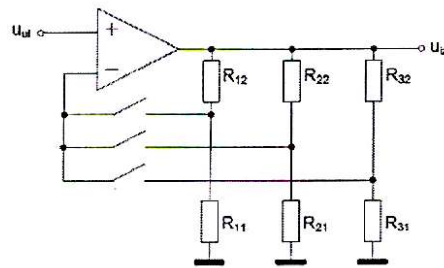
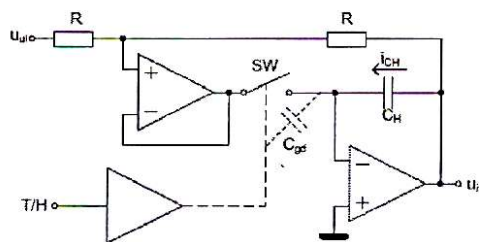


1. Izračunajte otpore težinske mreže **neinvertirajućeg** pojačala s programabilnim pojačanjem (PGA) **5, 100 i 500** kao na slici. Kolike su dopuštene tolerancije otpora otpornika da bi pogreške pojačanja za isti signal bile manje od **0,1%**.



2. Izvor sinusnog signala amplitude **1 V**, frekvencije **100 kHz** i zanemarivog unutarnjeg otpora se preklapa preklopkom otpora u vođenju **100 Ω** i kapaciteta **$C_D=5$ pF** na uređaj ulazne impedancije **$C_L=15$ pF**. Odredite prigušenje amplitude, fazni pomak te vrijeme smirivanja pri kojem je pogreška manja od **1/2 LSB** za **16-bitni ADP** s ulaznim opsegom od **± 1 V**.

3. Sklop za uzimanje i zadržavanje uzoraka prikazan je slikom ispod. Kapaciteti su **$C_{GD}=1$ pF** i **$C_H=1$ nF**. Struja curenja kroz **C_H** je **1 nA**. Ako je **$U_{ul}=1$ V**, izračunajte **U_{iz}** **neposredno i nakon 50 ms** po ulasku sklopa u zadržavanje. Sklopka (n kanalni JFET) se upravlja naponskim razinama **0 V i -15 V**.



4. Sklop za uzimanje i zadržavanje uzoraka uz kondenzator kapaciteta **1 nF** ima **vrijeme akvizicije** od **4,5 μ s** unutar kojeg napon na kondenzatoru postiže **$\pm 0,1\%$ ulaznog napona od 20 V**, **brzinu klizanja (droop rate)** **30 mV/s** i **preslušavanje** ulaznog signala uslijed konačne impedancije sklopke u nevođenju (*feedthrough*) **70 dB** pri frekvenciji signala od **1 kHz**. Ako se kondenzator **zamijeni** kondenzatorom kapaciteta **100 pF** s namjerom smanjivanja vremena akvizicije, izračunajte novu brzinu klizanja i vrijednost preslušavanja.

5. Sklop za uzimanje i zadržavanje uzoraka (S/H) ima **vrijeme smirivanja 500 ns** (uključuje i aperturno vrijeme) i **vrijeme akvizicije 2 μ s**. Ako je ciljana **frekvencija uzorkovanja 250 kHz**, odredite **maksimalno trajanje pretvorbe** analogno-digitalnog pretvornika spojenog na izlaz S/H sklopa. Izračunajte **kapacitet sklopke u nevođenju**, ako je **preslušavanje -80 dB** za kapacitet kondenzatora S/H sklopa od **1 nF**.

6. Unipolarni **10-bitni DAP** s naponskim **referentnim izvorom od 10 V** za digitalni podatak **100_{10}** na ulazu daje **0,981 V** na izlazu, a za **900_{10}** daje **8,794 V**. Izračunajte pomak nule i pogrešku pojačanja pretpostavljajući savršeno linearnu karakteristiku.

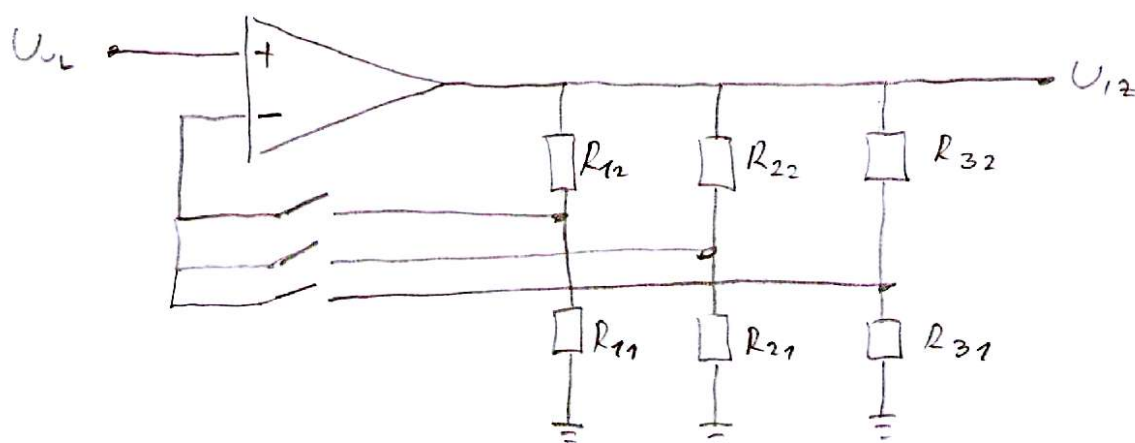
1.

$$A_1 = 5$$

$$A_2 = 100$$

$$A_3 = 500$$

$$\varepsilon \leq 0.1 \%$$



PRETPOSTAVKA!

$$R_{11} = R_{21} = R_{31} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_i = 1 + \frac{R_{i2}}{R_{i1}}$$

$$A_1 = 1 + \frac{R_{12}}{R_{11}} \longrightarrow 4 = \frac{R_{12}}{R_{11}} \longrightarrow R_{12} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$A_2 = 1 + \frac{R_{22}}{R_{21}} \longrightarrow 99 = \frac{R_{22}}{R_{21}} \longrightarrow R_{22} = 99 \text{ k}\Omega$$

$$A_3 = 1 + \frac{R_{32}}{R_{31}} \rightarrow 499 = \frac{R_{32}}{R_{31}} \rightarrow \boxed{R_{32} = 499 \text{ k}\Omega}$$

I. NAČIN

- UZIMA SE NAJVEĆE POJAČANJE DA SE IZRAČUNAJU TOLERANCIE OTPORNIKA

- JER ZA NAJVEĆE POJAČANJE TOLERANCIE SU NAJMANJE

$$\boxed{A_3(1+\epsilon) = 1 + \frac{R_{32}(1+\delta)}{R_{31}(1-\delta)}}$$

$$\delta = ?$$

$$500 \cdot \left(1 + \frac{0.1}{100}\right) = 1 + 499 \cdot \frac{1+\delta}{1-\delta}$$

$$500.5 = 1 + 499 \cdot \frac{1+\delta}{1-\delta}$$

$$\frac{1+\delta}{1-\delta} = 1.001002$$

$$1+\delta = 1.001002 - 1.001002\delta$$

$$2.001002\delta = 0.001002$$

$$\delta = 0.0005 = 0.05\%$$

$$\boxed{\delta < 0.05\%}$$

II. NAČIN

$$\boxed{\frac{dA_3}{A_3} < \epsilon}$$

$$\boxed{dA_3 = \frac{A_3}{dR_{32}} + \frac{A_3}{dR_{31}}}$$

(2)

$$A_3 = 1 + \frac{R_{32}}{R_{31}}$$

$$dA_3 = \frac{1}{R_{31}} dR_{32} - \frac{R_{32}}{R_{31}^2} dR_{31}$$

$$\frac{dA_3}{A_3} = \frac{1}{A_3} \left(\frac{1}{R_{31}} dR_{32} - \frac{R_{32}}{R_{31}^2} dR_{31} \right)$$

$$\frac{dA_3}{A_3} = \frac{1}{A_3} \left(\frac{R_{32}}{R_{31}} \frac{dR_{32}}{R_{32}} - \frac{R_{32}}{R_{31}} \frac{dR_{31}}{R_{31}} \right)$$

$$\delta = \frac{dR_{32}}{R_{32}} = - \frac{dR_{31}}{R_{31}}$$

$$\frac{dA_3}{A_3} = \frac{1}{A_3} \left(\frac{R_{32}}{R_{31}} \delta + \frac{R_{32}}{R_{31}} \delta \right)$$

$$\frac{dA_3}{A_3} = \frac{2}{A_3} \frac{R_{32}}{R_{31}} \delta$$

$$\frac{2}{A_3} \frac{R_{32}}{R_{31}} \delta < \epsilon$$

↓

$$\delta < \epsilon \cdot \frac{A_3}{2} \frac{R_{31}}{R_{32}}$$

$$\delta < \varepsilon \cdot \frac{1}{2} \left(1 + \frac{R_{32}}{R_{31}} \right) \cdot \frac{R_{31}}{R_{32}}$$

$$\delta < \varepsilon \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{R_{31}}{R_{32}} + 1 \right)$$

$$\delta < \frac{0.1}{100} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{499} + 1 \right)$$

$$\delta < 0.0005$$

$$\boxed{\delta < 0.05\%}$$

ISTO REŠENJE!!

2.

$$U_A = 1 \text{ V}$$

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

$$r_{on} = 100 \text{ m}$$

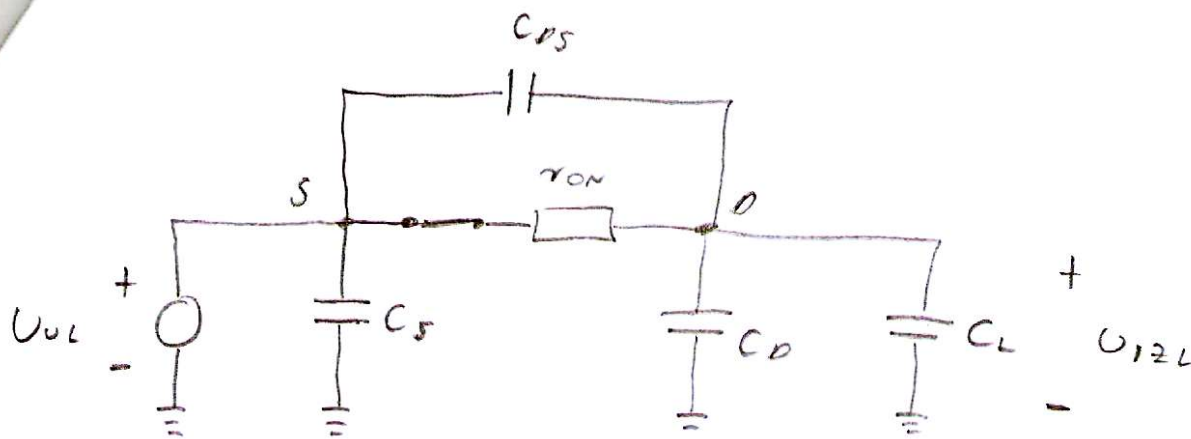
$$C_0 = 5 \text{ nF}$$

$$C_L = 15 \text{ nF}$$

POGREŠKA MANJA OD $\frac{1}{2} \text{ LSB}$

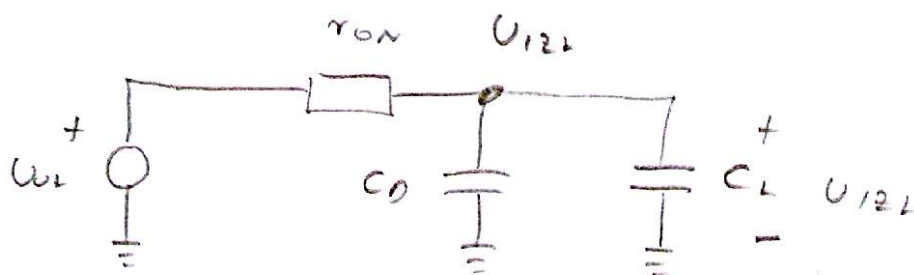
$$n = 16$$

$$\text{OPSEG} \rightarrow \pm 1 \text{ V}$$



$$U_{OL} = U_A \sin(\omega t) = 1 \cdot \sin(2\pi \cdot 100 \cdot 10^3 t)$$

- POŠTO IZVOR SIGNALA IMA ZANEMARIV UNUTARNJI OTPOR, TADA KONDENZATOR C_S NE UTJEČE NA NAŠE IZNAČUNE!!
- KAO DA GA NEMA TAMO → MOŽEMO GA ZANEMARITI
- U OVOM SLUČAJU MOŽEMO ZANEMARITI I C_{DS} (NIJE ZADAN!)



- PRIGUŠENJE AMPLITUDE? → PITA NAS POJAČANJE A

$$A = \frac{U_{IZL}}{U_{OL}} \rightarrow \text{PREKO TOGA TO VIDIŠ!}$$

$$U_{IZL} \left(\frac{1}{r_{ON}} + sC_D + sC_L \right) - U_{OL} \frac{1}{r_{ON}} = 0$$

$$U_{12L} \left(\frac{1}{r_{on}} + s C_0 + s C_L \right) = \frac{1}{r_{on}} U_{0L}$$

$$\frac{U_{12L}}{U_{0L}} = \frac{\frac{1}{r_{on}}}{\frac{1}{r_{on}} + s(C_0 + C_L)} \quad / \cdot r_{on}$$

$$A = \frac{1}{1 + s r_{on} (C_0 + C_L)}$$

$$A = \frac{1}{1 + j\omega \cdot r_{on} \cdot (C_0 + C_L)}$$

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot r_{on}^2 \cdot (C_0 + C_L)^2}} = \frac{1}{1.00000079}$$

$$|A| = 0.99999 \rightarrow \text{PRIGUŠENJE AMPLITUDE!}$$

↓

$$U_{12L} = 0.99999 U_{0L} = \underline{\underline{0.99999}}$$

FAZNI POMAK ?

- ISTO PREKO PRIDENOSNE FUNKCIJE!!

$$A = \frac{1}{1 + j\omega_{\text{ron}}(C_0 + C_L)}$$

$$\phi(\omega) = \phi_{\text{BR}}(\omega) - \phi_{\text{NAZ}}(\omega)$$

$$\phi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}[A]}{\text{Re}[A]}$$

$$\phi_{\text{BR}}(\omega) = \arctg \frac{0}{1} = 0$$

$$\phi_{\text{NAZ}}(\omega) = \arctg \frac{\omega_{\text{ron}}(C_0 + C_L)}{1} = \arctg 0.0012566$$

$$\phi_{\text{NAZ}}(\omega) = 0.072^\circ$$

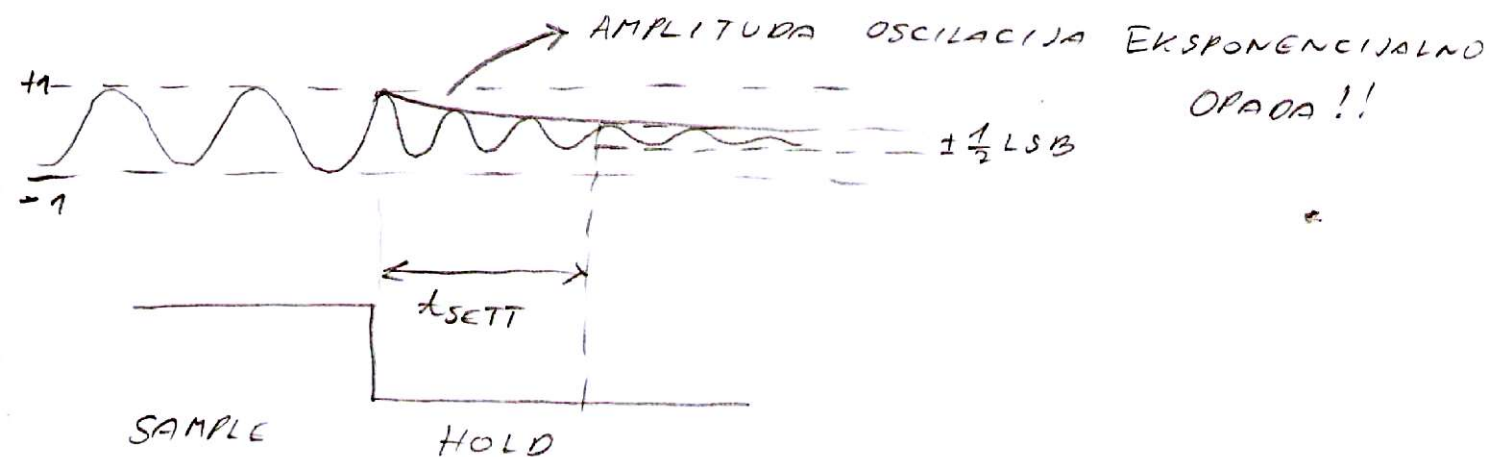
$$\phi(\omega) = 0 - 0.072^\circ = -0.072^\circ$$

VRIVEME SMIRIVANJA \rightarrow SETTLING TIME ?

- JAVLJA SE KOD S&H SKLOPA KADA SE PRELAZI IZ SAMPLE U HOLD STANJE
- JAVLJAJU SE OSCILACIJE SIGNALA, TEK KADA TE OSCILACIJE PADNU ISPOD $\pm \frac{1}{2} \text{LSB}$, TADA MOŽE POČETI AD PRETVORBA!

$$LSB = \frac{\text{ULAZNI OPSEG}}{2^n} = \frac{2}{2^n} = \frac{2}{2^{16}}$$

$$LSB = 0.0000305$$



- UVIJEK UZIMAM NAJGORI SLUČAJ !! (DA MI JE AMPLITUDA NAJVEĆA KADA PRELAZIM S → H)

$$1 \cdot e^{-\frac{t_{SETT}}{\tau}} < \frac{1}{2} LSB$$

$$\tau = r_{ON} \cdot (C_0 + C_L)$$

$$\tau = 2 \text{ ns}$$

$$e^{-\frac{t_{SETT}}{\tau}} < 0.00001525 \quad / \cdot \ln$$

$$\frac{-t_{SETT}}{\tau} < -11.0909$$

$$t_{SETT} > 22.1818 \text{ ns}$$

→ ZA VRIJEME SMIRIVANJA KOJE TRAJE DUŽE OD 22 ns, TADA JE POGREŠKA MANJA OD $\frac{1}{2} LSB$ - A

3.

$$C_{GD} = 1 \mu F$$

$$C_H = 1 nF$$

$$I_L = 1 nA$$

$$U_{OL} = 1 V$$

$$U_{I2L} = ?$$

$$\underline{U_{I2L}(50 ms) = ?}$$

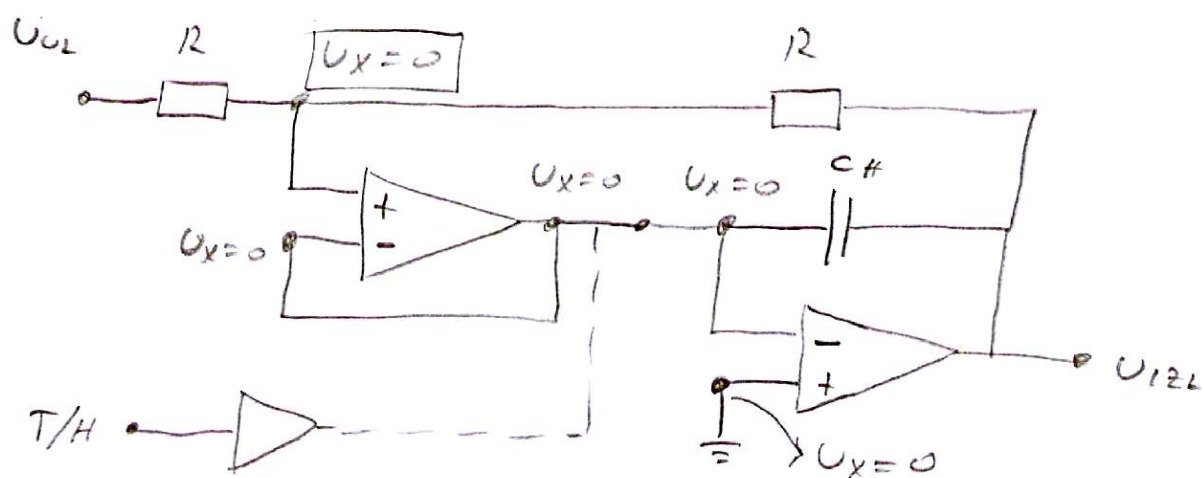
} U HOLD STANJE

NAPONSKE RAZINE SKLOPKE $\rightarrow 0 - (-15) V$

n KANALNI JFET $\rightarrow 0 V \rightarrow VODI!$

$\rightarrow -15 V \rightarrow NE VODI!$

- PRVO SE RAČUNA U_{I2L} U SAMPLE STANJU (SKLOPKA UKLJUČENA!!)



$$U_X \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) - \frac{1}{R} U_{OL} - \frac{1}{R} U_{I2L} = 0 \quad / \cdot R$$

$$\boxed{U_{I2L} = -U_{OL} = -1 V}$$

- SADA ZNAMO IZNOS U_{IZL} U SAMPLE STANJU

- MEĐUTIM PRELAZKOM $S \rightarrow H$ JAVLJAJU SE ODREĐENE POJAVE!

X 1. OSCILACIJA UZETOG NAPONA

- DEFINIRANO VREMENOM SMIRIVANJA

2. PAD ILI RAST IZLAZNOG NAPONA (DC OFFSET)

- NAKON ŠTO SE SIGNAL SMIRI

3. USLIJED STRUJE CURENJA, NAPON KLIZI, SMANJUJE SE (DROOP RATE)

X 4. ZBOG NESAVRŠENOSTI SKLOPKE, JOŠ

UVIJEK MALI DIO ULAZNOG SIGNALA DOLAZI NA IZLAZNI NAPON (FEEDTHROUGH)

- PRESLUŠAVANJE!

U OVOM ZADATKU SE OVE POJAVE JAVLJAJU (NJIH UZIMAMO U OBZIR!)

2.

$$\Delta U_{IZL} = \frac{\Delta Q}{C_H}$$

- ODREĐENI DIO NABOJA

KOD $S \rightarrow H$ SE PREBACUJE

IZMEĐU C_{GD} (C_D) I C_H

$$\Delta Q = C_{GD} (U_{ON} - U_{OFF})$$

NAPONI SKLOPKE

$$\Delta Q = 1 \cdot 10^{-12} (0 - (-15)) = 15 \text{ pC}$$

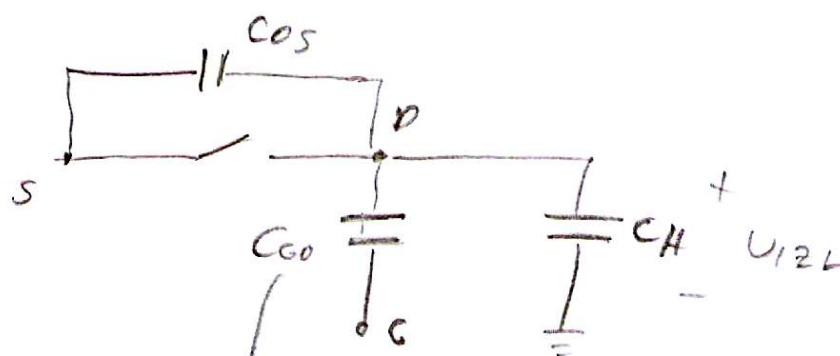
- NABOJ JE POZITIVAN!!

- ŠTO ZNAČI DA JE C_{CO} DOBIO NABOJ OD C_H

$$\Delta U_{12L} = \frac{\Delta Q}{C_H} = \frac{15 \text{ pC}}{1 \text{ nF}} = -15 \text{ mV} \rightarrow \text{DC OFFSET}$$

$$U_{12L} = -1 + 15 \cdot 10^{-3} = -0.985 \text{ V}$$

- KAKO JE C_{CO} DOBIO NABOJ OD C_H, IZLAZNI
NAPON SE SMANJIO!!



NIJE NA MASI ZA MALE SIGNALE!!

UTJECAJ STRUJE CURENJA (DROOP RATE)

$$\boxed{\frac{dU}{dt} = \frac{I_L}{C_H}}$$

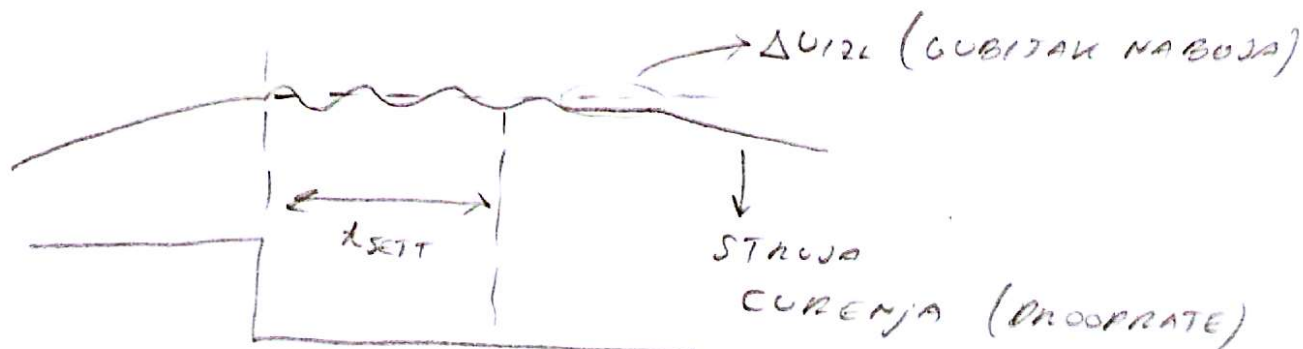
- STRUJA OD 1 nA ODVUČE NABOJ
SA C_H!

$$\Delta U_{12L} = \frac{I_L}{C_H} \cdot t$$

$$\Delta U_{12L} = \frac{10^{-9}}{10^{-9}} \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 50 \text{ mV}$$

$$U_{I2L}(50ns) = -0.985 + 50 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{I2L}(50ns) = -0.935 \text{ V}$$



VAŽNO!!

- KOD "NORMALNIH" SKLOPOVA PAD/RAST NAPONA KAO POSLJEDICA "ŠETNJE" NABOJA OVISI O IZNOSU IZLAZNOG NAPONA
- TOČNIJE AKO JE IZLAZNI NAPON VEĆI TADA ĆE I TAJ DC OFFSET (DA LI POZ ILI NEG.) ISTO BITI VEĆI
- KOD SCHEME U OVOM ZADATKU TO SE NE DOGAĐA, IMAMO OFFSET, ALI ON NE OVISI O IZNOSU IZLAZNOG NAPONA!!

4.

$$C_{H1} = 1 \text{ nF}$$

$$t_{AKV} = 4.5 \mu s$$

$$\epsilon = \pm 0.1 \%$$

$$U_{OL} = 20 \text{ V}$$

$$\left(\frac{dU}{dt} \right)_1 = 30 \text{ mV/s} \rightarrow \text{DROOP RATE}$$

$$F_1 = -70 \text{ dB} \rightarrow \text{FEEDTHROUGH}$$

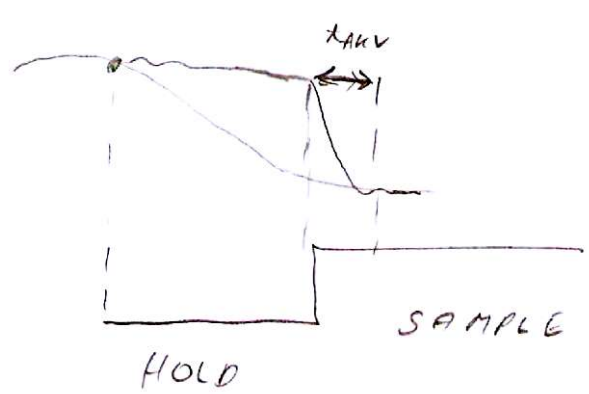
$$f = 1 \text{ kHz}$$

$$C_{H2} = 100 \text{ pF}$$

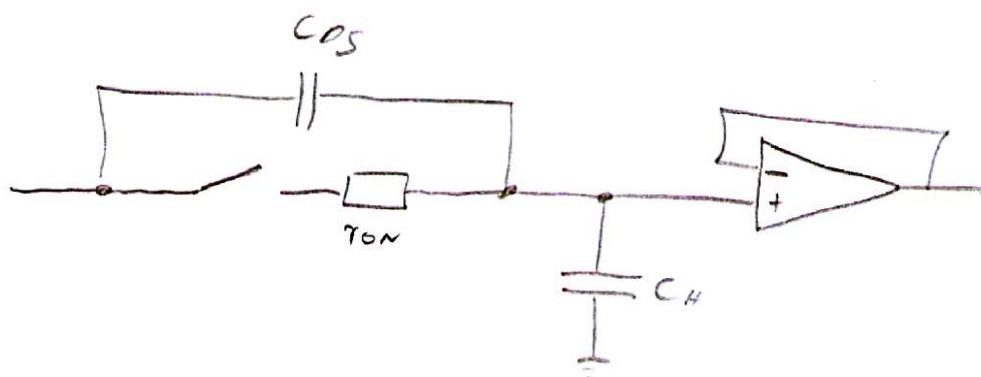
$$\left(\frac{dU}{dt} \right)_2 = ?$$

$$F_2 = ?$$

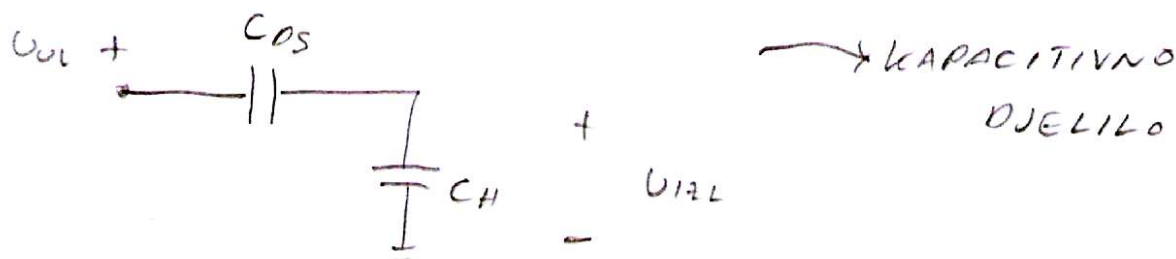
$H \rightarrow S$ \rightarrow VARIJETA AKVIZICJE



PRESLUŠAVANJE → SKLOPA JE U
NEVOĐENJU



- U NEVOĐENJU OTPOR r_{ON} NEMA UTJECAJA, PA DOBIVAMO!



$$F_1 = -70 \text{ dB}$$

$$F_1 = 20 \lg |A|$$

$$A = \frac{U_{12L}}{U_{0L}}$$

$$U_{12L} (s C_{H1} + s C_{05}) - U_{0L} \cdot s C_{05} = 0$$

$$\frac{U_{12L}}{U_{0L}} = \frac{s C_{05}}{s (C_{H1} + C_{05})}$$

$$A = \frac{C_{05}}{C_{H1} + C_{05}}$$

$$|A| = \frac{C_{05}}{C_{H1} + C_{05}}$$

$$20 \log \left(\frac{C_{OS}}{C_{H1} + C_{OS}} \right) = -70$$

$$\frac{C_{OS}}{C_{H1} + C_{OS}} = 10^{-\frac{7}{2}}$$

$$C_{OS} = 0.000316 (C_{H1} + C_{OS})$$

$$0.999684 C_{OS} = 0.000316 C_{H1}$$

$$C_{OS} = 0.000317 \text{ nF}$$

$$\boxed{C_{OS} = 0.317 \text{ pF}}$$

$$\left(\frac{dU}{dt} \right)_1 = \frac{I_L}{C_{H1}} \rightarrow I_L = C_{H1} \cdot \left(\frac{dU}{dt} \right)_1$$

$$I_L = 10^{-9} \cdot 30 \cdot 10^{-3}$$

$$I_L = 30 \cdot 10^{-12} = 30 \text{ pA} \rightarrow \text{STRUJA CURENJA!!}$$

$$C_{H2} = 100 \text{ pF}$$

$$F_2 = ?$$

$$F_2 = 20 \log \left(\frac{C_{OS}}{C_{H2} + C_{OS}} \right) = 20 \log 0.00316 = -50 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{dU}{dt}\right)_2 = \frac{I_L}{C_{H2}} = \frac{30 \cdot 10^{-12}}{100 \cdot 10^{-12}} = 0.3 = 300 \text{ mV/s}$$

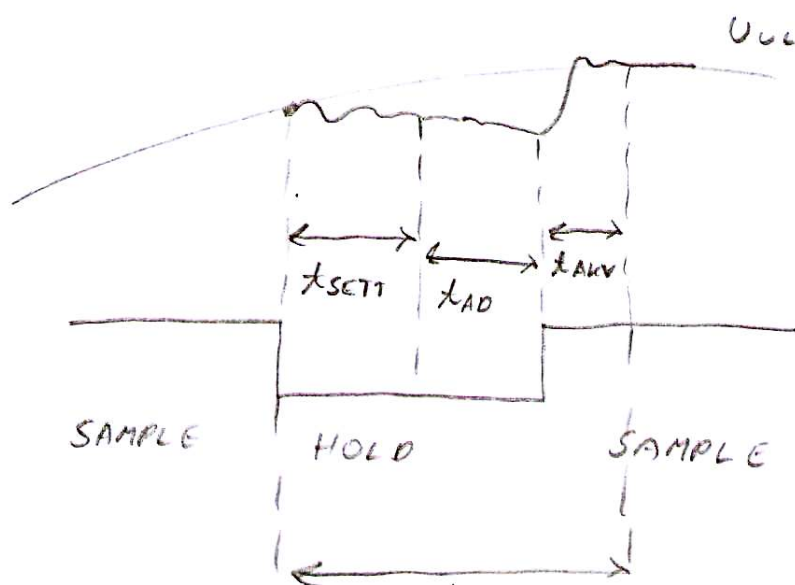
5.

$t_{SETT} = 500 \text{ ms} \rightarrow 1$ APERTURNO VRIJEME UKLJUČENO
(KAŠMJEJE SKLOPKE)

$$t_{AKV} = 2 \mu\text{s}$$

$$f_s = 250 \text{ kHz}$$

$$(t_{AD})_{MAX} = ?$$



$$\frac{1}{f_s}$$

\rightarrow NAKON OVOG VREMENA, MOGU
DATI NOVU NAREDBU ZA HOLD,
PRIJE NE MOGU ZBOG t_{AKV}

$$\frac{1}{f_s} \geq t_{SETT} + t_{AO} + t_{AKV}$$

$$t_{AO} \leq \frac{1}{f_s} - t_{SETT} - t_{AKV}$$

$$t_{AO} \leq 1.5 \mu s$$

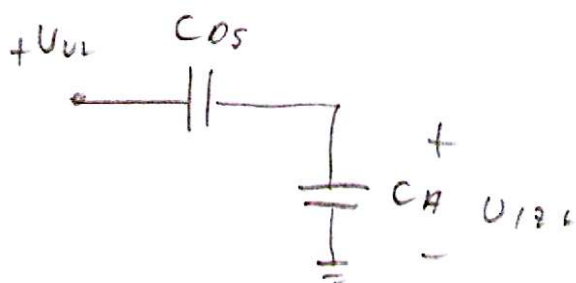
- AO PRETVORNIK TREBA NAPRAVITI PRETVORBU ZA
 MANJE OD $1.5 \mu s$ KAKO BI SLJEDEĆE HOLD STANJE
 MOGLA BITI NAKON $\frac{1}{f_s}$ VREMENA

$$F = -80 \text{ dB}$$

$$C_H = 1 \text{ nF}$$

$$C_{OS} = ?$$

SKLOPKA JE U NEVOĐENJU!!



→ KAPACITIVNO
 DIELILO

$$A = \frac{C_{OS}}{C_H + C_{OS}} = \frac{U_{IZL}}{U_{OL}}$$

$$F = 20 \log |A| = -80 \text{ dB}$$

$$20 \log \frac{C_{OS}}{C_H + C_{OS}} = -80$$

$$\frac{C_{OS}}{C_H + C_{OS}} = 10^{-4}$$

$$C_{OS} = 10^{-4} (C_H + C_{OS})$$

$$(1 - 10^{-4}) C_{OS} = 10^{-4} C_H$$

$$C_{OS} = 0.1 \mu F$$

$C_H \downarrow$

- DOBRO
 - BRŽNA AKVIZICIJA
- LOŠE
 - VEČE KLIZANJE
 - VEČE PRESLUŠAVANJE

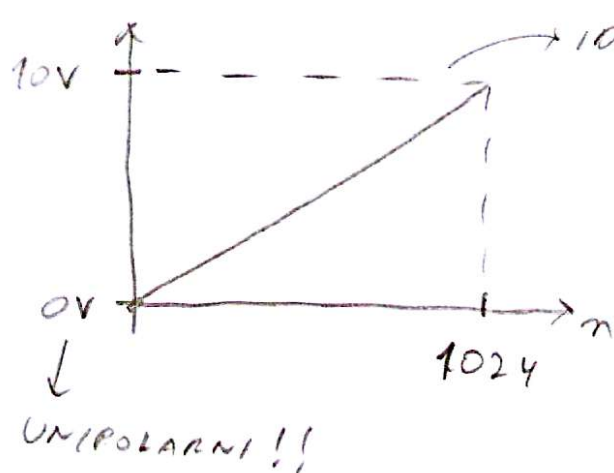
6.

$$U_{REF} = 10 \text{ V}$$

$$n = 10$$

$$100_{10} \rightarrow 0.981 \text{ V}$$

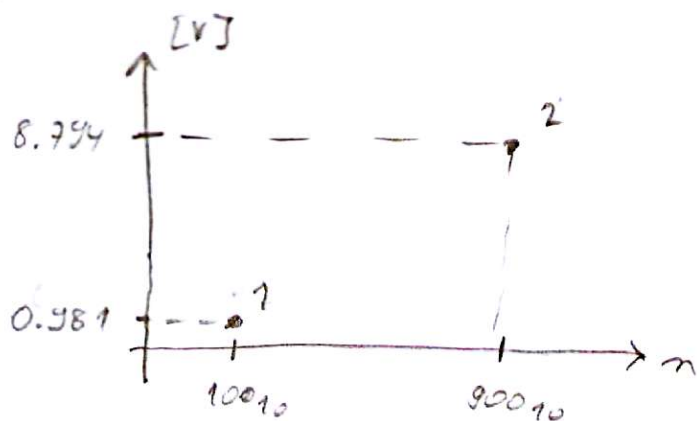
$$900_{10} \rightarrow 8.794 \text{ V}$$



$$2^n = 2^{10} = 1024$$

$$A_{IDEALNO} = \frac{10 - 0}{1024 - 0} = 0.009765625$$

↓
POJAČANJE



- NA TEMELJU OVE DVE TOČKE DOBIVEM
JEDNAČBU PRAVCA !!

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$y - 0.981 = \frac{8.794 - 0.981}{900 - 100} (x - 100)$$

$$y - 0.981 = 0.00976625 (x - 100)$$

$$y = 0.00976625x + 0.004375 \quad [V]$$

$$A_{\text{REALNO}} = 0.00976625$$

POJAČANJE !!

POGREŠKA POJAČANJA !!

$$\epsilon = \left| \frac{A_{\text{REALNO}}}{A_{\text{IDEALNO}}} - 1 \right| = 0.000064 = 6.4 \cdot 10^{-5} = 6.4 \cdot 10^{-3} \%$$

OFFSET

$$x = 0$$

$$y_{\text{OFFSET}} = 0.004375 \text{ V} = 4.375 \text{ mV}$$

