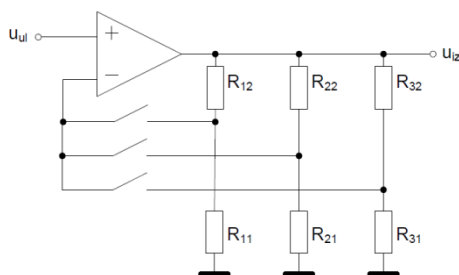
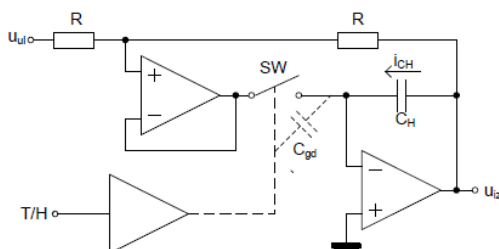


1. Izračunajte otpore težinske mreže **neinvertirajućeg** pojačala s programabilnim pojačanjem (**PGA**) **5, 100 i 500** kao na slici. Kolike su dopuštene tolerancije otpora otpornika da bi pogreške pojačanja za isti signal bile manje od **0,1%**.



2. Izvor sinusnog signala amplitude **1 V**, frekvencije **100 kHz** i zanemarivog unutarnjeg otpora se preklapa preklopkom otpora u vođenju **100  $\Omega$**  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  **$\pm 1$  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  **$U_{izl}$  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  $\mu$ 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  $\mu$ 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<sub>10</sub>** na ulazu daje **0,981 V** na izlazu, a za **900<sub>10</sub>** daje **8,794 V**. Izračunajte pomak nule i pogrešku pojačanja pretpostavljajući savršeno linearnu karakteristiku.

# Elektronička instrumentacija

## 1. Auditorne vježbe

Mirko Cerovac

April 13, 2013

### Zadatak 1

**Zadano:**

$$A_1 = 500$$

$$A_2 = 100$$

$$A_3 = 5$$

$$\epsilon = 0.1\%$$

**Odabiremo:**  $R_{11} = R_{21} = R_{31} = 1k\Omega$

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

$$\text{Uz } A_1 = 500 \rightarrow R_{12} = 499k\Omega$$

$$\text{Uz } A_2 = 100 \rightarrow R_{22} = 99k\Omega$$

$$\text{Uz } A_3 = 5 \rightarrow R_{32} = 4k\Omega$$

Uzima se jedinstveni izraz za pojačanje i treba ga dvaputa parcijalno derivirati, po  $R_1$  i po  $R_2$ , dobije se:

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

$$dA = \frac{dA}{dR_2} + \frac{dA}{dR_1} = \frac{dR_2}{R_1} + \frac{0 - R_2 dR_1}{R_1^2} = \frac{dR_2}{R_1} - \frac{R_2}{R_1^2} dR_1 \quad (3)$$

$$\frac{dA}{A} = \frac{1}{A} \left( \frac{1}{R_1} dR_2 - \frac{R_2}{R_1^2} dR_1 \right) = \frac{1}{A} \left( \frac{R_2}{R_1} \frac{dR_2}{R_2} - \frac{R_2}{R_1} \frac{dR_1}{R_1} \right) \quad (4)$$

Traži se dopuštena tolerancija otpornika, treba pogledati za najgori slučaj, to će biti u slučaju da:

$$\frac{dR_2}{R_2} = \delta = -\frac{dR_1}{R_1} \quad (5)$$

U zadatku je zadano da pogreška pojačanja mora biti manja od 0.1%, tj.  $|\frac{dA}{A}| < \epsilon$ :

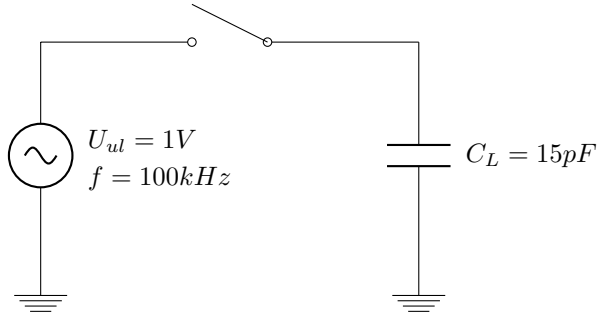
$$\frac{1}{A} \frac{R_2}{R_1} 2\delta < \epsilon \quad (6)$$

$$\delta < \frac{AR_1\epsilon}{2R_2} = \epsilon \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{1}{2} \frac{R_1}{R_2} = \epsilon \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (7)$$

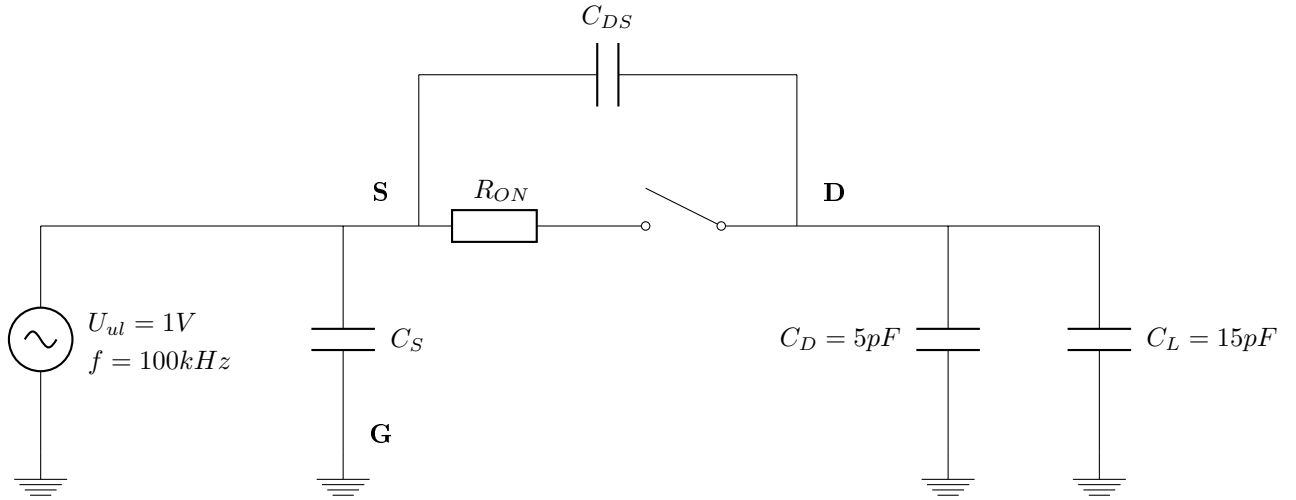
Na pojačanje  $A=500$  bi odstupanje otpornika imalo najveći utjecaj pa računamo s otpornicima  $R_2 = 499k\Omega$  i  $R_1 = 1k\Omega$  za taj najgori slučaj. Dobije se tolerancija:

$$\delta = 0,0501\% \quad (8)$$

## Zadatak 2



Slika 1: Spoj s idealnom sklopkom



Slika 2: Nadomjesna shema poluvodičke sklopke s generatorom i teretom  $C_L$

Traži se prigušenje amplitude, fazni pomak i vrijeme smirivanja.

$C_S$  ne igra nikakvu ulogu bez unutarnjeg otpora generatora, a  $C_{DS}$  zanemarujemo u ON načinu rada.

$$C = C_D + C_L \quad (9)$$

$$\tau = R_{ON}C = T_{ON}(C_D + C_L) = 100\Omega \cdot 20pF = 2ns \quad (10)$$

$$u_{iz} = u_{ul} \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R_{ON} + \frac{1}{j\omega C}} = u_{ul} \frac{1}{1 + j\omega\tau} \quad (11)$$

Gušenje amplitude:

$$|u_{iz}| = u_{ul} \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2\tau^2}} \approx u_{ul} \quad (12)$$

Frekvencija je preniska pa je zanemarivo gušenje amplitude kroz sklopku.

Fazni pomak(faza):

$$\varphi = 0 - \arctg(\omega\tau) \approx -0.072^\circ \quad (13)$$

Vrijeme smirivanja  $t_s$ :

$$1V \cdot e^{-\frac{t_s}{\tau}} < \frac{1}{2}LSB \quad (14)$$

$$t_s = -\tau \ln\left(\frac{1}{2}LSB\right) \quad (15)$$

$$LSB = \frac{2V}{2^{16}} = 30,52\mu V \quad (16)$$

2 volta u brojniku su zbog ulazne dinamike od  $\pm 1V$ , uvrštavanjem dobivenog  $LSB$  u (14) dobije se  $t_s = 22,18ns$ .

### Zadatak 3

Treba odrediti odnos ulaznog i izlaznog napona, s  $u_x$  označimo napon na invertirajućoj stezaljci drugog operacijskog pojačala, ali zbog virtualnih kratkih spojeva operacijskih pojačala taj  $u_x$  se nalazi i na izlazu iz prvog operacijskog i na obje ulazne stezaljke prvog operacijskog pojačala. Taj napon iznosi  $u_x = 0$ . Dobiju se jednačbe:

$$\frac{u_{ul} - u_x}{R} = \frac{u_x - u_{iz}}{R} \quad (17)$$

Kako je  $u_x = 0$  dobije se:

$$u_{ul} = -u_{iz} \quad (18)$$

Predznak nas ne smeta (kod običnog S&H sklopa  $u_{ul} = u_{iz}$ ).

$$\Delta Q_{C_{GD}} = -15V \cdot C_{GD} \quad (19)$$

To je naboj koji je došao s  $C_H$ .

Promjena izlaznog napona:

$$\Delta u_{iz} = \frac{-\Delta Q_{C_{GD}}}{C_H} = 15mV \quad (20)$$

Neposredno nakon ulaska u zadržavanje napon na izlazu je:

$$u_{iz} = -u_{ul} + \Delta u_{iz} = -1V + 15mV = -985mV \quad (21)$$

Nakon  $T = 50ms$ :

$$C_H \cdot \Delta u'_{iz} = I_L \cdot T \quad (22)$$

$$\Delta u'_{iz} = \frac{1nA \cdot 50ms}{C_H} = 50mV \quad (23)$$

$$u'_{iz} = u_{iz} + \Delta u'_{iz} = -985mV + 50mV = -935mV \quad (24)$$

## Zadatak 4

Brzina klizenja ( $\frac{du}{dt}$ ):

$$\frac{du}{dt} = \frac{I}{C_H} \quad (25)$$

Ako zamijenimo  $C_H$  s novim koji je 10 puta manji onda brzina klizenja raste 10 puta. Uz  $C_H = 100pF$  dobije se nova brzina klizenja:

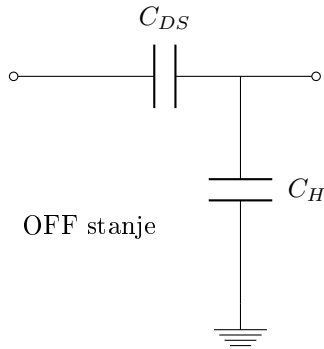
$$\frac{du}{dt} = 300 \frac{mV}{s} \quad (26)$$

Preslušavanje je vezano uz OFF stanje, preslušavanje je preko parazitnog kondenzatora između *drain*-a i *source*-a  $C_{DS}$ . Faktor preslušavanja  $F$  za slučaj kad je  $C_H = 1nF$  iznosi:

$$F = 20 \log \frac{C_{DS}}{C_H + C_{DS}} = -70dB \quad (27)$$

$$\frac{C_{DS}}{C_{DS} + C_H} = 10^{-\frac{7}{2}} \quad (28)$$

$$C_{DS} = \frac{10^{-\frac{7}{2}}}{1 - 10^{-\frac{7}{2}}} C_H \approx 0.316pF \quad (29)$$



Slika 3: Nadomjesna shema preslušavanja ulaznog signala

Sad kad znamo  $C_{DS}$  možemo odrediti novi faktor preslušavanja za slučaj kad koristimo kondenzator  $C_H = 100pF$ .

$$F' = 20 \log \frac{C_{DS}}{100pF + C_{DS}} = -50dB \quad (30)$$

Smanjenjem  $C_H$  dobiva se:

$$C_H \downarrow \begin{cases} \text{brze (smanjeno) vrijeme akvizicije} \\ \text{brze klizenje} \\ \text{veće preslušavanje} \end{cases}$$

## Zadatak 5

**Zadano:**

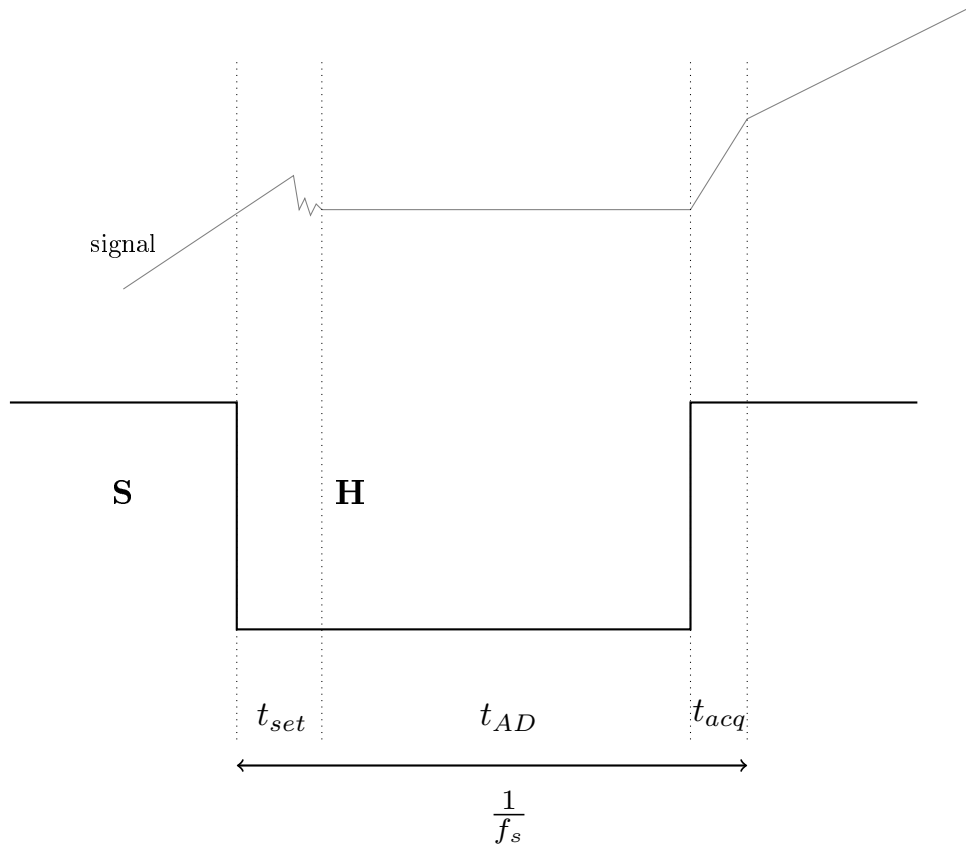
$$t_{set} = 500ns$$

$$t_{acq} = 2\mu s$$

$$f_s = 250kHz$$

pita koliko je vrijeme trajanja analogno-digitalne pretvorbe  $t_{ADP} = ?$

Aperturno vrijeme je vrijeme potrebno da se sklopka skroz otvori.



Slika 4: Nesavršenosti S&H sklopa

Iz slike se vidi da vrijedi:

$$t_{set} + t_{AD} + t_{acq} \leq \frac{1}{f_s} \quad (31)$$

$$t_{AD} \leq \frac{1}{f_s} - t_{set} - t_{acq} = 1.5\mu s \quad (32)$$

U drugom djelu zadatka pita kapacitet sklopke u nevođenju, vrijedi Slika 3.

**Zadano:**

$$F = -80dB$$

$$C_H = 1nF$$

$$20\log \frac{C_{DS}}{C_{DS} + C_H} = -80dB \quad (33)$$

$$C_{DS} = \frac{1nF \cdot 10^{-4}}{1 - 10^{-4}} \approx 0.1pF \quad (34)$$

## Zadatak 6

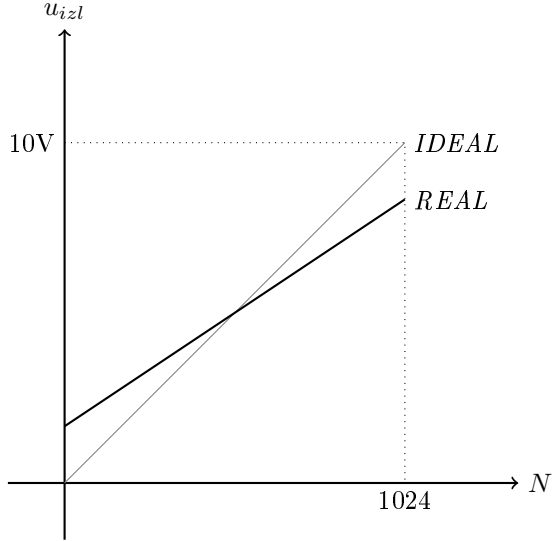
**Zadano:**

$$U_{REF} = 10V$$

$$100_{(10)} \rightarrow 0.981V$$

$$900_{(10)} \rightarrow 8.794V$$

Pretvornik je 10 bitni  $\rightarrow 2^{10} = 1024$



Slika 5: Pomak nule realnog DAP

$$A_{IDEAL} = \frac{10V}{1024} = 0.009765625V \quad (35)$$

$$A_{REAL} = \frac{8.794V - 0.981}{900 - 100} = 0.00976625V \quad (36)$$

$$\epsilon = \frac{A_{REAL} - A_{IDEAL}}{A_{IDEAL}} = 6.4 \cdot 10^{-5} = 6.4 \cdot 10^{-3}\% \quad (37)$$

$$U_{OFFSet} = 0.981 - A_{REAL} \cdot 100 = 4.375mV \quad (38)$$

ili

$$U_{OFFSet} = 8.794 - A_{REAL} \cdot 900 = 4.375mV \quad (39)$$