

ZI 2014/15

R1. Operacijsko pojačalo koje se može modelirati kao sustav prvog reda ima umnožak pojačanja i širine frekvencijskog pojasa 10 MHz, maksimalnu brzinu porasta 5V/us, ulaznu struju 20 nA, ulaznu struju pomaka 5 nA i ulazni napon pomaka 50 uV. Maksimalni temperaturni koeficijent ulazne struje je 200 pA/°C, a ulazne struje pomaka 50 pA/°C i ulaznog napona pomaka 1 uV/°C. Operacijsko pojačalo se koristi u invertirajućem pojačalu ulaznog otpora 5 kΩ, pojačanja -100 s otpornicima odabranim tako da izlazni napon pomaka bude minimalan.

- a) Nacrtajte shemu pojačala i odredite otpore svih otpornika.
- b) Izračunajte izlazni napon pomaka.
- c) Izračunajte promjenu izlaznog napona pomaka uslijed promjene temperature od 30°C.
- d) Izračunajte najveću amplitudu ulaznog sinusnog napona frekvencije jednake graničnoj frekvenciji pojačala.

R2. Instrumentacijsko pojačalo s tri operacijska pojačala ima u prvom stupnju dva otpornika $R_a=25\text{ k}\Omega$ i jedan otpornik $R_b=1\text{ k}\Omega$. Drugi stupanj ima ulazni diferencijalni otpor $10\text{ k}\Omega$ i diferencijalno pojačanje 20. Nacrtajte shemu instrumentacijskog pojačala i označite sve otpornike. Izračunajte ukupno diferencijalno pojačanje instrumentacijskog pojačala ako se jedan od otpornika R_a poveća za 1%.

R3. Invertirajuće pojačalo ima ulazni otpor $10\text{ k}\Omega$, pojačanje -50, minimalan izlazni napon pomaka i gornju graničnu frekvenciju 25 kHz koja je određena kondenzatorom u povratnoj vezi pojačala. Nacrtajte shemu pojačala i označite vrijednosti svih elemenata. Šum operacijskog pojačala je određen naponskim i strujnim izvorima spektralnih gustoća $20\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ i $10\text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$. Odredite efektivnu vrijednost šuma na izlazu pojačala. Ako je pojačalo spojeno na A-D pretvornik raspona ulaznog napona $\pm 5\text{ V}$ i razlučivosti 16 bita, na koliko najmanje značajnih bita utječe šum pojačala? Temperatura okoline je 300 K , a Boltzmanova konstanta je $1.37 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$. Zanemarite šum otpornika i prepostavite beskonačan ulazni otpor operacijskog pojačala.

R4. Analogno digitalni pretvornik s dva pilasta napona ima oscilator frekvencije 1 MHz, referentni napon 5 V i brojilo do 10^4 impulsa. Nacrtajte blok shemu pretvornika i vremenski dijagram jednog ciklusa pretvorbe. Napon na ulazu pretvornika je 3,6 V. Odredite maksimalnu dopuštenu amplitudu smetnje pri kojoj pogreška pretvorbe ΔN (definirana kao $\Delta N = N_{sa_smetnjom} - N_{bez_smetnje}$) iznosi 36. Smetnja je trokutastog valnog oblika frekvencije 125 Hz, a početak pretvorbe je sinkroniziran sa smetnjom.

T1. Čime je ograničena brzina porasta izlaznog napona operacijskog pojačala? Kako ovisi o pojačanju?

T2. Navedite pogreške izvora referentnog napona i koristeći izraze objasnite postupak konzervativne procjene ukupne pogreške.

T3. Definirajte apturnu nesigurnost S/H sklopa i objasnite kako ograničava najvišu frekvenciju signala koji se može otipkati?

2014./15.

$$\textcircled{1} \quad G_{BW} = 10 \text{ Hz}$$

$$G_P = 5 \text{ V/}\mu\text{A}$$

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

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

$$U_{TH} = 50 \text{ }\mu\text{V}$$

$$\frac{\Delta I_B}{\Delta T} = 200 \text{ pA/}^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{\Delta I_{OS}}{\Delta T} = 50 \text{ pA/}^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{\Delta U_{TH}}{\Delta T} = 1 \text{ }\mu\text{V/}^{\circ}\text{C}$$

$$R_o = 50 \Omega$$

$$A = -100$$

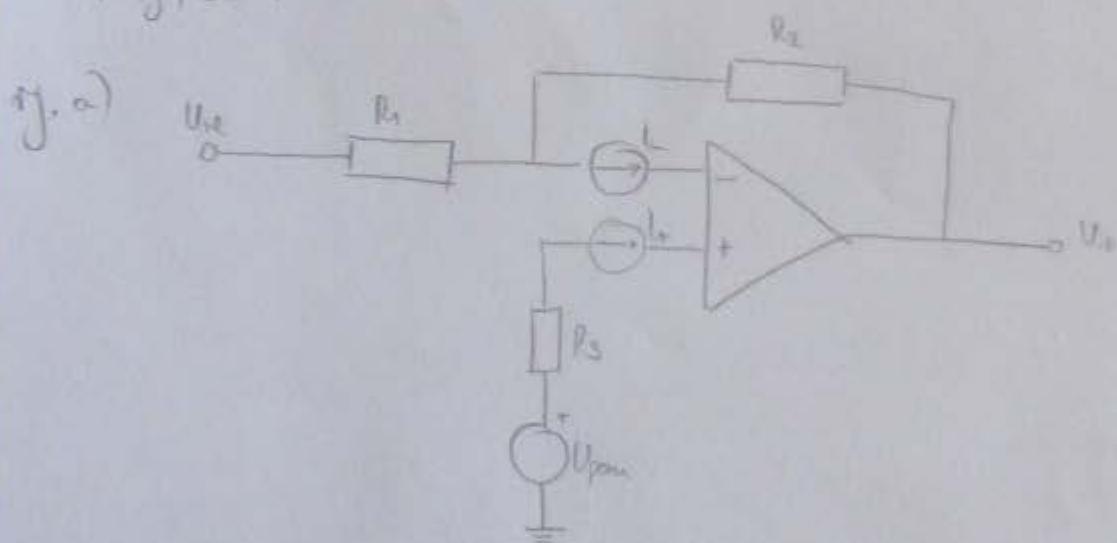
$$U_{IN} = \text{min.}$$

a) Schéma, $\Delta P_{TH} = ?$

b) $U_{IN} = ?$ (vložení napětí paralelně k U_{TH})

c) $\Delta T = 30 \text{ K}$, $\Delta U_{IN} = ?$

d) $f = f_g$, $\Delta V = ?$



$$R_{IN} = R_1 = 50 \Omega$$

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = -A R_1 = 500 \Omega$$

$$I_B = \frac{I_+ + I_-}{2} = 20 \quad \left. \right\} \quad I_+ = 22.5 \text{ nA}$$

$$I_{OS} = I_+ - I_- = 5 \quad \left. \right\} \quad I_- = 17.5 \text{ nA}$$

$$R_3 = R_1 \| R_2 = 4.3505 \Omega$$

$$(1) \quad U_{IN} = \left(U_{PBM} + (R_2) I_B - R_3 \right) I_B + \frac{1}{2} (R_1 \| R_2 + R_3) I_{OS} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$U_{IN} = \left(U_{PBM} + R_2 I_{OS} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$U_{IN} = 7.55 \text{ mV}$$

$$c) \frac{\partial U_{\text{eff}}}{\partial T} \approx \frac{\Delta U_{\text{eff}}}{\Delta T} = \left(\frac{\Delta U_{\text{pot}}}{\Delta T} + (k_1 + k_2 - k_3) \frac{\Delta s}{\Delta T} - \frac{1}{2} (k_1 k_2 + k_3) \frac{\Delta V}{\Delta T} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_s} \right)$$

$$\frac{\Delta U_{\text{eff}}}{\Delta T} = \left(\left| \frac{\Delta U_{\text{pot}}}{\Delta T} \right| + \left| (k_1 + k_2 - k_3) \frac{\Delta s}{\Delta T} \right| + \frac{1}{2} (k_1 k_2 + k_3) \left| \frac{\Delta V}{\Delta T} \right| \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_s} \right)$$

$$\frac{\Delta U_{\text{eff}}}{\Delta T} = (10^{-4} + 0 + 4.3505 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^{-6}) \left(1 + \frac{R_f}{R_s} \right)$$

$$\frac{\Delta U_{\text{eff}}}{\Delta T} = 176 \cdot 10^{-4} \text{ V/K}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta U_{\text{eff}} = \frac{\Delta U_{\text{eff}}}{\Delta T} \Delta T = 3.78 \text{ mV}}$$

$$d) G_{BP} = A f_g$$

$$\Rightarrow f_g = \frac{G_{BP}}{A} = \frac{12 \cdot 10^6}{10^2} = 10^7 = 100 \text{ kHz}$$

$$U_{\text{eff}}(t) = U_{\text{max}} \cos(\omega t)$$

$$\frac{dU_{\text{eff}}(t)}{dt} = \omega U_{\text{max}} \cos(\omega t) = 2\pi f U_{\text{max}} \cos(\omega t) = 2\pi f_0 U_{\text{max}} \cos(\omega t)$$

$$BP = \max \left(\frac{dU_{\text{eff}}(t)}{dt} \right) \quad - \text{wach u. obere i. komparativ zdroj paprsku!}$$

$$BP = 2\pi f_0 U_{\text{max}} |\cos(\omega t)| \left[\frac{A}{\Omega} \right] = 12 \pi f_0 U_{\text{max}} \rightarrow U_{\text{max}} = \frac{BP}{12 \pi f_0}$$

zdroj paprsku zdroj fotonu

$$\boxed{U_{\text{max}} = 0.125 \text{ V}}$$

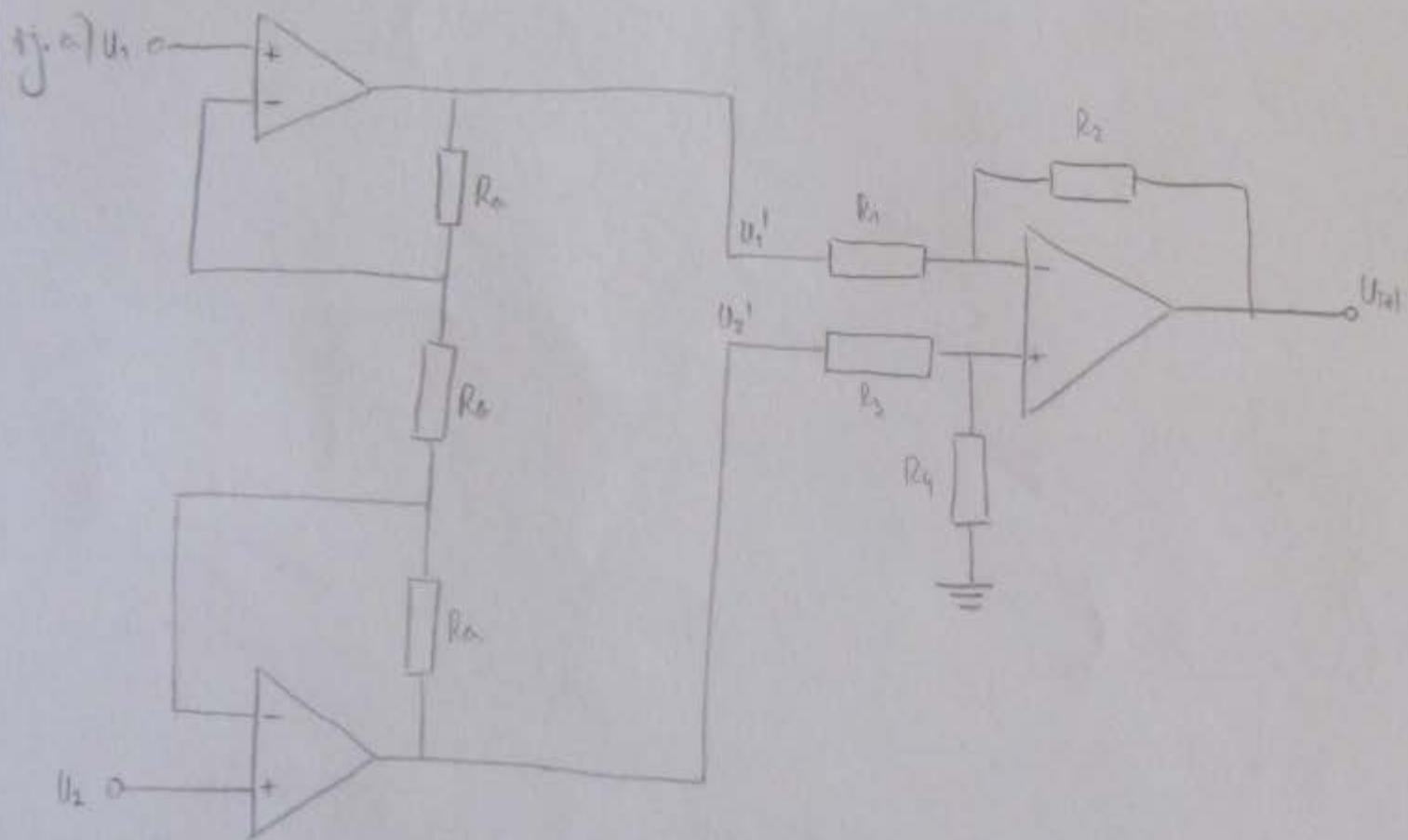
② uvl. pogona

$$R_a = 250\Omega \quad R_{in} < 100\Omega$$

$$R_b = 10\Omega \quad A_{vI} = 20$$

a) $R_{out} = ?$ odgovor: ?

b) $R_a' = 0.01R_a$, $A_d = ?$



$$R_{in} = R_1 + R_3$$

idealno vst. pog: $R_a = R_b$

$$R_1 = \frac{1}{2} R_{in} = 50\Omega$$

$$R_3 = R_1 = 50\Omega$$

$$A_{vI, u} = \frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = A_v R_1 = 1000\Omega \quad R_u = R_2 = 1000\Omega$$

$$b) A_d = \frac{R_1 R_u + R_2 R_3 + 2R_2 R_1}{R_1 R_u}$$

Ukupno diferencijalno pojicanje je $A_{dik} = 1020$

(racuna se kao $(1+2R_a/R_b)*R_2/R_1$)

Kada se jedan od Ra promjeni za 1%, $A_{dik}' = 1025$.

$(1+2.01R_a/R_b)*R_2/R_1$

③ binär pos.

$$R_{in} = 10 \Omega, A = -50, f_g = 250 \text{ Hz}$$

$$U_0 = \text{min.}$$

a) N_{bits} , obere Grenze = ?

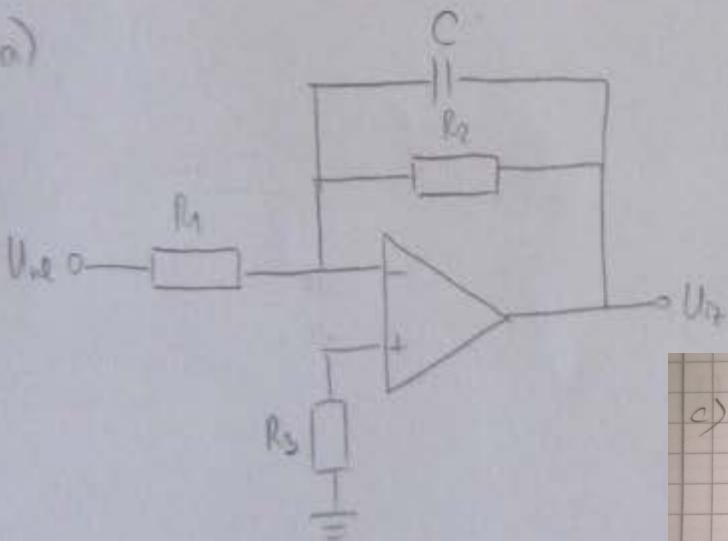
b) $U_m = 20 \text{ mV}/\sqrt{\text{Hz}}, n = 10 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$

$$U_m = ?$$

c) $U_{FS} = \pm 5 \text{ V}, n = 16, \Delta n = ?$

NB: $T = 300 \text{ K}, k_B = 1.37 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}, U_0 = 0, R_{out} = \infty$

g. a)



$$R_{in} = R_1 = 10 \Omega$$

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = -A R_1 = 500 \Omega$$

$$R_3 = R_1 || R_2 = 9.8 \Omega$$

c)

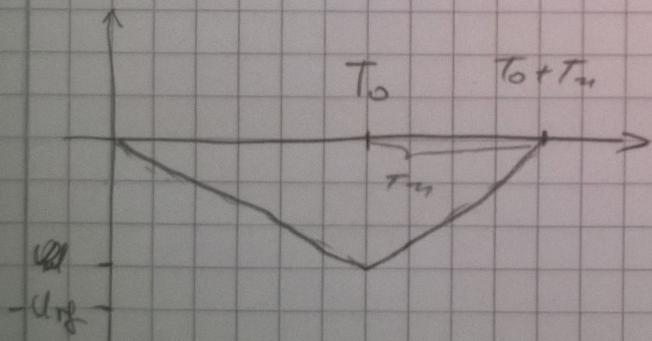
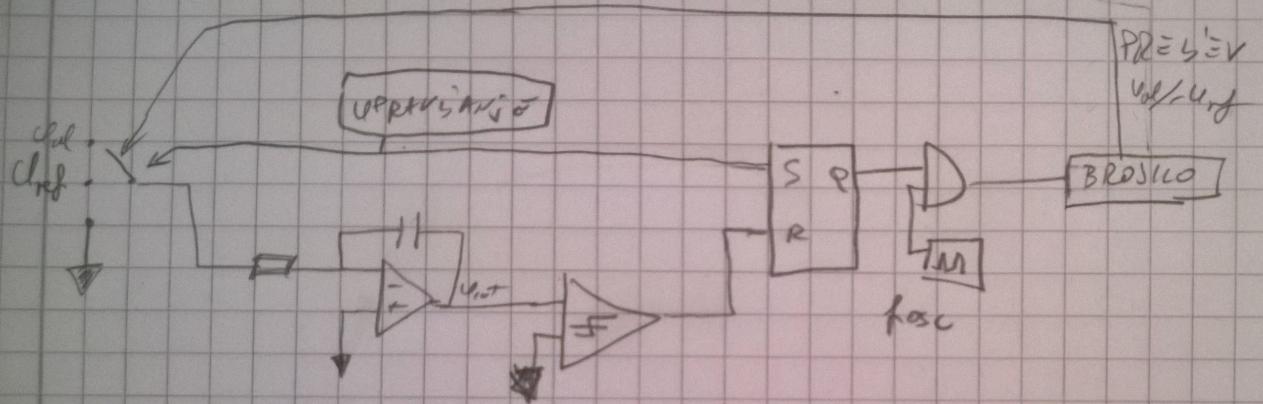
$$\alpha = \frac{U_{FS}}{2^n} \quad \text{Response exposure j } 10 \text{ V}$$
$$Q = \frac{U_{n,pp}}{2^n} \Rightarrow Q_{n,12} \cdot 6$$
$$2^n = \frac{U_{n,pp}}{Q}$$
$$n = \log_2 \frac{U_{n,pp}}{Q} = 5.79 \approx 6 \text{ bits}$$

b) superposition möglich i. dritigem vorne Xmas + Theorie

$$\Rightarrow U_{m,out}^2 = U_{in}^2 + I_m^2 (R_1 || R_2)^2 + I_m^2 R_3^2 = U_{in}^2 + 2 I_m^2 R_3^2$$

$$U_{m,out}^2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)^2 U_{in,out}^2 \frac{T}{2} f_g = 2.004 \cdot 10^{-6} \text{ V}^2$$

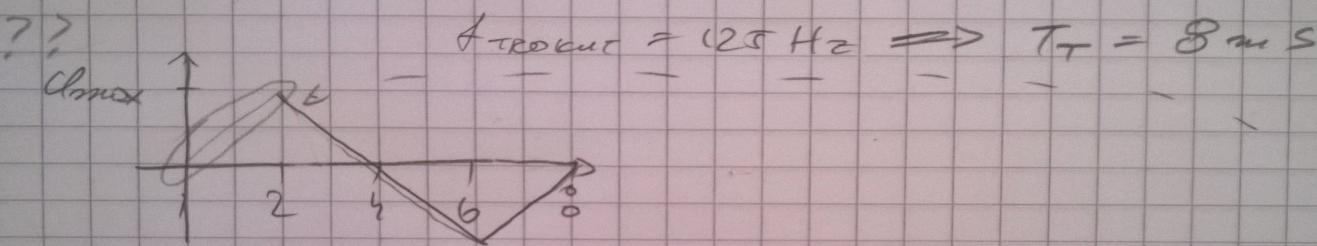
$$U_{in,out} = 1.416 \text{ mV}$$



$$T_0 = \frac{V}{f_{osc}} = 10 \text{ ms} \quad ; \quad V = 10^4 \quad ; \quad f_{osc} = 1 \text{ MHz}$$

$$N_m = \frac{V}{U_{ref}} \cdot f_{osc} = 7200 \quad ; \quad U_{ref} = 5 \text{ V} \quad ; \quad U_{ref} = 3.6 \text{ V}$$

SKEČNJA TROKUTA f_{osc} JE $\Delta N = N_m - N_m = 36$



$T_{trokuta}$ nije visekretne od perioda T_0

$$T_0 - T_T = 2 \text{ ms} \quad (\Rightarrow 2 \text{ ms greska})$$

\Rightarrow superponirati se napon trokuta u prvo 2 ms

$$N_{sm} = N_m + \Delta N = 7236$$

SREDNJA VRIDENOST

JEDNAZBA
PRAVCA
ZA TROKUT

$$N_{sm} = \frac{N}{U_{ref}} \cdot U_{sm} \Rightarrow U_{sm} = 3.618 \text{ V}$$

$$U_{sm} = \frac{U_{max}}{0.004} +$$

$$U_{sm} = \frac{1}{T_0} \int_{0}^{T_0} (U_{sl} + U_{sm}) dt \Rightarrow 18 \text{ mV} = \frac{1}{T_0} \int_{0}^{T_0} U_{sm} dt$$

$$18 \text{ mV} = \frac{1}{0.01} \cdot \frac{U_{max}}{0.004} \cdot \frac{f^2}{2} / 0.002$$

$$U_{max} = 180 \text{ mV}$$