

UNIVERZITET U BIHAĆU  
TEHNIČKI FAKULTET  
Odsjek: *Elektrotehnika*  
Smjer: *Informatika*

**ZADAĆA IZ PREDMETA**  
**RAČUNARSKO VOĐENJE PROCESA**  
**ZADAĆA br. 6**  
**Efekat pojačanja na grešku diskretizacije**

**Predmetni nastavnik:** *Red. prof. dr Petar Marić*  
**Predmetni asistent:** *mr Toroman Amel, dipl.ing.el.*

**Student:** Hirkić Amir  
**Broj indeksa:** 1079

**Akadska godina:** 2021/2022

# 1. SPECIFIKACIJA ZADATKA

## Analitički dio zadatka

Posmatra se idealizovani *termopar* J tipa, sa mjernim područjem od 0 do 800 [°C] kojem odgovara promjena napona od 0 do 50 [mV]. Neka se za diskretizaciju senzorskog signala koristi *idealizovani A/D konvertor* sa 12 bita i ulaznim područjem od 0 do 10 [V].

- a) *Odrediti grešku zbog A/D konverzije ako se senzorski signal vodi direktno na ulaz A/D konvertora.*
- b) *Odrediti grešku zbog A/D konverzije ako se senzorski signal prije A/D konverzije pojača pojačanjem  $K_p = 2$ .*
- c) *Odrediti grešku zbog A/D konverzije ako se senzorski signal prije A/D konverzije pojača pojačanjem  $K_p = 10$ .*
- d) *Uporediti grešku u slučajevima a), b) i c)*

## Rad u laboratoriji (Matlab Simulink)

### ZADAĆA

1. *Rezultate u tačkama a), b) i c) provjeriti u programskom okruženju Matlab/Simulink..*
2. *Analitički odrediti za podatke pod a), b), c) te provjeriti u programskom okruženju Matlab/Simulink za ulazno područje od 0 do 20 [V].*
3. *Odrediti grešku zbog A/D konverzije ako se senzorski signal prije A/D konverzije pojača pojačanjem  $K_p = 20$  pri ulaznom području od 12 [V],*
4. *Dati analizu i objašnjenje dobivenih rezultata.*

## 2. RJEŠENJE

Ulazni dio analognih veličina u digitalni sistem uvijek je analogno-digitalni konvertor (A/D). On vrši pretvaranje analognog signala sa ulaza u digitalni signal pogodan za obradu u digitalnim strukturama. Pretvaranje se vrši u određenim vremenskim trenucima ( $kT$ ,  $k=1,2,\dots$ ) kada se uzima trenutna vrijednost sa ulaza kolima za zadržku (S/H), izvrši njeno pretvaranje u odgovarajući binarni broj, te stavi na raspolaganje digitalnom sistemu. Vremenski razmaci između dvije uzastopne konverzije mogu biti jednaki ( $T$ ), ali ne moraju.

Da bi digitalni sistem mogao da obavlja funkciju obrade analognog ulaznog signala u realnom vremenu ovaj razmak treba da je veći od vremena potrebnog za izvršenje odgovarajućeg programskog kôda korištenog algoritma plus vrijeme potrebno za jednu konverziju. Ukoliko je vrijeme između dvije uzastopne konverzije  $T$  konstantno, onda se govori o *frekvenciji uzorkovanja* (sempliranja)  $f_s = 1/T_s$ , ( $T_s = T$ ).

Pored frekvencije sempliranja koja se za dati konvertor definiše kao maksimalna koju on može da podržaje, bitan parametar A/D konvertora je dužina riječi na izlazu iz A/D konvertora. Ova dužina definira tačnost konverzije, te utiče na tačnost obrade koja će uslijediti. Dužina se definira brojem bita konvertovanog podatka i u primjeni su 8-bitne, 10-bitne, **12-bitne**, 16-bitne, itd., A/D konverzije. Treći parametar koji određuje A/D konvertor je vrijeme trajanja jedne A/D konverzije ( $T_{ad}$ ). Ovo vrijeme je u vezi sa maksimalnom frekvencijom sempliranja i poželjno je da je što kraće.

Sljedeći parametar vezan za A/D konverziju je broj analognih ulaza. Taj broj treba da bude veći ili jednak broju analognih ulaza koji se u digitalnom sistemu obrađuju. Ako je broj ulaznih analognih kanala, nedovoljan postoji mogućnost multipleksiranja analognih ulaza tako da se dodatnim kolima sa manjim brojem analognih ulaza vrši obrada potrebnog broja ulaznih analognih veličina. A/D konvertor može biti realiziran kao zaseban sklop (čip), ili u sastavu složenijeg sistema na jednom čipu (mikrokontroler, DSP). A/D konvertor ima mogućnost programskog upravljanja početkom konverzije, kao i mogućnost programskog izbora analognog ulaza prilikom multipleksiranja.

a) Greška zbog A/D konverzije ako se senzorski signal vodi direktno na ulaz A/D konvertora

Idealizovanom termoparu J tipa promjena mjerene veličine 0 – 800 [°C] odgovara promjena napona od 0 do 50 [mV].

Osjetljivost ovog termopara u apsolutnom iznosu je vrlo malena i iznosi:

$$\frac{50 \cdot 10^{-3}}{800} = 0.0000625 \left[ \frac{V}{^{\circ}C} \right].$$

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $IO_s$  – izlazni opseg senzora
- $\Delta U_{max}$  – ulazno područje A/D konvertora (maksimalno)
- $n$  – broj bitova

**Za ulazni opseg od 0 do 10 [V]:**

$$UO_s = 800 \quad | \quad IO_s = 50 \cdot 10^{-3} = 0.05 \quad | \quad \Delta U_{max} = 10 \quad | \quad n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05} \cdot \frac{10}{2^{12}} = 16000 \cdot \frac{10}{4096} = 16000 \cdot 0.002441 = \mathbf{39.0625 [^{\circ}C]}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{39.0625}{2} = \mathbf{19.53 [^{\circ}C]}$$

*Za ulazni opseg od 0 do 20 [V]:*

$$UO_s = 800 \mid IO_s = 50 \cdot 10^{-3} \mid \Delta U_{max} = 20 \mid n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05} \cdot \frac{20}{2^{12}} = 16000 \cdot 0,0048828 = 78.125 [^{\circ}\text{C}]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{78.125}{2} = 39.0625 [^{\circ}\text{C}]$$

*Relativna greška:*

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $\Delta X_r$  - rezolucija mjerene veličine u relativnom iznosu

*Za ulazni opseg od 0 do 10 [V]:*

$$\Delta X = 39.0625 \mid UO_s = 800$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100 = \frac{39.0625}{800} \cdot 100 = 0.0488 \cdot 100 = 4.883 [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{4.883}{2} = 2.4414 [\%]$$

*Za ulazni opseg od 0 do 20 [V]:*

$$\Delta X = 78.125 \quad | \quad UO_s = 800$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} * 100 = \frac{78.125}{800} * 100 = 9.765625 [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{9.765625}{2} = 4.8828 [\%]$$

*b) Greška A/D konverzije ako se senzorski signal prije A/D konverzije pojača pojačanjem  $K_p = 2$*

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$
$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $IO_s$  – izlazni opseg senzora (promjena napona)
- $\Delta U_{max}$  – ulazno područje A/D konvertora (maksimalno)
- $K_p$  – pojačanje A/D konverzije
- $n$  – broj bitova

*Za ulazni opseg od 0 do 10 [V]:*

$$UO_s = 800 \quad | \quad IO_s = 50 \cdot 10^{-3} = 0.05 \quad | \quad \Delta U_{max} = 10 \quad | \quad K_p = 2 \quad | \quad n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 \cdot 2} \cdot \frac{10}{2^{12}} = 8000 \cdot \frac{10}{4096} = 8000 \cdot 0.002441 = 19.5313 [^{\circ}\text{C}]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{19.5313}{2} = 9.766 [^{\circ}\text{C}]$$

*Za ulazni opseg od 0 do 20 [V]:*

$$UO_s = 800 \mid IO_s = 50 * 10^{-3} \mid \Delta U_{max} = 20 \mid K_p = 2 \mid n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s * K_p} * \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 * 2} * \frac{20}{2^{12}} = 8000 * 0,0048828 = 39.0625 [^{\circ}\text{C}]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{39.0625}{2} = 19.53125 [^{\circ}\text{C}]$$

*Relativna greška:*

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $\Delta X_r$  – rezolucija mjerene veličine u relativnom iznosu

*Za ulazni opseg od 0 do 10 [V]:*

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100 = \frac{19.5313}{800} \cdot 100 = 0.024414 \cdot 100 = 2.44141 [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{2.44141}{2} = 1.221 [\%]$$

*Za ulazni opseg od 0 do 20 [V]:*

$$\Delta X = 39.0625 \mid UO_s = 800$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} * 100 = \frac{39.0625}{800} * 100 = 4.8828 [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{4.8828}{2} = 2.4414 [\%]$$

c) Greška A/D konverzije ako se senzorski signal prije A/D konverzije pojača pojačanjem  $K_p = 10$

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$
$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $IO_s$  – izlazni opseg senzora (promjena napona)
- $\Delta U_{max}$  – ulazno područje A/D konvertora (maksimalno)
- $K_p$  – pojačanje A/D konverzije
- $n$  – broj bitova

*Za ulazni opseg od 0 do 10 [V]:*

$$UO_s = 800 \mid IO_s = 50 \cdot 10^{-3} = 0.05 \mid \Delta U_{max} = 10 \mid K_p = 10 \mid n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 \cdot 10} \cdot \frac{10}{2^{12}} = 1600 \cdot \frac{10}{4096} = 1600 \cdot 0.002441 = 3.90625 [^{\circ}\text{C}]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{3.90625}{2} = 1.953125 [^{\circ}\text{C}]$$



*Za ulazni opseg od 0 do 20 [V]:*

$$UO_s = 800 \mid IO_s = 50 \cdot 10^{-3} \mid \Delta U_{max} = 20 \mid K_p = 10 \mid n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 \cdot 10} \cdot \frac{20}{2^{12}} = 1600 \cdot 0,0048828 = 7.81248 [^{\circ}\text{C}]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{7.81248}{2} = 3.90624 [^{\circ}\text{C}]$$

*Relativna greška:*

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $\Delta X_r$  – rezolucija mjerene veličine u relativnom iznosu

*Za ulazni opseg od 0 do 10 [V]:*

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100 = \frac{3.90625}{800} \cdot 100 = 0.004883 \cdot 100 = \mathbf{0.4883} [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{0.4883}{2} = \mathbf{0.24414} [\%]$$

*Za ulazni opseg od 0 do 20 [V]:*

$$\Delta X = 7.81248 \quad | \quad UO_s = 800$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} * 100 = \frac{7.81248}{800} * 100 = 0.97656 \text{ [\%]}$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{0.97656}{2} = 0.48828 \text{ [\%]}$$

d) Poređenje greški pod a), b) i c):

*Za ulazni opseg od 0 do 10 [V]:*

- *Pod a)*

Apsolutna greška:  $e_{max} = 19.53 \text{ [}^\circ\text{C]}$

Relativna greška:  $e_{r,max} = 2.4414 \text{ [\%]}$

- *Pod b)*

Apsolutna greška:  $e_{max} = 9.766 \text{ [}^\circ\text{C]}$

Relativna greška:  $e_{r,max} = 1.221 \text{ [\%]}$

- *Pod c)*

Apsolutna greška:  $e_{max} = 1.953125 \text{ [}^\circ\text{C]}$

Relativna greška:  $e_{r,max} = 0.24414 \text{ [\%]}$

**Zaključak:**

- pod a) je najlošija greška
- pod b) je malo poboljšanje i
- pod c) je najbolji rezultat.

***Za ulazni opseg od 0 do 20[V]:***

- ***Pod a)***

Apsolutna greška:  $e_{max} = 39.0625$  [°C]

Relativna greška:  $e_{r,max} = 4.8828$  [%]

- ***Pod b)***

Apsolutna greška:  $e_{max} = 19.53125$  [°C]

Relativna greška:  $e_{r,max} = 2.4414$  [%]

- ***Pod c)***

Apsolutna greška:  $e_{max} = 3.90624$  [°C]

Relativna greška:  $e_{r,max} = 0.48828$  [%]

**Zaključak:**

- pod a) je najlošija greška
- pod b) je malo poboljšanje i
- pod c) je najbolji rezultat.

### ***Dodatak – Ulazni opseg od 0 do 12 [V]***

- Ako se signal vodi direktno na ulaz A/D konvertora

#### ***Apsolutna greška:***

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$
$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $IO_s$  – izlazni opseg senzora
- $\Delta U_{max}$  – ulazno područje A/D konvertora (maksimalno)
- $n$  – broj bitova

$$UO_s = 800 \mid IO_s = 50 \cdot 10^{-3} \mid \Delta U_{max} = 12 \mid n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05} \cdot \frac{12}{2^{12}} = 16000 \cdot 0.002929687 = 46.875 [^{\circ}\text{C}]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{46.875}{2} = 23.4375 [^{\circ}\text{C}]$$

#### ***Relativna greška:***

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$
$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $\Delta X_r$  – rezolucija mjerene veličine u relativnom iznosu

$$\Delta X = 46.875 \mid UO_s = 800$$

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} * 100 = \frac{46.875}{800} * 100 = 5.859375 [\%]$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{5.859375}{2} = 2.9296875 [\%]$$

- Ako se signal prije A/D konverzije pojača sa  $K_p = 20$

**Apsolutna greška:**

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s \cdot K_p} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n}$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $IO_s$  – izlazni opseg senzora (promjena napona)
- $\Delta U_{max}$  – ulazno područje A/D konvertora (maksimalno)
- $K_p$  – pojačanje A/D konverzije
- $n$  – broj bitova

$$UO_s = 800 \mid IO_s = 50 * 10^{-3} \mid \Delta U_{max} = 12 \mid K_p = 20 \mid n = 12$$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s * K_p} * \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05 * 20} * \frac{12}{2^{12}} = 800 * 0.002929687 = 2.34375 [^{\circ}\text{C}]$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{2.34375}{2} = 1.171875 [^{\circ}\text{C}]$$

**Relativna greška:**

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} \cdot 100$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $\Delta X_r$  - rezolucija mjerene veličine u relativnom iznosu

$$\Delta X = 2.34375 \mid UO_s = 800$$

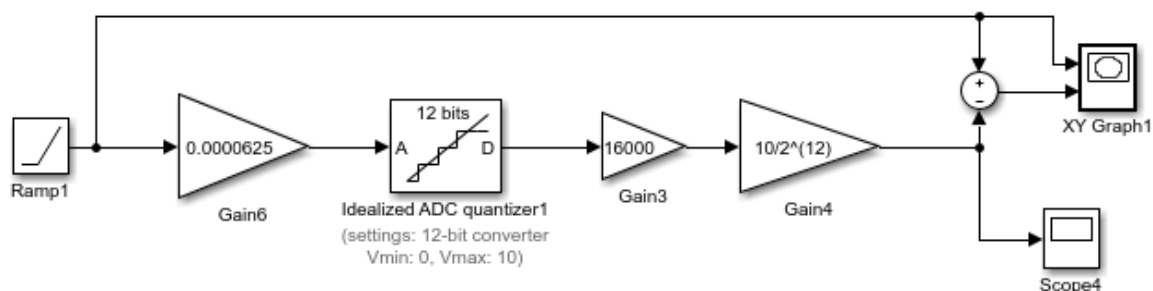
$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} * 100 = \frac{2.34375}{800} * 100 = 0.29296875 \text{ [\%]}$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{0.29296875}{2} = 0.146484375 \text{ [\%]}$$

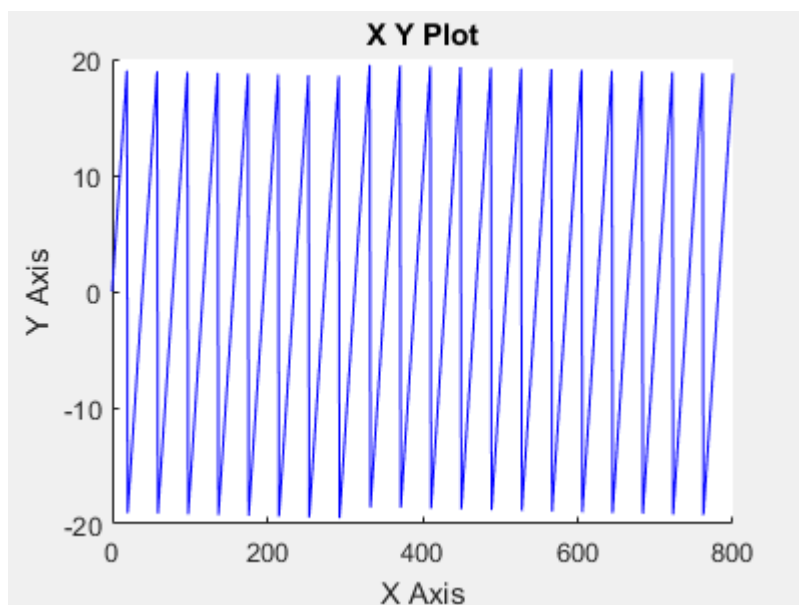
## Rad u laboratoriji (MATLAB Simulink) - ZADAĆA

1. Rezultate u tačkama a), b) i c) provjeriti u programskom okruženju Matlab/Simulink za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 10 [V].

a) Senzorski signal se vodi direktno na ulaz A/D konvertora



Slika 1. Simulink model kada se senzorski signal dovodi direktno na ulaz A/D konvertora



Slika 2. Izgled promjene greške kada se senzorski signal dovodi direktno na ulaz A/D konvertora

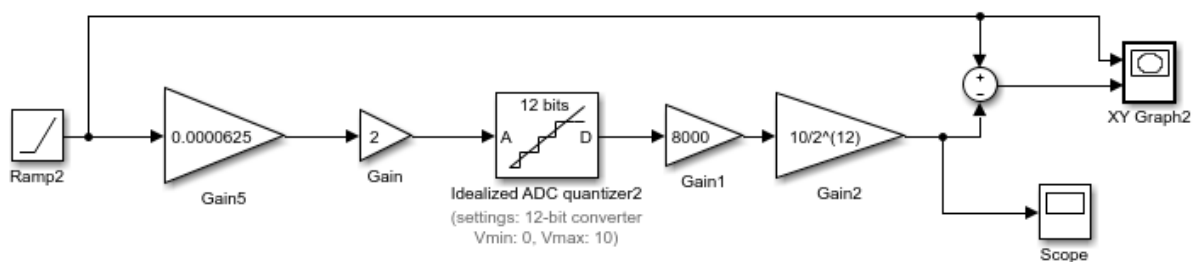
Tabela 1. Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
Idealized ADC qunatizer	Number of convert bits	12
	Min input voltage at low	0

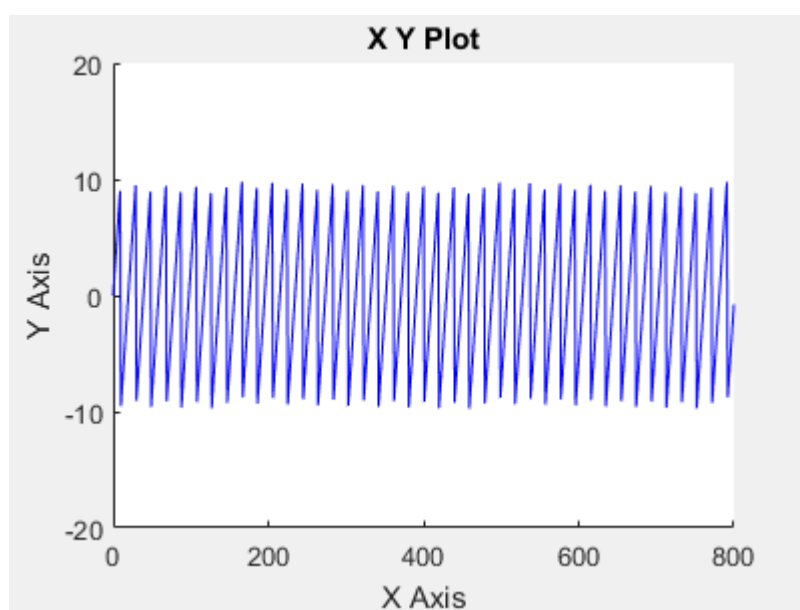
	output Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	10
Gain	Gain	16000
Gain	Gain	$10/(2^{12})$
Sum	List of signs	+ -
XY Graph	x-min x-max y-min y-max Sample time	0 800 -20 20 1
Scope	/	/

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

b) Senzorski signal pojačan sa pojačanjem  $K_p = 2$



Slika 3. Simulink model kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 2$



Slika 4. Izgled promjene greške kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 2$

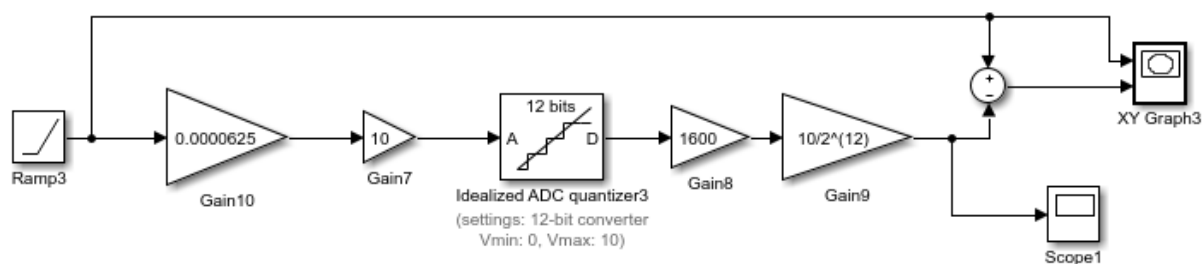


**Tabela 2. Podešavanje parametara**

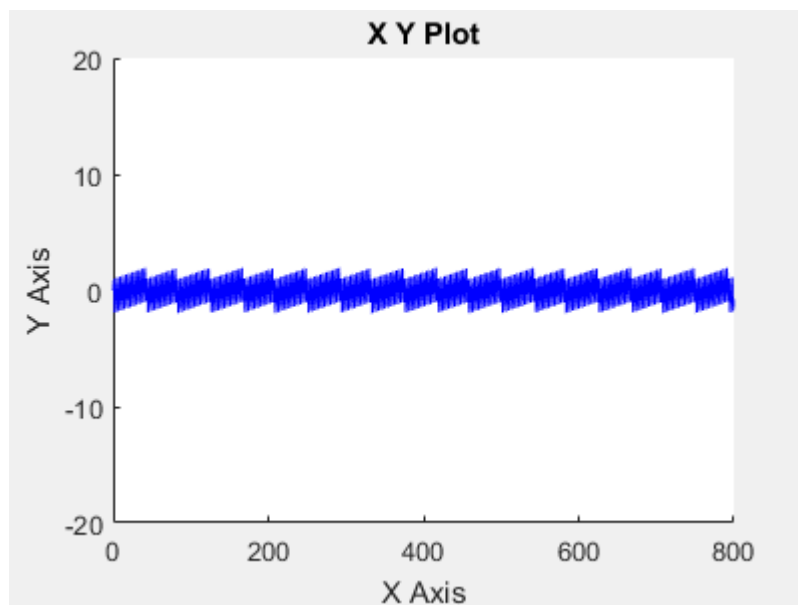
<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
Gain	Gain	2
Idealized ADC qunatizer	Number of convert bits	12
	Min input voltage at low output	0
	Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	10
Gain	Gain	8000
Gain	Gain	$10/(2^{12})$
Sum	List of signs	+-
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-20
	y-max	20
	Sample time	1
Scope	/	/

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

**c) Senzorski signal pojačan sa pojačanjem  $K_p = 10$**



**Slika 5. Simulink model kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 10$**



*Slika 6. Izgled promjene greške kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 10$*

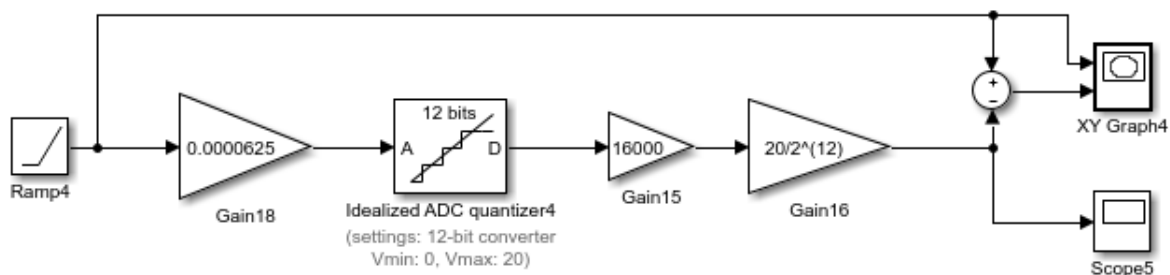
*Tabela 3. Podešavanje parametara*

<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
Gain	Gain	10
Idealized ADC qunatizer	Number of convert bits	12
	Min input voltage at low output	0
	Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	10
Gain	Gain	1600
Gain	Gain	$10/(2^{12})$
Sum	List of signs	+-
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-20
	y-max	20
	Sample time	1
Scope	/	/

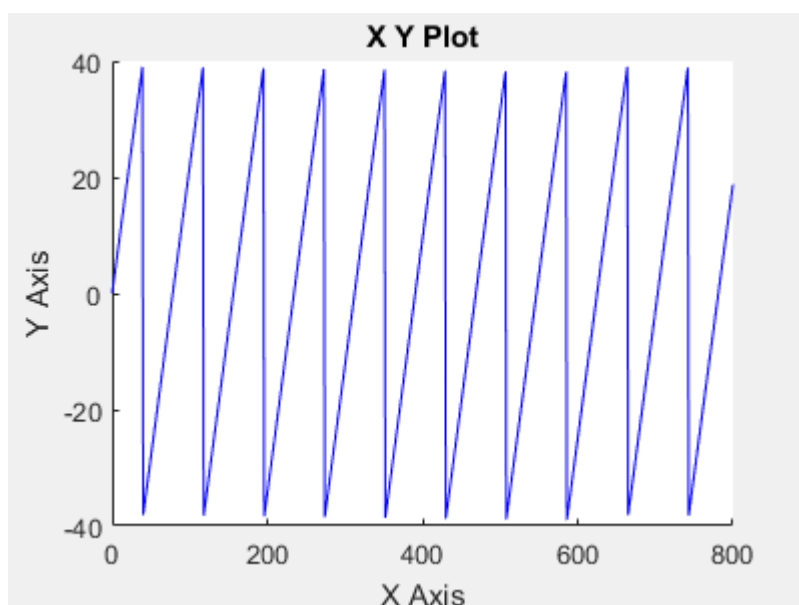
*Vrijeme simulacije se postavlja na 800.*

2. Rezultate u tačkama a), b) i c) provjeriti u programskom okruženju Matlab/Simulink za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 20 [V].

a) Senzorski signal se vodi direktno na ulaz A/D konvertora



Slika 7. Simulink model kada se senzorski signal dovodi direktno na ulaz A/D konvertora



Slika 8. Izgled promjene greške kada se senzorski signal dovodi direktno na ulaz A/D konvertora

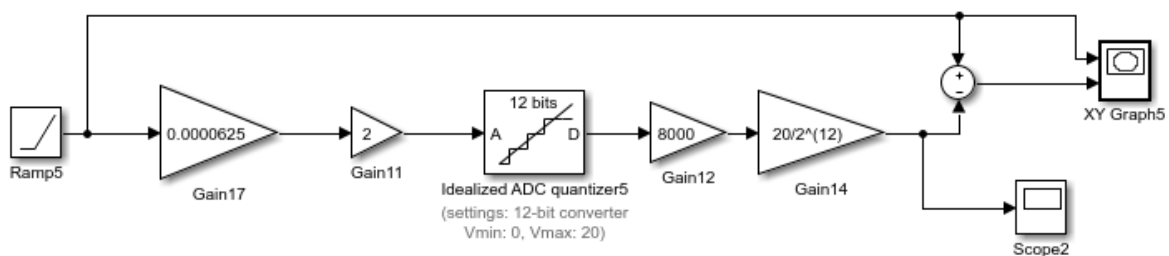
Tabela 4. Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
Idealized ADC qunatizer	Number of convert bits	12
	Min input voltage at low output	0
	Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	20

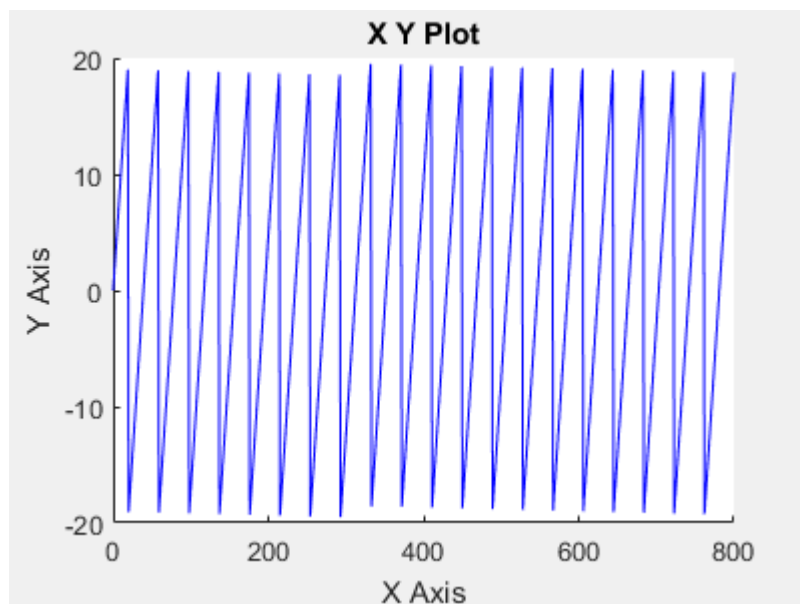
Gain	Gain	16000
Gain	Gain	$20/(2^{12})$
Sum	List of signs	+ -
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-40
	y-max	40
	Sample time	1
Scope	/	/

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

**b) Senzorski signal pojačan sa pojačanjem  $K_p = 2$**



**Slika 9.** Simulink model kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 2$



**Slika 10.** Izgled promjene greške kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 2$

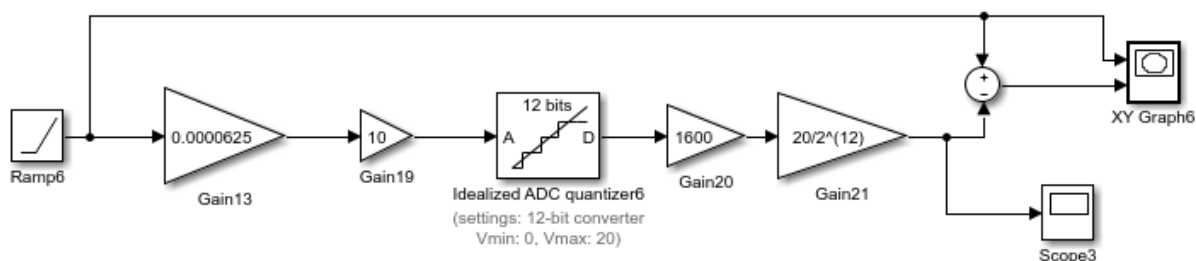
**Tabela 5.** Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
-------------	-----------------	------------

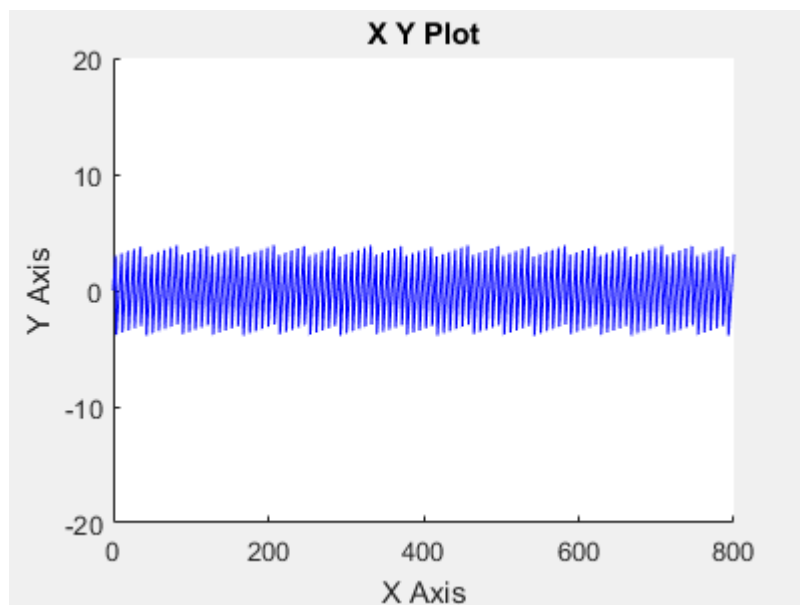
Ramp	Slope Start time Initial output	1 0 0
Gain	Gain	0.0000625
Gain	Gain	2
Idealized ADC qunatizer	Number of convert bits Min input voltage at low output Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	12 0 20
Gain	Gain	8000
Gain	Gain	$20/(2^{12})$
Sum	List of signs	+ -
XY Graph	x-min x-max y-min y-max Sample time	0 800 -20 20 1
Scope	/	/

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

**c) Senzorski signal pojačan sa pojačanjem  $K_p = 10$**



**Slika 11.** Simulink model kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 10$



*Slika 12. Izgled promjene greške kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 10$*

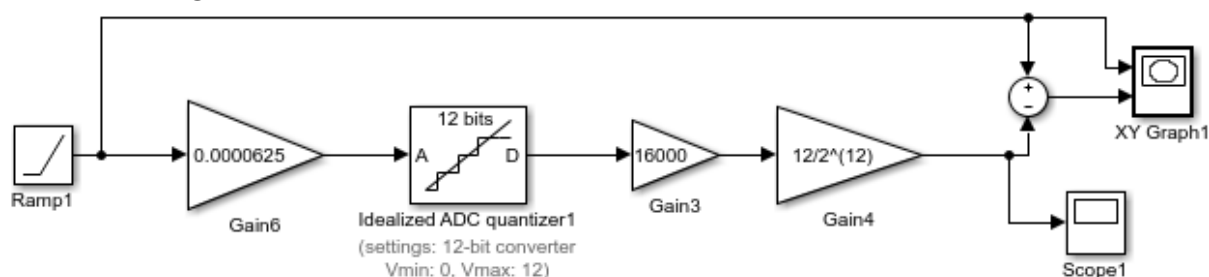
*Tabela 6. Podešavanje parametara*

<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
Gain	Gain	10
Idealized ADC qunatizer	Number of convert bits	12
	Min input voltage at low output	0
	Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	20
Gain	Gain	1600
Gain	Gain	$20/(2^{12})$
Sum	List of signs	+-
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-20
	y-max	20
	Sample time	1
Scope	/	/

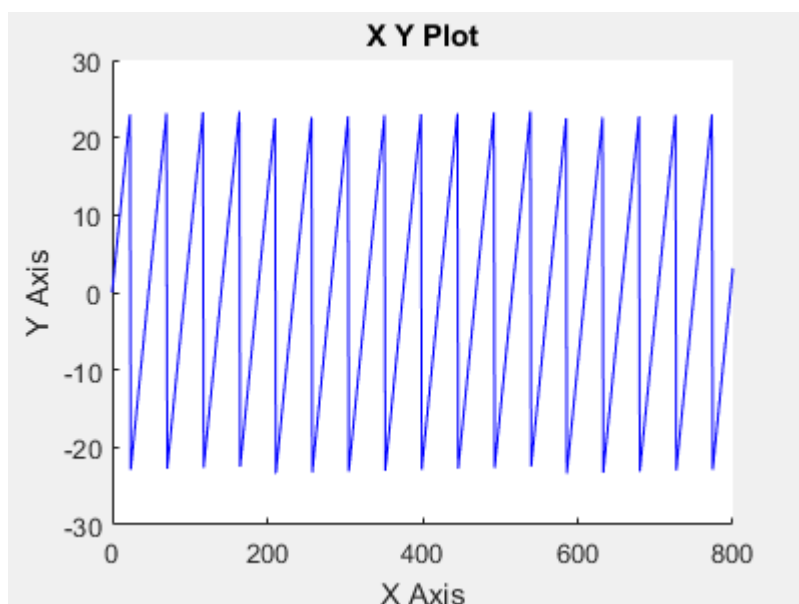
*Vrijeme simulacije se postavlja na 800.*

3. Provjeriti u programskom okruženju Matlab/Simulink za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 12 [V] i pojačanje  $K_p = 20$ .

a) Senzorski signal se vodi direktno na ulaz A/D konvertora



Slika 13. Simulink model kada se senzorski signal dovodi direktno na ulaz A/D konvertora



Slika 14. Izgled promjene greške kada se senzorski signal dovodi direktno na ulaz A/D konvertora

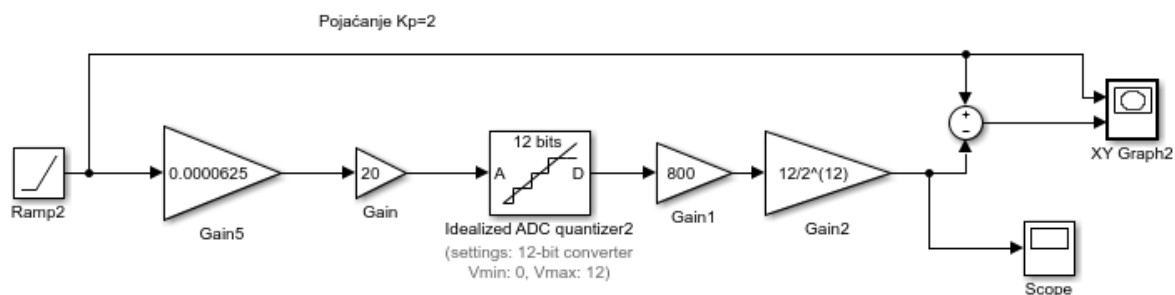
Tabela 7. Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
Idealized ADC qunatizer	Number of convert bits	12
	Min input voltage at low output	0
	Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	12

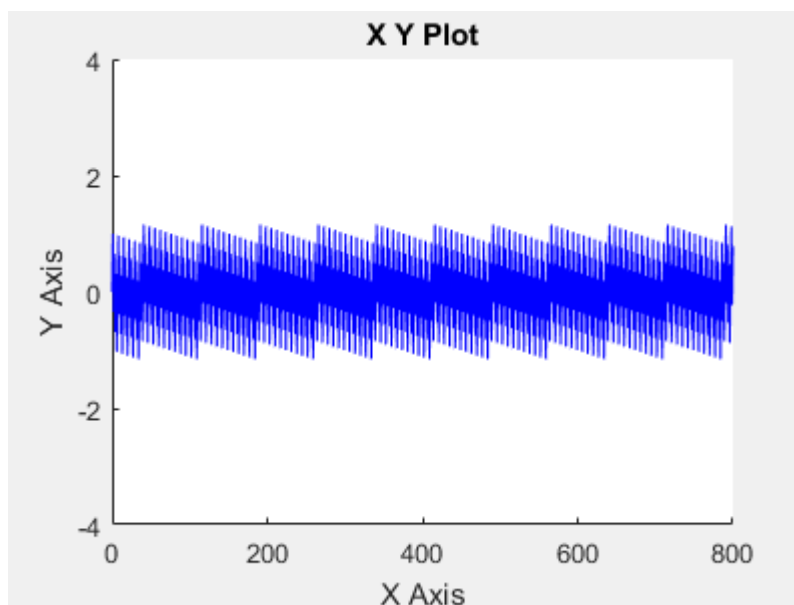
Gain	Gain	16000
Gain	Gain	$12/(2^{12})$
Sum	List of signs	+ -
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-30
	y-max	30
	Sample time	1
Scope	/	/

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

**b) Senzorski signal pojačan sa pojačanjem  $K_p = 20$**



**Slika 15.** Simulink model kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 20$



**Slika 16.** Izgled promjene greške kada se senzorski signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 20$



**Tabela 8. Podešavanje parametara**

<b>Naziv bloka</b>	<b>Naziv parametra</b>	<b>Vrijednost</b>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
Gain	Gain	20
Idealized ADC qunatizer	Number of convert bits	12
	Min input voltage at low output	0
	Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	12
Gain	Gain	800
Gain	Gain	$12/(2^{12})$
Sum	List of signs	+ -
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-4
	y-max	4
	Sample time	1
Scope	/	/

*Vrijeme simulacije se postavlja na 800.*

#### *4. Dati analizu i objašnjenje dobijenih rezultata*

U analitičkom dijelu zadatke, prvo je bilo potrebno izračunati relativnu grešku u slučaju da se signal dovodi direktno na ulaz A/D konvertora, za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 20 [V]. Kako bi se dobila relativna greška, po uzoru na grešku za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 10 [V] prvo je izračunata apsolutna rezolucija, nakon toga apsolutna greška, pa relativna rezolucija i na kraju sama relativna greška. U sljedećem dijelu je izračunata relativna greška ali u slučaju kada se ulazni signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 2$ . Vrijednost tog pojačanja se uvrštava u nazivnik izraza za apsolutnu rezoluciju, rezultat toga je da se smanjila dužina rezolucije pa se automatski smanjila i greška pri A/D konverziji. U narednom koraku je na ekvivalentan način izračunata relativna greška A/D konverzije ali za slučaj kada se signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 10$ . U posljednjem analitičkom koraku bilo je potrebno pronaći grešku kada se ulazni signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 20$ , ali kada je ulazno područje A/D konvertora od 0 do 12 [V]. Zbog toga što se gornja granica ulaznog područja povećala to rezultuje većim iznosom rezolucije, ali je to kompenzovano najvećim dosadašnjim pojačanjem  $K_p = 20$ , pa je rezultat najmanja apsolutna rezolucija od svih dosadašnjih slučajeva, a samim time i greška A/D konverzije. U drugom dijelu zadatke analitički dobivene greške su predstavljene kreirajući Matlab Simulink modele. Za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 10 [V] i od 0 do 20 [V] kreirani su modeli u slučaju kada nema pojačanja, pri pojačanju  $K_p = 2$  i pojačanju  $K_p = 10$ . Za oba slučaja najmanja vrijednost greške dobivena je za pojačanje  $K_p = 10$ , što se poklapa sa analitičkim postupkom. Za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 12 [V] kreiran je model za slučaj kada se signal sa ulaza direktno dovodi na ulaz A/D konvertora i za slučaj kada je signal pojačan sa pojačanjem  $K_p = 20$ . Rezultati su pokazali da je u slučaju pojačanja greška znatno manja, što se poklapa sa rezultatima dobivenim analitičkim postupkom.

### 3. ZAKLJUČAK

U ovoj zadaći su testirani efekti pojačanja signala prije njegove diskretizacije na samu grešku diskretizacije odnosno konvertovanja analognog signala u digitalni signal. Ulazni dio analognih veličina u digitalni sistem uvijek je analogno-digitalni konvertor (A/D). On vrši pretvaranje analognog signala sa ulaza u digitalni signal pogodan za obradu u digitalnim strukturama. Pretvaranje se vrši u određenim vremenskim trenucima ( $kT$ ,  $k=1,2,\dots$ ) kada se uzima trenutna vrijednost sa ulaza kolima za zadržku (S/H), izvrši njeno pretvaranje u odgovarajući binarni broj, te stavi na raspolaganje digitalnom sistemu. Vremenski razmaci između dvije uzastopne konverzije mogu biti jednaki ( $T$ ), ali ne moraju. Ukoliko je vrijeme između dvije uzastopne konverzije  $T$  konstantno, onda se govori o frekvenciji uzorkovanja (sempliranja)  $f_s = 1/T_s$ , ( $T_s=T$ ). Pored frekvencije sempliranja koja se za dati konvertor definiše kao maksimalna koju on može da podržaje, bitan parametar A/D konvertora je dužina riječi na izlazu iz A/D konvertora. Ova dužina definira tačnost konverzije, te utiče na tačnost obrade koja će uslijediti. Dužina se definira brojem bita konvertovanog podatka i u primjeni su 8-bitne, 10-bitne, 12-bitne, 16-bitne, itd., A/D konverzije. Treći parametar koji određuje A/D konvertor je vrijeme trajanja jedne A/D konverzije ( $T_{ad}$ ). Ovo vrijeme je u vezi sa maksimalnom frekvencijom sempliranja i poželjno je da je što kraće.

U analitičkom dijelu zadaće, prvo je bilo potrebno izračunati relativnu grešku u slučaju da se signal dovodi direktno na ulaz A/D konvertora, za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 10 [V] te za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 10 [V]. Kako bi se dobila relativna greška, po uzoru na prvo je izračunata apsolutna rezolucija, nakon toga apsolutna greška, pa relativna rezolucija i na kraju sama relativna greška. U sljedećem dijelu je izračunata relativna greška ali u slučaju kada se ulazni signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 2$ , te u slučaju kada se ulazni signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 10$ . Iz dobivenih rezultata se može zaključiti da pojačanje ulaznog signala zapravo smanjuje grešku diskretizacije, te što je pojačanje veće greška će biti manja. U posljednjem analitičkom koraku bilo je potrebno pronaći grešku kada se ulazni signal pojača sa pojačanjem  $K_p = 20$ , ali kada je ulazno područje A/D konvertora od 0 do 12 [V]. Zbog toga što se gornja granica ulaznog područja povećala to rezultuje većim iznosom rezolucije, ali je to kompenzovano najvećim dosadašnjim pojačanjem  $K_p = 20$ , pa je rezultat najmanja aposlutan rezolucija od svih dosadašnjih slučajeva, a samim time i greška A/D konverzije. U drugom dijelu zadaće analitički dobivene greške su predstavljene kreirajući Matlab Simulink modele. Za za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 10 [V] i od 0 do 20[V] kreirani su modeli u slučaju kada nema pojačanja, pri pojačanju  $K_p = 2$  i pojačanju  $K_p = 2$ . Za oba slučaja najmanja vrijednost greške dobivena je za pojačanje  $K_p = 10$ , što se poklapa sa analitičkim postupkom. Za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 12 [V] kreiran je model za slučaj kada se signal sa ulaza direktno dovodi na ulaz A/D konvertora i za slučaj kada je signal pojačan sa pojačanjem  $K_p = 20$ . I u ovom slučaju model sa pojačanjem također pokazuje manju grešku i nego model bez pojačanja.