

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

**ZADAĆA IZ PREDMETA**  
**RAČUNARSKO VOĐENJE PROCESA**  
**ZADAĆA br. 2**

**Uticaj ofseta senzora na tačnost mjerenja**

**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 ZADATAKA

## Analitički dio zadatka

Mjerno područje senzora je bipolarno  $\pm 50$  jedinica, sa izlaznim područjem senzora  $\pm 10$ . Senzor je sa izraženim ofsetom  $\pm 2$ . Sve ostale pokazatelje statičke tačnosti senzora smatrati idealnim.

- a) *Nacrtati statičku karakteristiku senzora*
- b) *Nacrtati idealizovanu statičku karakteristiku senzora kada se zanemari postojanje ofseta*
- c) *Odrediti razliku između vrijednosti (grešku) mjerene veličine ako se uzme u obzir ofset senzora i kada se pretpostavi idealizovan senzor, za vrijednosti izlaza senzora  $\pm 0.5$ ,  $\pm 2$  i  $\pm 5$ , te za 30% manje vrijednosti.*
- d) *Skicirati grešku linearizacije za promjenu mjerene veličine u čitavom mjernom području od -50 do +50*

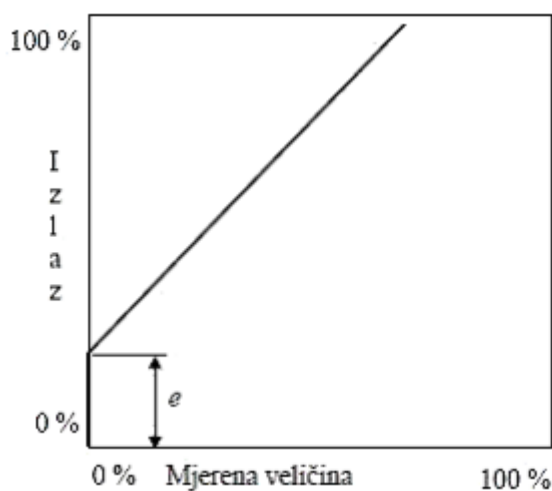
## Rad u laboratoriji (Matlab Simulink)

### ZADAĆA

1. *Rezultate u tačkama a) i b) provjeriti simulacijom crtanja statičkih karakteristika u Simulinku.*
2. *Simulacijom u Simulinku nacrtati kako se mijenja greška izlaza senzora sa ofsetom u odnosu na idealan.*
3. *Dati analizu i objašnjenje dobijenih rezultata.*

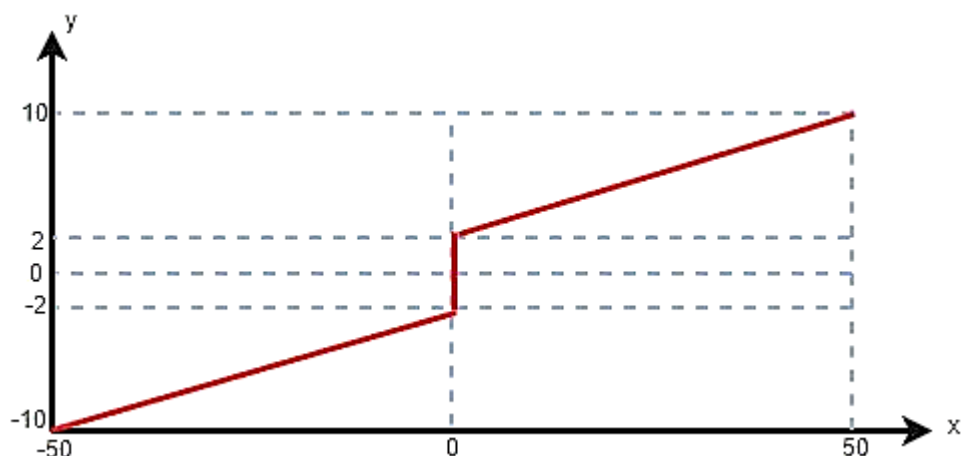
## 2. RJEŠENJE

Statička karakteristika se po pravilu uvijek posmatra prva (od primarnog je značaja). Statička karakteristika opisuje maksimalnu grešku koja se može očekivati u stacionarnom stanju (kada se nakon promjene mjerene veličine sačeka da izlaz senzora postane konstantan). Greška se obično izražava u postotcima mjernog opsega njegovog izlaza. Određivanje i povećanje statičke tačnosti senzora se provodi u postupku kalibracije, u jednom ili više ciklusa, a sam ciklus kalibracije predstavlja sporu promjenu mjerene veličine od minimalne do maksimalne vrijednosti i nazad ponovo do minimalne vrijednosti. U zadaći je prikazana uticaj ofseta senzora na tačnost mjerenja. Kada je mjerena veličina jednaka nuli tada je izlaz pasivnog senzora također jednak nuli. Ovo ne mora da vrijedi u slučaju aktivnog senzora. Vrijednost signala na izlazu senzora/transdjusera, kada je mjerena veličina jednak nuli naziva se ofsetom.



*Slika 1. Prikaz ofseta senzora*

a) *Statička karakteristika senzora*



**Slika 2.** Realna statička karakteristika senzora sa uticajem ofseta senzora na tačnost mjerenja

- x – mjerena veličina senzora ( $\pm 50$  jedinica)
- y – izlazno područje senzora ( $\pm 10$  jedinica)
- ofset  $\pm 2$

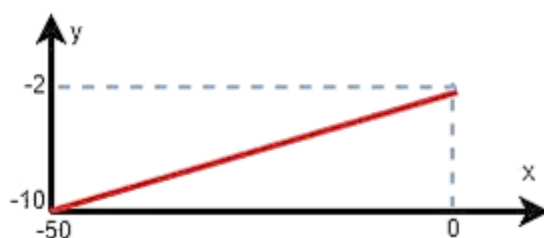
Ukoliko sa  $y_r$  bude označen izlaz iz realnog senzora u stacionarnom stanju, tada je izlaz senzora u funkciji mjerene veličine dat sa funkcijom koja se računa formulom za linearnu statičku karakteristiku:

$$y_r = K \cdot x + a$$

$$K = \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

$$a = y_{min} - K \cdot x_{min}$$

1. Posmatranje statičke karakteristike u rasponu  $-50 \leq x \leq 0$ :



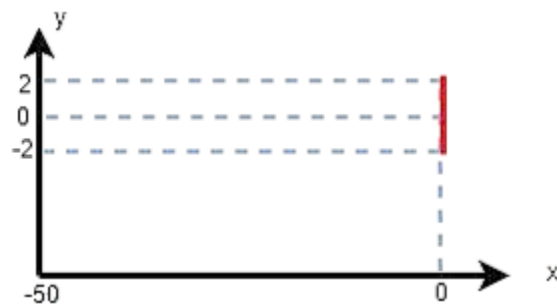
**Slika 3.** Posmatranje statičke karakteristike u zadanom rasponu

$$K = \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} = \frac{-2 - (-10)}{0 - (-50)} = \frac{-2 + 10}{0 + 50} = \frac{8}{50}$$

$$a = y_{min} - K \cdot x_{min} = -10 - \frac{5}{50} \cdot (-50) = -10 + \frac{5}{50} \cdot 50 = -10 + 8 = -2$$

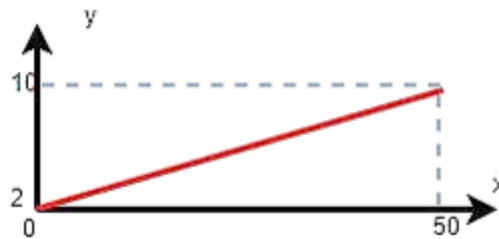
$$y_r = K \cdot x + a = \frac{8}{50} \cdot x - 2$$

2. Posmatranje statičke karakteristike u rasponu  $-2 < y < 2$ ,  $x=0$ :



*Slika 4. Posmatranje statičke karakteristike u zadanom rasponu*

3. Posmatranje statičke karakteristike u rasponu  $0 \leq x \leq 50$ :



*Slika 5. Posmatranje statičke karakteristike u zadanom rasponu*

$$K = \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} = \frac{10 - 2}{50 - 0} = \frac{8}{50}$$

$$a = y_{min} - K \cdot x_{min} = 2 - \frac{8}{50} \cdot 0 = 2 - 0 = 2$$

$$y_r = K \cdot x + a = \frac{8}{50} \cdot x + 2$$

Sumirano, izlaz iz realnog senzora  $y_r$  možemo zapisati u obliku:

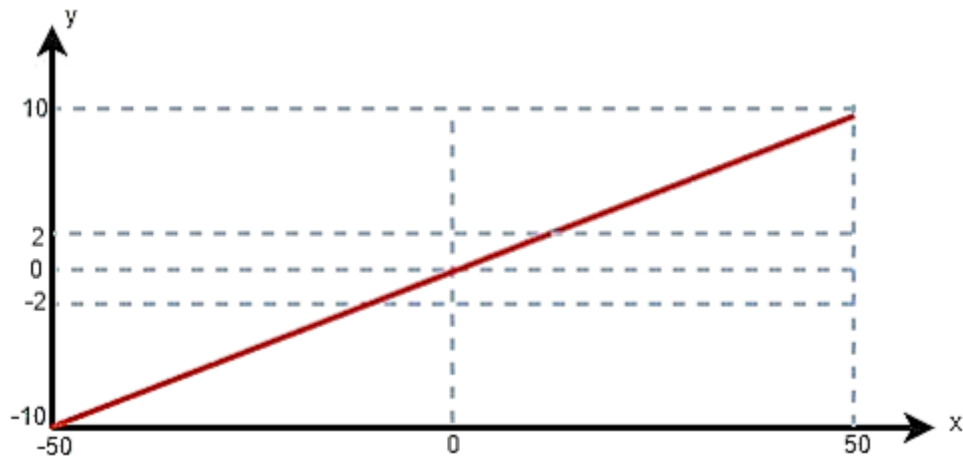
$$y_r = \begin{cases} \frac{8}{50}x - 2, & -50 \leq x \leq 0 \\ \frac{8}{50}x + 2, & 0 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

Pri granici  $-2 < y < 2$ ,  $x = 0$ .

b) *Idealna statička karakteristika senzora kada se zanemari uticaj ofseta na tačnost mjerenja.*

Idealna statička karakteristika prikazuje linearni rast izlazne veličine iz mjernog pretvarača pri linearnom rastu ulazne veličine u mjerni pretvarač.

- $-50 \leq x \leq 50$ :



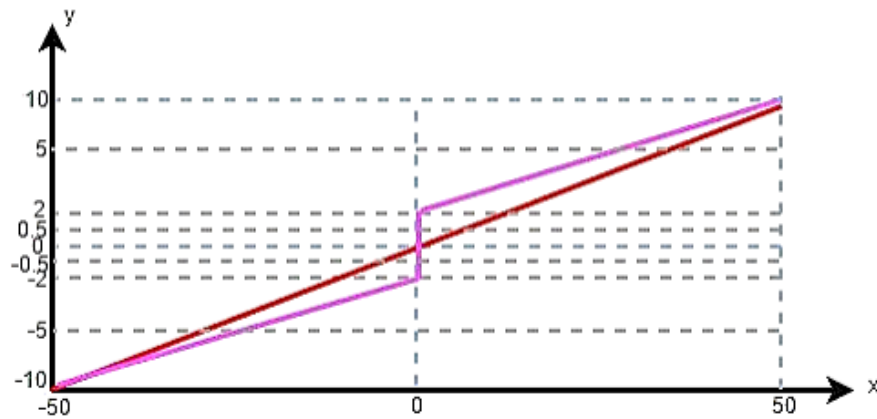
*Slika 6. Linearna statička karakteristika u zadanom rasponu*

$$K = \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} = \frac{10 - (-10)}{50 - (-50)} = \frac{20}{100} = \frac{10}{50}$$

$$a = y_{min} - K \cdot x_{min} = -10 - \frac{10}{50} \cdot (-50) = -10 + \frac{10}{50} \cdot 50 = -10 + 10 = 0$$

$$y_t = K \cdot x + a = \frac{10}{50} \cdot x + 0 = \frac{10}{50}x$$

c) *Greška mjerene veličine za idealni i realni senzor, za vrijednosti izlaza senzora  $\pm 5$ ,  $\pm 2$ ,  $\pm 0.5$ , te za 30% manje vrijednosti*



*Slika 7. Realna i idealna statička karakteristika sa naznačenim vrijednostima izlaza senzora za računanje greške*

- **Za realni senzor sa izlazom  $y_r$ :**

Prvo se izrazi mjerena veličina  $x$  iz jednačina za izlaz realnog senzora u odgovarajućim rasponima, te se uvrštavaju vrijednosti izlaza senzora.

- **Za  $-50 \leq x \leq 0$ :**

$$y_r = K \cdot x + a = \frac{8}{50} \cdot x - 2$$

$$\frac{8}{50}x - 2 = y_r / \cdot 50$$

$$8x - 100 = 50y_r$$

$$8x = 50y_r + 100$$

$$x = \frac{50}{8}y_r + \frac{100}{8}$$

$$x = 6.25y_r + 12.5$$

- **Za  $0 \leq x \leq 50$ :**

$$y_r = K \cdot x + a = \frac{8}{50} \cdot x + 2$$

$$\frac{8}{50}x + 2 = y_r / \cdot 50$$

$$8x + 100 = 50y_r$$

$$8x = 50y_r - 100$$

$$x = \frac{50}{8}y_r - \frac{100}{8}$$

$$x = 6.25y_r - 12.5$$

- **Za  $-2 \leq y \leq 2$ :**

$$x = 0$$

Sa *Slike 7* uzimamo vrijednosti  $y_r$ :

$$y_r = -5 \rightarrow x = 6.25 \cdot (-5) + 12.5 = -18.75$$

$$y_r = -2 \rightarrow x = 6.25 \cdot (-2) + 12.5 = 0$$

$$y_r = -0.5 \rightarrow x = 0$$

$$y_r = 0.5 \rightarrow x = 0$$

$$y_r = 2 \rightarrow x = 6.25 \cdot (2) - 12.5 = 0$$

$$y_r = 5 \rightarrow x = 6.25 \cdot (5) - 12.5 = 18.75$$

- **Za idealni senzor sa izlazom  $y_i$ :**

Prvo se izrazi mjerena veličina  $x$  iz jednačina za izlaz idealnog senzora u odgovarajućim rasponima, te se uvrstavaju vrijednosti izlaza senzora.

- **Za  $-50 \leq x \leq 50$ :**

$$y_i = K \cdot x + a = \frac{10}{50} \cdot x + 0 = \frac{10}{50}x$$

$$y_i = \frac{10}{50}x$$

$$10x = 50y_i$$

$$x = \frac{50}{10}y_i$$

$$x = 5y_i$$

Sa *Slike 7* uzimamo vrijednosti  $y_i$ :

$$y_i = -5 \rightarrow x = 5 \cdot (-5) = -25$$

$$y_i = -2 \rightarrow x = 5 \cdot (-2) = -10$$

$$y_i = -0.5 \rightarrow x = 5 \cdot (-0.5) = -2.5$$

$$y_i = 0.5 \rightarrow x = 5 \cdot (0.5) = 2.5$$

$$y_i = 2 \rightarrow x = 5 \cdot (2) = 10$$

$$y_i = 5 \rightarrow x = 5 \cdot (5) = 25$$

Sada se traži greška (razlika između vrijednosti mjerene veličine) koja se označi sa  $e(y)$  :

$$e(y) = |y_r - y_i|$$



$$e(-5) = |-18.75 - (-25)| = 6.25$$

$$e(-2) = |0 - (-10)| = 10$$

$$e(-0.5) = |0 - (-2.5)| = 2.5$$

$$e(0.5) = |0 - (2.5)| = 2.5$$

$$e(2) = |0 - (10)| = 10$$

$$e(5) = |18.75 - (25)| = 6.25$$

**Greška za vrijednosti izlaza umanjene 30% u odnosu na originalne:**

$$y = 0.7 * \pm 5 = \pm 3.5$$

$$y = 0.7 * \pm 2 = \pm 1.4$$

$$y = 0.7 * \pm 0.5 = \pm 0.35$$

- **Za realni senzor sa izlazom  $y_r$ :**

$$y_r = -3.5: x = 6.25(-3.5) + 12.5 = -9.375$$

$$y_r = -1.4: x = 0 \quad (\text{jer je } y \text{ unutra offset zone})$$

$$y_r = -0.35: x = 0 \quad (\text{jer je } y \text{ unutra offset zone})$$

$$y_r = 0.35: x = 0 \quad (\text{jer je } y \text{ unutra offset zone})$$

$$y_r = 1.4: x = 0 \quad (\text{jer je } y \text{ unutra offset zone})$$

$$y_r = 3.5: x = 6.25 * 3.5 - 12.5 = 9.375$$

- **Za idealni senzor sa izlazom  $y_i$ :**

$$y_i = -3.5: x = 5(-3.5) = -17.5$$

$$y_i = -1.4: x = 5(-1.4) = -7$$

$$y_i = -0.35: x = 5(-0.35) = -1.75$$

$$y_i = 0.35: x = 5(0.35) = 1.75$$

$$y_i = 1.4: x = 5(1.4) = 7$$

$$y_i = 3.5: x = 5 * 3.5 = 17.5$$

$$\text{Greška: } e(y) = |y_r - y_i|$$

$$e(-3.5) = |-9.38 - (-17.5)| = 8.12$$

$$e(-1.4) = |0 - (-7)| = 7$$

$$e(-0.35) = |0 - (-1.75)| = 1.75$$

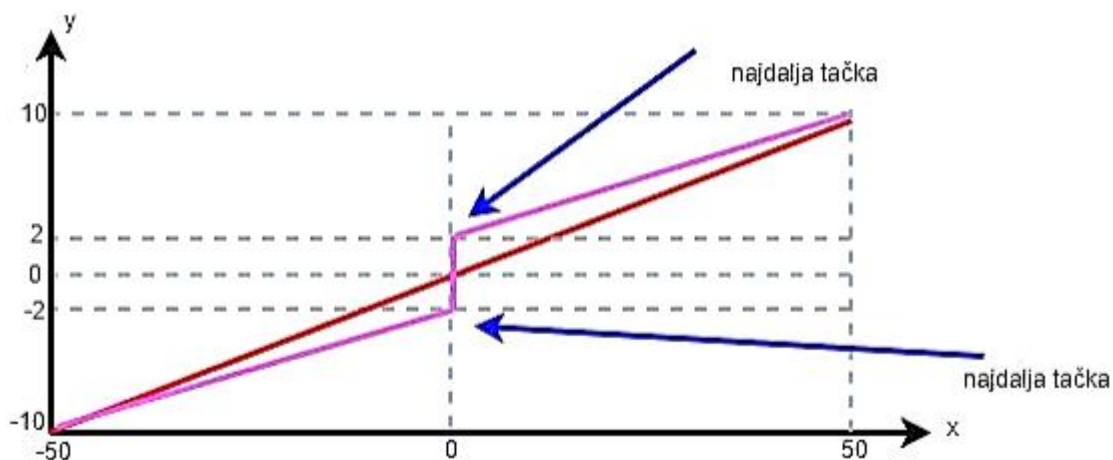
$$e(0.35) = |0 - 1.75| = 1.75$$

$$e(1.4) = |0 - 7| = 7$$

$$e(3.5) = |9.38 - 17.5| = 8.12$$

d) Skicirana greška linearizacije za promjenu mjerne veličine u čitavom mjernom području

Najveća greška mjerenja je ona vrijednost na x – osi na realnoj funkciji koja je najdalja od idealne funkcije.



**Slika 8.** Najdalje vrijednosti na x - osi realne funkcije od idealne funkcije

Dakle, posmatramo tačke  $\pm 2$  na x – osi, te računamo vrijednosti uvrštavanjem ovih vrijednosti u izraze za idealnu i realnu funkciju:

$$y_r(\pm 2) = ?$$

$$y_i(\pm 2) = ?$$

Realna funkcija je prikazana formulom:

$$y_r(+2) = \frac{8}{50} \cdot (2) + 2 = 2.32$$

$$y_r(-2) = \frac{8}{50} \cdot (-2) - 2 = -2.32$$

Idealna funkcija je prikazana formulom:

$$y_l = \frac{10}{50}x$$

$$y_l(+2) = \frac{10}{50} \cdot 2 = \frac{20}{50} = \frac{2}{5} = 0.4$$

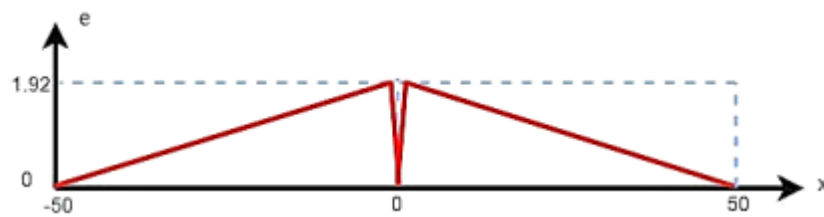
$$y_l(-2) = \frac{10}{50} \cdot (-2) = \frac{-20}{50} = \frac{-2}{5} = -0.4$$

Greška:

$$e(y) = |y_r - y_l|$$

$$e(2) = |2.32 - (0.4)| = 1.92$$

$$e(-2) = |-2.32 + (0.4)| = 1.92$$

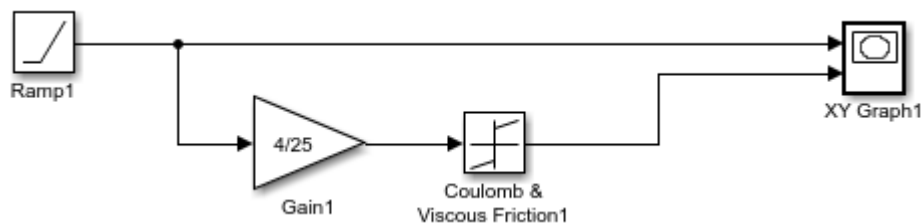


*Slika 9. Skicirana greška linearizacije*

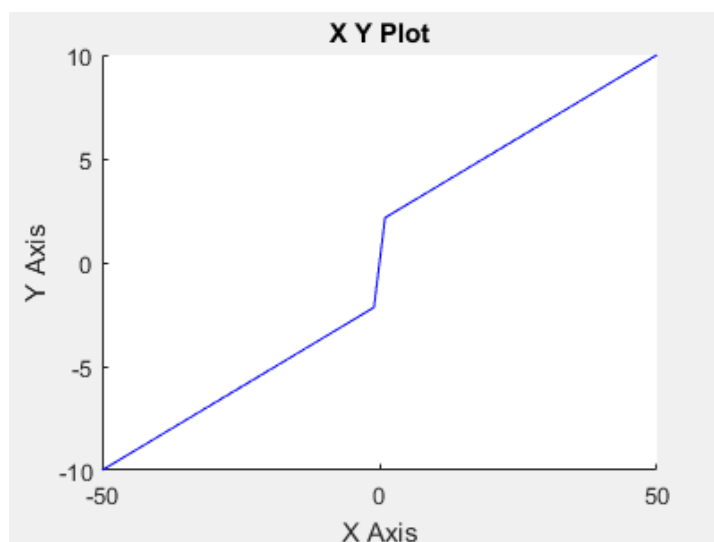
## Rad u laboratoriji (MATLAB Simulink) - ZADAĆA

1. Rezultate u tačkama a) i b) provjeriti simulacijom crtanja statičkih karakteristika u Simulinku

### a) Realna statička karakteristika



Slika 10. Simulink model za iscrtavanje realne statičke karakteristike



Slika 11. Izgled realne statičke karakteristike senzora

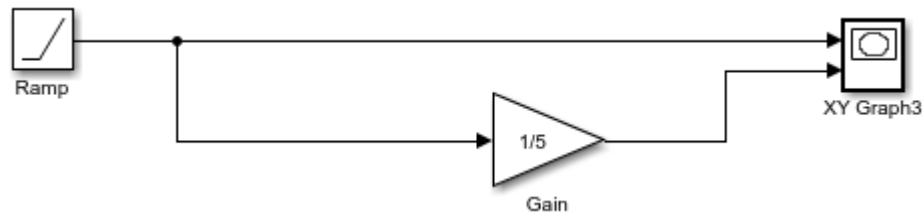
Tabela 1. Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	-50
Coulomb & Viscous friction	Coulomb friction value	2
Gain	Gain	4/25
XY Graph	x-min	-50
	x-max	50

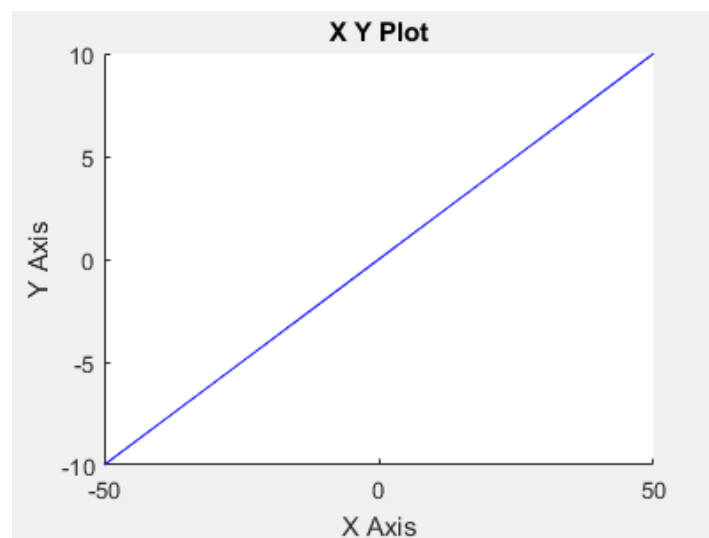
	y-min	-10
	y-max	10
	Sample time	1

Vrijeme simulacije se postavlja na 100.

**b) Idealna statička karakteristika**



**Slika 12.** Simulink model za iscrtavanje idealne statičke karakteristike



**Slika 13.** Izgled idealne statičke karakteristike senzora

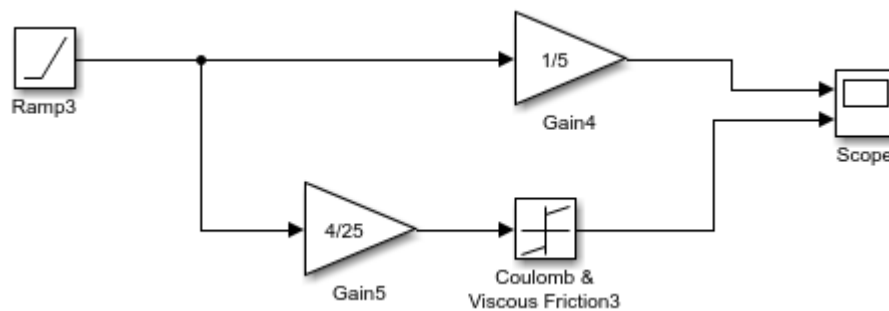
**Tabela 2.** Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	-50
Gain	Gain	1/5
XY Graph	x-min	-50
	x-max	50
	y-min	-10

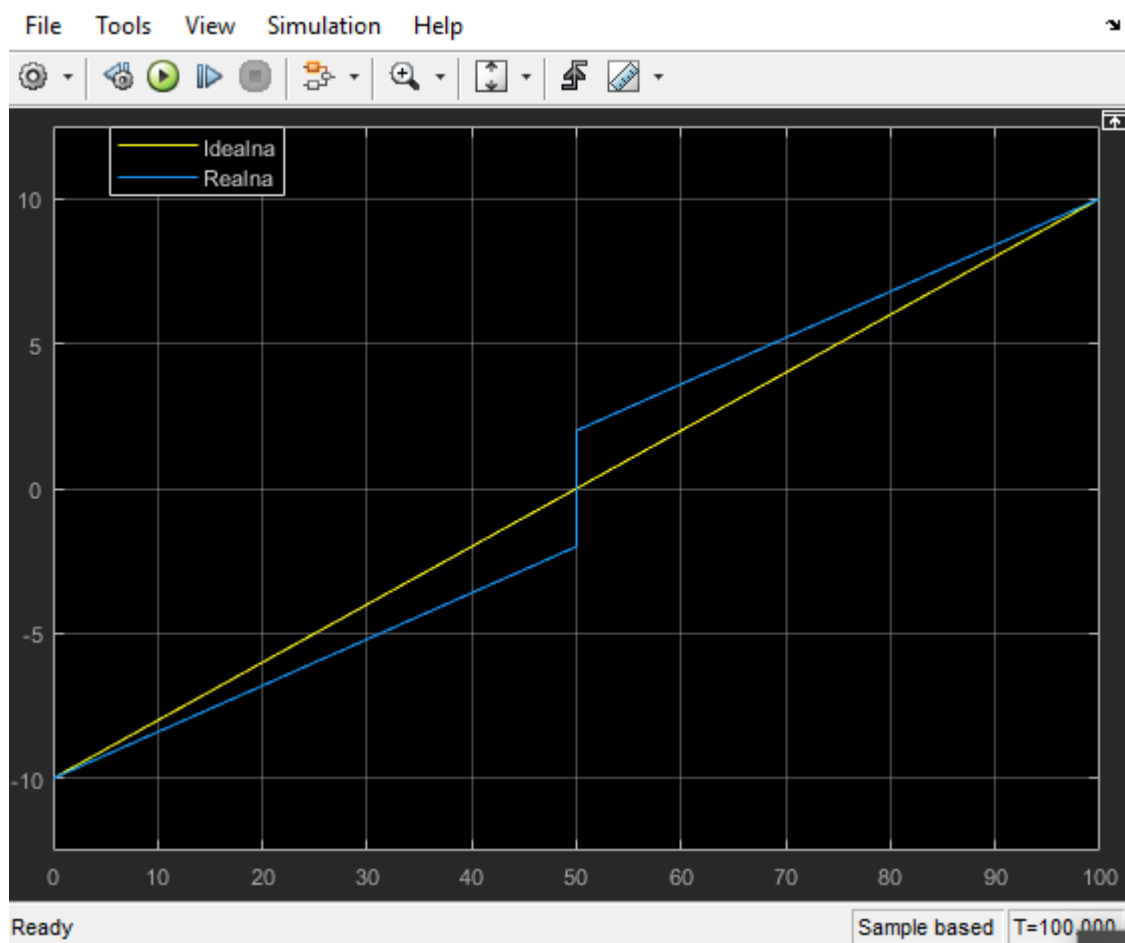
	y-max	10
	Sample time	1

Vrijeme simulacije se postavlja na 100.

c) Prikaz obje karakteristike na istom grafu



Slika 14. Simulink model za iscrtavanje obje statičke karakteristike na istom grafu



Slika 15. Prikaz obje statičke karakteristike

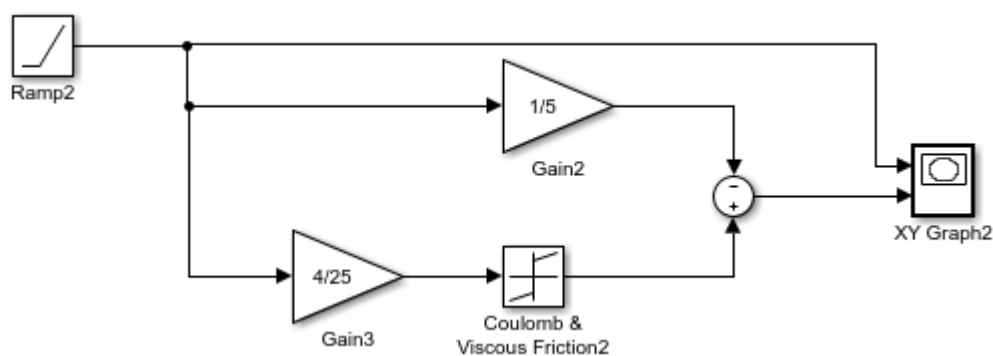
**Tabela 3.** Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	-50
Gain	Gain	4/25
Coulomb & Viscous friction	Coulomb friction value	2
Gain	Gain	1/5
Scope	Number of input ports	2

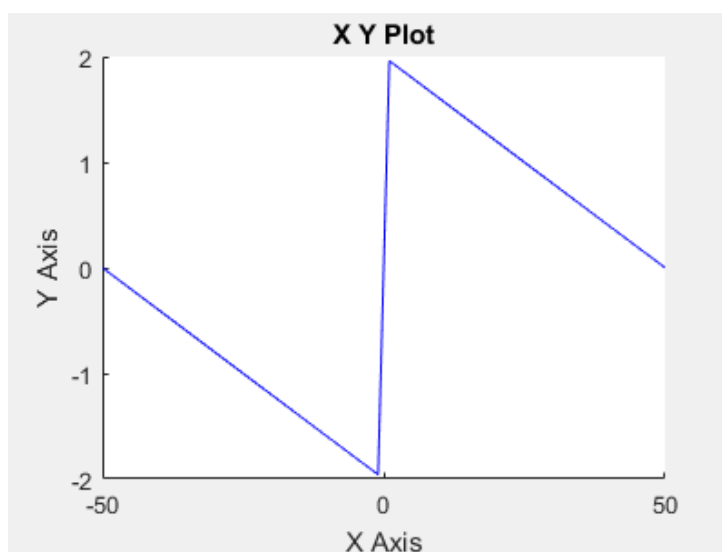
Vrijeme simulacije se postavlja na 100.

2. Simulacijom u Simulinku nacrtati kako se mijenja greška izlaza senzora sa ofsetom u odnosu na idealan.

Greška predstavlja razliku između očitavanja realnog senzora i idealnog senzora.



**Slika 16.** Simulink model za iscrtavanje promjene greške pri određivanju mjerene veličine



**Slika 17.** Prikaz promjene greške

**Tabela 4. Podešavanje parametara**

<b>Naziv bloka</b>	<b>Naziv parametra</b>	<b>Vrijednost</b>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	-50
Gain	Gain	4/25
Coulomb & Viscous friction	Coulomb friction value	2
Gain	Gain	1/5
Sum	List of signs	-+
XY Graph	x-min	-50
	x-max	50
	y-min	-2
	y-max	2

Vrijeme simulacije se postavlja na 100.

### 3. Dati analizu i objašnjenje dobijenih rezultata

Na osnovu jednačina statičkih karakteristika koje su izvedene na vježbama za realnu i idealnu statičku karakteristiku te na osnovu grešaka za određene vrijednosti izlaza iz senzora izračunate su i vrijednosti greški za 30% umanjene vrijednosti izlaza. Kako bi se te vrijednosti dobile prvo svaka od originalnih vrijednosti izlaza je pomnožena sa 0.7 kako bi se dobila nova, za 30% umanjena vrijednost, tj. 70% originalne vrijednosti. Dobivene su vrijednosti  $\pm 3.5$  (70% od  $\pm 5$ ),  $\pm 1.4$  (70% od  $\pm 2$ ) i  $\pm 0.35$  (70% od  $\pm 0.5$ ). Nakon toga su preko izraza za realnu karakteristiku izračunate nove vrijednosti ulaza ( $x$ ) za odgovarajuću vrijednost izlaz. U slučaju da vrijednost izlaza ulazi u opseg  $-50 < x < 0$  korišten je izraz statičke karakteristike za taj opseg ( $y = \frac{8}{50}x - 2 \Rightarrow x = 6.25y + 12.5$ ), a u slučaju da vrijednost izlaza ulazi u opseg  $0 < x < 50$  korišten je odgovarajući izlaz za taj opseg ( $y = \frac{8}{50}x + 2 \Rightarrow x = 6.25y - 12.5$ ), za slučaj da vrijednost izlaza pripada domenu ofseta (od -2 do +2) uzima se da je  $x=0$  (očito sa grafa, *Slika 2*). Nakon toga su izračunate vrijednosti ulaza za realnu karakteristiku preko izraza  $y = \frac{1}{5}x \Rightarrow x = 5y$ . Na kraju su izračunate greške za te nove vrijednosti izlaza. U drugom dijelu zadaće predstavljene su karakteristike i greška linearizacije kroz MATLAB Simulink modele. Za pobudu kod obje statičke karakteristike je korišten Ramp blok, dok je za kreiranje ofseta kod realne statičke karakteristike korišten blok Coulomb & Viscous friction koji omogućava kreiranje te željenog ofseta od -2 do 2. Obje karakteristike su preko zasebnog modela predstavljene i na istom grafu. Dobijene karakteristike odgovaraju onima dobivenim preko analitičkog postupka. Na kraju se predstavljena i greška linearizacije koja predstavlja razliku realne statičke karakteristike i idealne statičke karakteristike.



### 3. ZAKLJUČAK

U zadaći je prikazana uticaj ofseta senzora na tačnost mjerenja. Kada je mjerena veličina jednaka nuli tada je izlaz pasivnog senzora također jednak nuli. Ovo ne mora da vrijedi u slučaju aktivnog senzora. Vrijednost signala na izlazu senzora/transdjusera, kada je mjerena veličina jednak nuli naziva se ofsetom.

Prvo je predstavljena statička karakteristike senzora. Mjerno područje senzora je bipolarno sa 50 jedinica, što znači da sadrži 50 uzoraka u minusu i 50 u plusu, dok se izlazno područje senzora prostire na  $\pm 10$  jedinica. To znači da je statička karakteristika na x-osi prikazana u intervalu od -50 do +50 a na y-osi od -10 do +10. U slučaju realne statičke karakteristike postoji područje ofseta koja predstavlja područje vrijednosti izlaza za koje je vrijednost ulaza jednaka nuli, u zadatku je to područje definisano kao interval  $\pm 2$ . Prvo je kreiran graf realne statičke karakteristike koji se može analizirati kroz 3 segmenta, prvi segment je pravac na intervalu od -50 do 0 kada je promjena po x-osi (ulaz) praćena promjenom po y-osi (izlaz), nakon toga slijedi ofset, kada je za svaku vrijednost izlaza ulaze jednak nuli, i na kraju je treći segment od 0 do 50 koji također predstavlja pravac. Ta 3 segmenta su predstavljena jednačinama pravca te se od ta tri pravca formirala realna statička karakteristika.

Sljedeće se crta idealna statička karakteristika koje po definiciji nema ofseta predstavlja savršena pravac.

Nakon statičkih karakteristika bilo je potrebno odrediti grešku mjerene veličine, tj razlike mjerene veličine između dvije karakteristike za date vrijednosti izlaza senzora  $\pm 0.5$ ,  $\pm 2$  i  $\pm 5$ , te za 30% umanjene vrijednosti od tih originalnih. Prvo se izračunaju vrijednosti od x odnosno ulaza realne statičke karakteristike za svaku vrijednosti izlaza (ovdje se treba obratiti pažnja na intervale u koje pojedine vrijednosti izlaza pripadaju). Nakon toga se isto izračuna za idealnu statičku karakteristiku. Greška se računa za svaku vrijednost izlaza senzora kao apsolutna vrijednosti razlike između x-ova realne i idealne statičke karakteristike.

Nakon toga je skicirana greška procesa linearizacije koja predstavlja razliku između realne i idealne statičke karakteristike. Za potrebe skiciranja prvo je pronađena maksimalna greška – predstavlja minimalnu i maksimalnu vrijednost ofseta realne statičke karakteristike.

Nakon toga su grafovi obje statičke karakteristike provjerni iscrtavanjem istih kroz MATLAB Simulink model. Za generisanje ulaza je korišten blok Ramp, za generisanje ofseta kod realne karakteristike je korišten blok Coulomb & Viscous friction dok je za prikaz grafova korišten blok XY Graph. Grafovi su takođe prikazani skupa preko Scope bloka u zasebnoj Simulink shemi. Na kraju je kreiran Simulink model za prikaz greške gdje se na XY Graph blok, pored ulaznog signala, dovidi razlika realne i idealne statičke karakteristike senzora.