$$

$$T_{s, max} \Rightarrow T_g = T_m \quad 0.00002 \text{ s}$$

$$T_s = 2 T_g = 40 \text{ } \mu\text{s} \Rightarrow f_{s, min} = 25 \text{ Hz}$$