

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

**ZADAĆA IZ PREDMETA**  
**RAČUNARSKO VOĐENJE PROCESA**

**ZADAĆA br. 5**

**Efekat izbora ulaznog područja AD konvertora na grešku  
diskretizacije senzorskog signala**

**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 1 [V], a zatim od 0 do 10 [V], **i od 0 do 15 [V]**.

- a) *Napisati i objasniti izraz za apsolutnu i relativnu grešku ako se posmatra idealni senzor i A/D konvertor za ulazno područje od 0 do 1 [V] i od 0 do 10 [V], **i od 0 do 15 [V]**.*
- b) *Napisati i objasniti izraz za kvantitativno iskazivanje rezolucije mjerene veličine u apsolutnom iznosu i relativno u postotcima u odnosu na ulazno područje od 0 do 1 [V] i od 0 do 10 [V] , **i od 0 do 15 [V]**.*
- c) *Kvantitativno iskazati grešku zbog A/D konverzije za podatke date u tekstu zadatka.*

## 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 1 [V].*
2. *Rezultate u tačkama a), b) i c) provjeriti u programskom okruženju Matlab/Simulink za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 10 [V].*
3. *Rezultate u tačkama a), b) i c) provjeriti u programskom okruženju Matlab/Simulink za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 15 [V].*
4. *Dati analizu i objašnjenje dobivenih rezultata.*

## 2. RJEŠENJE

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) *Apsolutna i relativna greška za idealni senzor i A/D konvertor*

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:***

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{UO_s}{2^{n+1}}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu
- $UO_s$  – ulazni opseg senzora
- $n$  – broj bitova

$$UO_s = 800$$

$$n = 12$$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{UO_s}{2^{n+1}} = \frac{800}{2^{12+1}} = \frac{800}{2^{13}} = \frac{800}{8192} = 0.09765625 \approx \mathbf{0.1} \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

***Relativna greška:***

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{100}{2^{n+1}}$$

Pri čemu je:

- $\Delta X_r$  - rezolucija mjerene veličine u relativnom iznosu
- $n$  – broj bitova

$$\Delta X_r = 100$$

$$n = 12$$

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{100}{2^{n+1}} = \frac{100}{2^{12+1}} = \frac{100}{2^{13}} = \frac{100}{8192} = \mathbf{0.01221} \text{ [%]}$$

b) Kvantitativno iskazivanje rezolucije u apsolutnom iznosu i relativno u postotcima za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 1 [V] i od 0 do 10 [V], i od 0 do 15 [V]

**Apsolutna rezolucija:**

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

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)
- $n$  – broj bitova

**Relativna rezolucija:**

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

Pri čemu je:

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

**1. Ulazno područje od 0 do 1 [V]**

**Apsolutna rezolucija:**

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

Poznate vrijednosti:  $UO_s = 800$  [°C],  $IO_s = 50$  [mV],  $\Delta U_{max} = 1$  [V],  $n = 12$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05} \cdot \frac{1}{2^{12}} = 16\,000 \cdot \frac{1}{4096} = 16\,000 \cdot 0.000244 = \mathbf{3.90625} \text{ [°C]}$$

**Relativna rezolucija:**

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

Poznate vrijednosti:  $\Delta X = 3.90625$  [ °C],  $UO_s = 800$  [°C]

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} * 100 = \frac{3.90625}{800} \cdot 100 = \frac{390.625}{800} = \mathbf{0.4883} \text{ [\%]}$$

**2. Ulazno područje od 0 do 10 [V]**

**Apsolutna rezolucija:**

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

Poznate vrijednosti:  $UO_s = 800$  [°C],  $IO_s = 50$  [mV],  $\Delta U_{max} = 10$  [V],  $n = 12$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05} \cdot \frac{100}{2^{12}} = 16\,000 \cdot \frac{10}{4096} = 16\,000 \cdot 0.00244 = \mathbf{39.0625} \text{ [°C]}$$

**Relativna rezolucija:**

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

Poznate vrijednosti:  $\Delta X = 39.0625$  [ °C],  $UO_s = 800$  [°C]

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} * 100 = \frac{39.0625}{800} \cdot 100 = \frac{3906.25}{800} = \mathbf{4.883} \text{ [\%]}$$

### 3. Ulazno područje od 0 do 15 [V]

*Apsolutna rezolucija:*

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

Poznate vrijednosti:  $UO_s = 800$  [°C],  $IO_s = 50$  [mV],  $\Delta U_{max} = 15$  [V],  $n = 12$

$$\Delta X = \frac{UO_s}{IO_s} * \frac{\Delta U_{max}}{2^n} = \frac{800}{0.05} * \frac{15}{2^{12}} = 16000 * \frac{15}{4096} = 16000 * 0.00366 = 58.59375 [^{\circ}\text{C}]$$

*Relativna rezolucija:*

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

Poznate vrijednosti:  $\Delta X = 58.59375$  ,  $UO_s = 800$  [°C]

$$\Delta X_r = \frac{\Delta X}{UO_s} * 100 = \frac{58.59375}{800} * 100 = 7.324 [\%]$$

c) Kvantitativno iskazivanje greške u apsolutnom iznosu i relativno u postotcima za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 1 [V] i od 0 do 10 [V], i od 0 do 15 [V].

**Apsolutna greška:**

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

Pri čemu je:

- $e_{max}$  – apsolutna greška
- $\Delta X$  – rezolucija mjerene veličine u apsolutnom iznosu

**Relativna greška:**

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

Pri čemu je:

- $e_{r,max}$  – relativna greška
- $\Delta X_r$  – rezolucija mjerene veličine u relativnom iznosu

**1. Ulazno područje od 0 do 1 [V]:**

**Apsolutna greška:**

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

Poznate vrijednosti:  $\Delta X = 3.90625$  [ °C]

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{3.90625}{2} = 1.95313 \text{ [°C]}$$

**Relativna greška:**

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

Poznate vrijednosti:  $\Delta X_r = 0.4883$  [%]



$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{0.4883}{2} = \mathbf{0.2442 \text{ [\%]}}$$

2. Ulazno područje od 0 do 10 [V]

*Aposlutna greška:*

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

Poznate vrijednosti:  $\Delta X = 39.0625 \text{ [}^\circ\text{C]}$

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{39.0625}{2} = \mathbf{19.5313 \text{ [}^\circ\text{C]}}$$

*Relativna greška:*

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

Poznate vrijednosti:  $\Delta X_r = 4.883 \text{ [\%]}$

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

### 3. *Ulazno područje od 0 do 15 [V]*

*Apsolutna greška:*

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

Poznate vrijednosti:  $\Delta X = 58.59375$  [°C]

$$e_{max} = \frac{\Delta X}{2} = \frac{58.59375}{2} = 29.296875 \text{ [°C]}$$

*Relativna greška:*

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

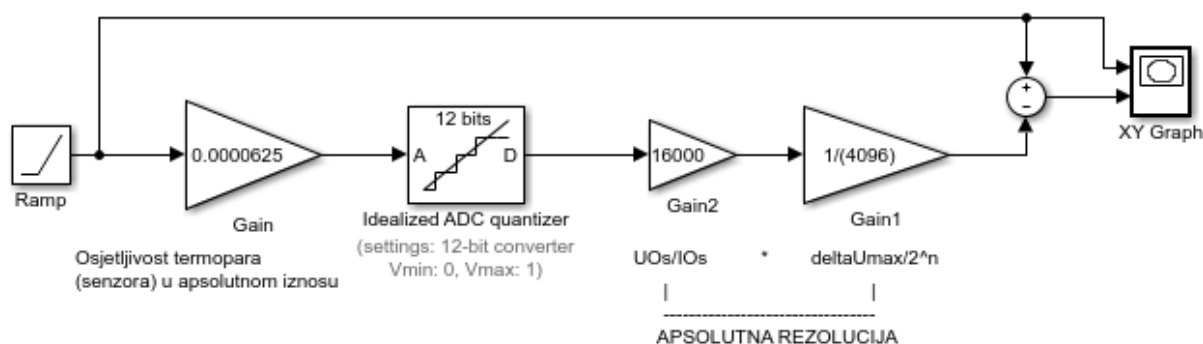
Poznate vrijednosti:  $\Delta X_r = 7.324$  [%]

$$e_{r,max} = \frac{\Delta X_r}{2} = \frac{7.324}{2} = 3.662 \text{ [%]}$$

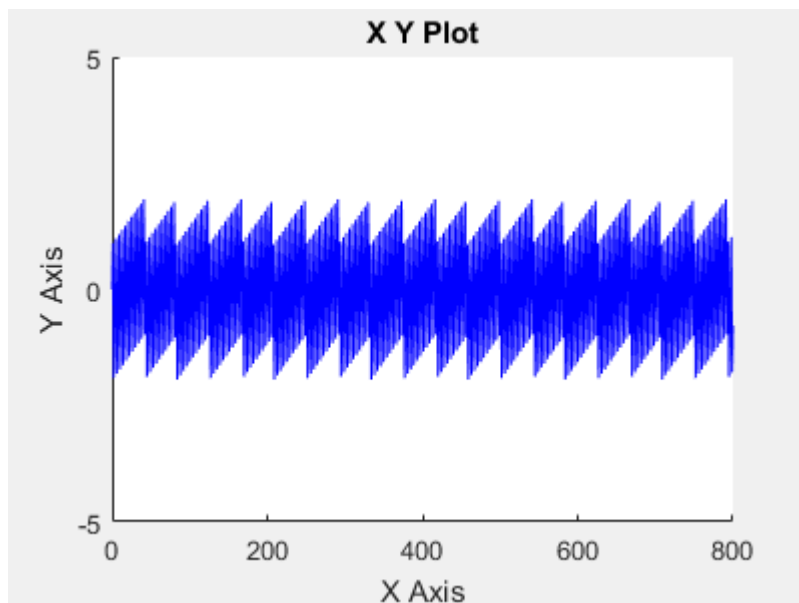
## Rad u laboratoriji (MATLAB Simulink) - ZADAĆA

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

### a) Realna statička karakteristika



Slika 1. Simulink model za iscrtavanje promjene greške pri A/D konverziji za ulazno područje od 0 do 1 [V]



Slika 2. Izgled promjene greške pri A/D konverziji za ulazno područje od 0 do 1 [V]

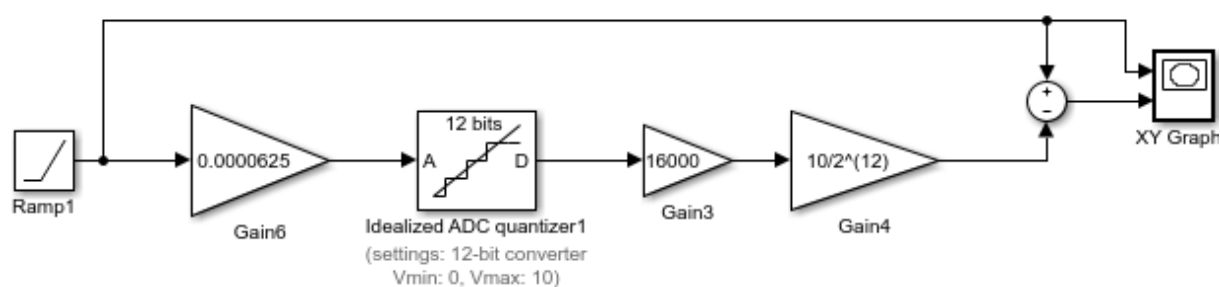
Tabela 1. Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0

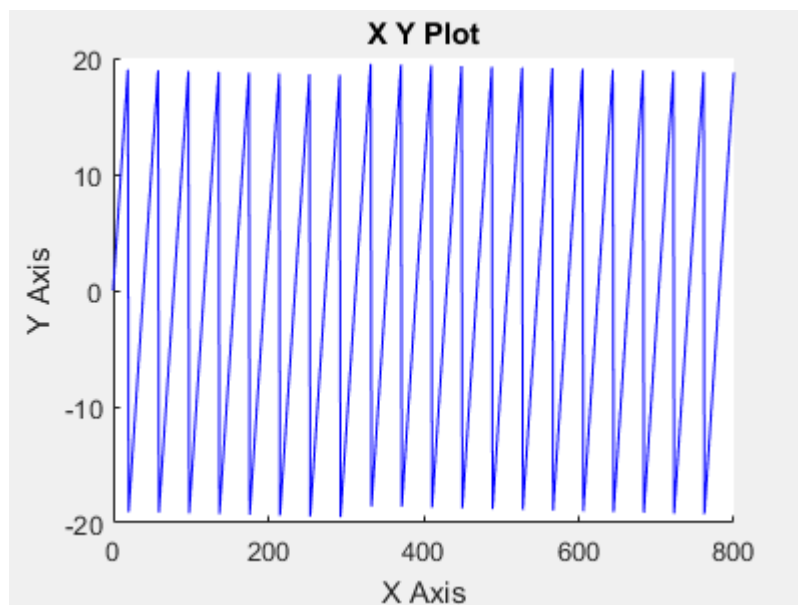
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
Idealized ADC quantizer	Number of convert bits	12
	Min input voltage at low output	0
	Max input voltage at $2^n$ output (unreachable)	1
Gain	Gain	16000
Gain	Gain	$1/(4096)$
Sum	List of signs	+ -
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-5
	y-max	5
	Sample time	1

*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 10 [V].*



***Slika 3.** Simulink model za iscrtavanje promjene greške pri A/D konverziji za ulazno područje od 0 do 10 [V]*



**Slika 4.** Izgled promjene greške pri A/D konverziji za ulazno područje od 0 do 10 [V]

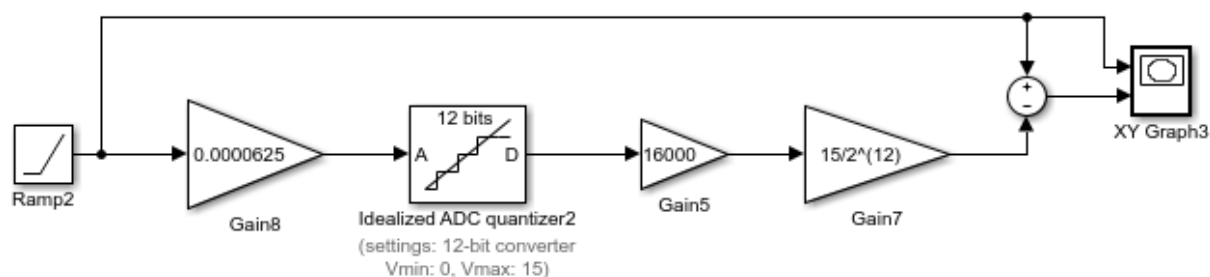
**Tabela 2.** Podešavanje parametara

<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0000625
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	16000
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

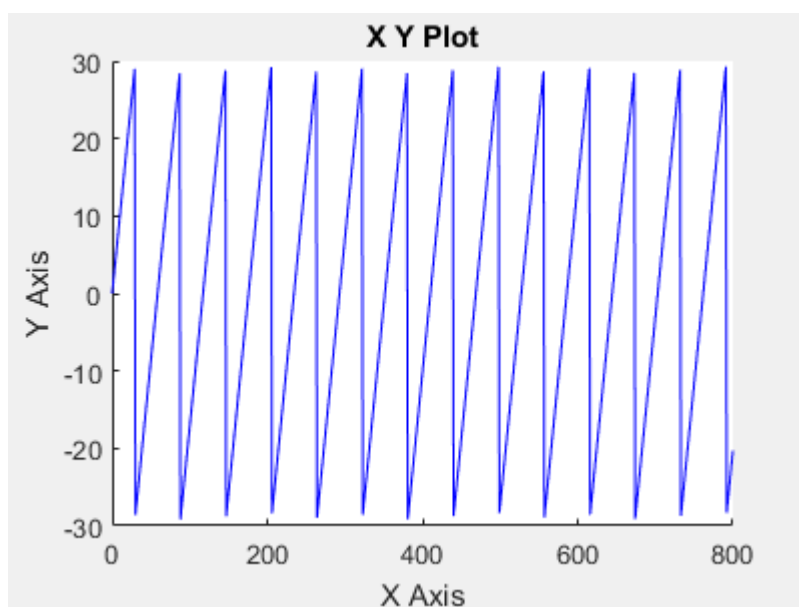
Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

Na ovom slučaju će biti prikazana i vrijednost rezolucije, izabran je opseg od 0 do 10

3. Rezultate u tačkama a), b) i c) provjeriti u programskom okruženju Matlab/Simulink za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 15 [V].



**Slika 5.** Simulink model za iscrtavanje promjene greške pri A/D konverziji za ulazno područje od 0 do 15 [V]



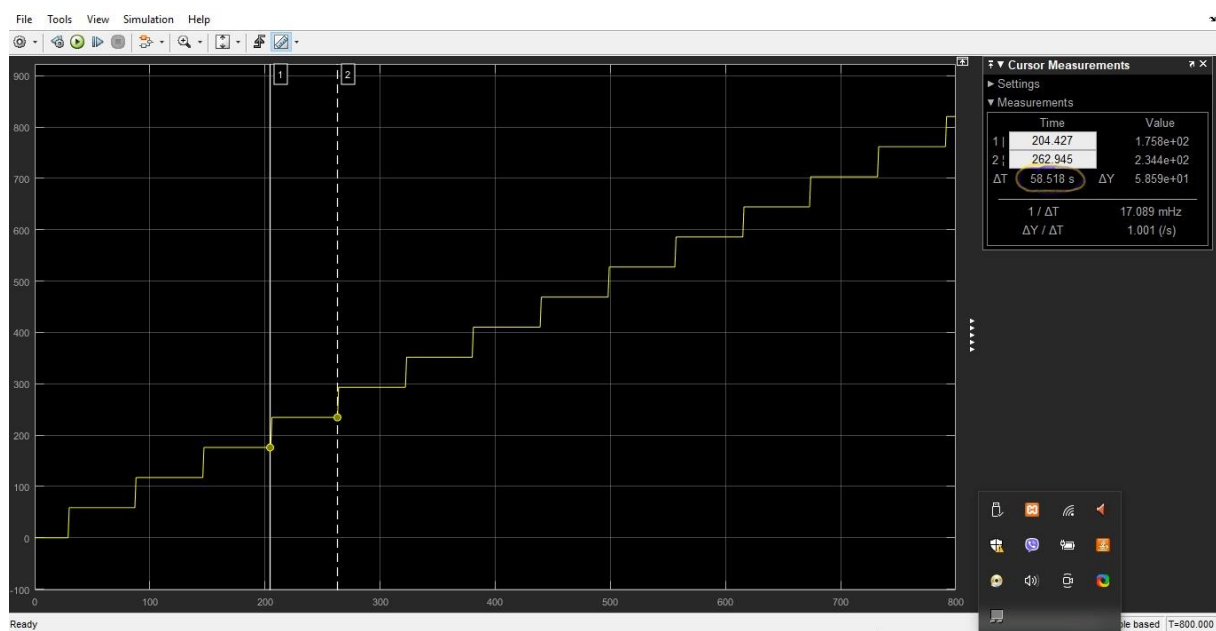
**Slika 6.** Izgled promjene greške pri A/D konverziji za ulazno područje od 0 do 15 [V]

**Tabela 3.** 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)	15

Gain	Gain	16000
Gain	Gain	$15/2^{(12)}$
Sum	List of signs	+ -
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-30
	y-max	30
	Sample time	1

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.



**Slika 7.** Vrijednost rezolucije odabiranja pri A/D konverziji za ulazno područje od 0 do 15 [V]

Sa *Slike 7* se vidi da vrijednosti rezolucije pri AD konverziji signala za ulazno područje 0 do 15 [V] iznosi **58.518**, izračunata vrijednost apsolutne rezolucije, tj. vrijednost dobivena analitičkim putem iznosi **58.59375**, kada se uzme u obzir greška pri ručnom postavljanju tačke 1 i tačke 2 na grafu (*Slika 7*), dolazi se do zaključka da rezolucija dobivena analitičkim putem odgovara stvarnoj rezoluciji odabiranja. Tačnost rezolucije dokazuje i tačnost izračunate greške, koja se računa preko vrijednosti rezolucije. Analogno se vrijednosti rezolucije mogu provjeriti i za slučaj 0-1 [V] i 0-10 [V].

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

U analitičkom dijelu zadaće, prvo je bilo potrebno izračunati rezoluciju, u njenom apolutnom iznosu i relativnom iznosu (postotku), za ulazno područje A/D konvertora od 0 do 15. Rezolucija je izračunata, po uzoru na računanje rezolucije za opsege ulaznog područja od 0 do 1 [V] i od 0 do 10 [V], koristeći formulu za aposolutn rezoluciju koja predstavlja odnos ulaznog opsega senozra, maksimalnog ulaznog područja A/D konvertora sa izlaznim opsegom senzora i eskponenta broja bitova riječi pri A/D konverziji. Svi podaci su poznati, a promjena se samo dešava kod maksimalne vrijednosti napona, koja iznosi 15 u ovom slučaju, jer je riječ o opeseu od 0 do 15 [V]. Dobivena aposlutna rezolucija za ovaj slučaj je veća od aposlutne rezolucije kod prethodna dva slučaja, zbog veće gorenje granice ulaznog opsega napon. Zatim je izračunata apsolutna rezolucija koja je zapravo realativan rezolucija predstavljena u postotcima. Nakon razolucije izračunate se apsolutna i realtivna greška za opseg od 0 do 15 [V] koje zapravo predstavljaju polovinu vrijednosti svake od rezolucija. Sljedeći dio zadaće je predstavljanje Simlunik modela za prikaz grešaka pri A/D konverziji. Blok koji simulira ulaznu temperaturu je Ramp sa nagibom 1, temperatura je pomnožena sa apsolutnom osjetljivosti senzora koja predstavlja minulanu promjenu u temperaturi koji senzor registruje, taj umnožak se dovodi na ulaz A/D konvertora koji vrši diskretizaciju signala, izlaz iz A/D konvertora se množi sa vrijednosti apsolutne rezolucije, kako bi se dobile dužine intervala temperature na kojima nema promjene u naponu, tj koraci. zatim se taj diskertizovni signal oduzima od originalnog analognog ulaza, kako bi se dobila greška. Proces se ponavlja za sva tri opsega ulaznog napona. Na kraju je prikazan način provjera rezolucije, odnosno dužine sgementa ulaznog signala koji se disretizuje, na primjeru za ulazno područje od 0 do 15 [V].



### 3. ZAKLJUČAK

U ovoj zadaći su testirani efekti izbora ulaznog područja A/D konvertora na grešku diskretizacije senzorskog signala. 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 prvom dijelu zadatka je izračunata apsolutna osjetljivost senzora za date opsege ulaza i izlaza, te apsolutna greška data u stepenima Celzijusa. Nakon toga je izračunata apsolutan i relativna rezolucija uzorkovanja za sva tri ulazna opsega napona A/D konvertora, koristeći formulu za apsolutnu rezoluciju koja predstavlja odnos ulaznog opsega senzora, maksimalnog ulaznog područja A/D konvertora sa izlaznim opsegom senzora i eksponenta broja bitova riječi pri A/D konverziji, te formulu za relativnu rezoluciju koja predstavlja predstavljanje apsolutne rezolucije u postocima. Nakon rezolucije izračunate se apsolutan i relativna greška za sva tri opsega (0 - 1 [V], 0 - 10 [V], 0 - 15 [V]) koje zapravo predstavljaju polovinu vrijednosti svake od rezolucija. Na kraju su predstavljeni Simulnik modeli koji na izlazu daju promjenu greške A/D konverzije za sva tri ulazna opsega napona. Blok koji simulira ulaznu temperaturu je Ramp sa nagibom 1, temperatura je pomnožena sa apsolutnom osjetljivošću senzora koja predstavlja minulanu promjenu u temperaturi koji senzor registruje, taj umnožak se dovodi na ulaz A/D konvertora koji vrši diskretizaciju signala, izlaz iz A/D konvertora se množi sa vrijednosti apsolutne rezolucije, kako bi se dobile dužine intervala temperature na kojima nema promjene u naponu, tj koraci. zatim se taj diskretizovani signal oduzima od originalnog analognog ulaza, kako bi se dobila greška. Iz rezultata se vidi da što je veći opseg napona to je rezolucija veća, odnosno broj kvantata je manji, ali je opseg greške za svaki kvantat veći.