

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

ZADAĆA IZ PREDMETA

RAČUNARSKO VOĐENJE PROCESA

ZADAĆA br. 3

Uticaj nelinearnosti 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 ZADATKA

Analitički dio zadatka

Mjerno područje senzora je unipolarano od 0 do 800. Stvarna statička karakteristika senzora sa izraženom nelineranošću, zadata je funkcijom $y = 50(1 - e^{-0.005x})$, gdje je x označena mjerna veličina, a y izlaz senzora.

- a) *Nacrtati statičku karakteristiku senzora sa korakom $x=50$*
- b) *Odrediti i nacrtati idealizovanu statičku karakteristiku senzora za mjerenje u opsegu od 0 do 100% mjernog područja*
- c) *Odrediti i nacrtati linearizovanu statičku karakteristiku senzora ako je poznato da će biti korišten za mjerenje u opsegu od 20 do 80% mjernog područja, kao i za opseg mjerenja u mjernom području od 30 do 70%.*
- d) *Odrediti i nacrtati linearizovanu statičku karakteristiku senzora ako je poznato da će biti korišten za mjerenje u okolini vrijednosti mjerene veličine $x=200$.*

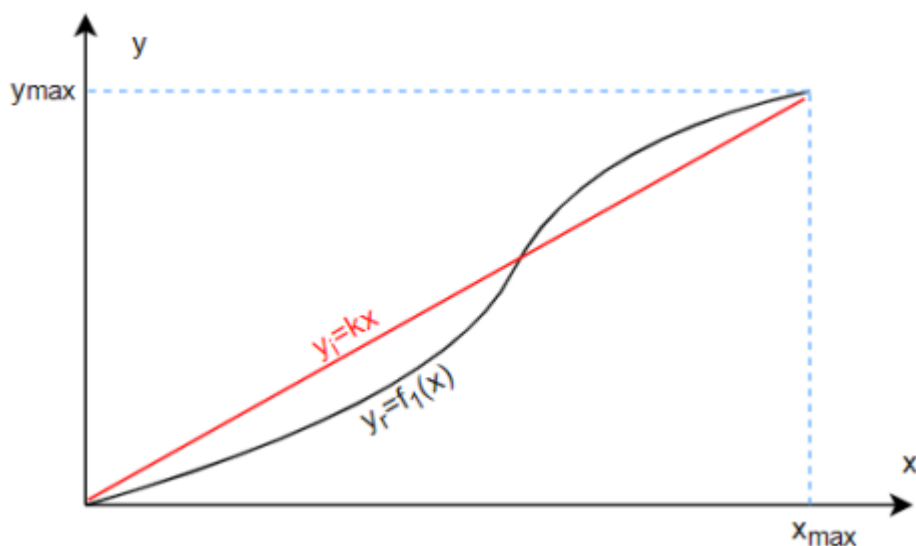
Rad u laboratoriji (Matlab Simulink)

ZADAĆA

1. *Rezultate u tačkama a), b), c) i d) provjeriti crtanjem statičkih karakteristika u Matlab Simulinku.*
2. *Simulacijom u Matlab Simulinku nacrtati kako se mijenja u određivanju mjerene veličine ako se pretpostavi da je senzor linearizovan u skladu sa b), c) i d).*
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 nelinearnosti senzora na tačnost mjerenja. Da bi senzori imali dovoljno visoku osjetljivost na mjerenu veličinu, oni po pravilu imaju nelinearnu statičku karakteristiku. Potreba da informacioni signal ima linearnu zavisnost od mjerene veličine od opšteg je značaja, jer se kompletna obrada signala i prikaz izvode u elementima koji su po pravilu linearni.



Slika 1. Prikaz nelinearne i njegove linearizovane karakteristike senzora

a) *Statička karakteristika senzora*

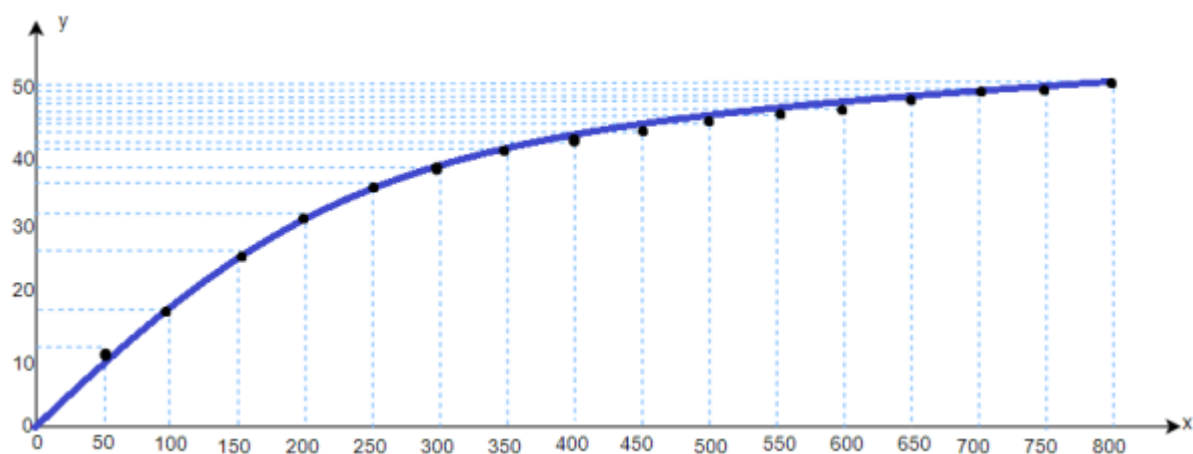
Za prikaz statičke karakteristike senzora već je data funkcija, stoga je potrebno samo da se pomoću zadane funkcije nacrtaju karakteristika računanjem vrijednosti izlaza za određenu vrijednost ulaza koje se uvrštavaju u zadanu funkciju, pri čemu je korak $x=50$.

Zadana funkcija:

$$y = 50 \cdot (1 - e^{-0.005x})$$

Tabela 1. Računanje izlaznih vrijednosti na temelju ulaznih vrijednosti sa korakom $x=50$

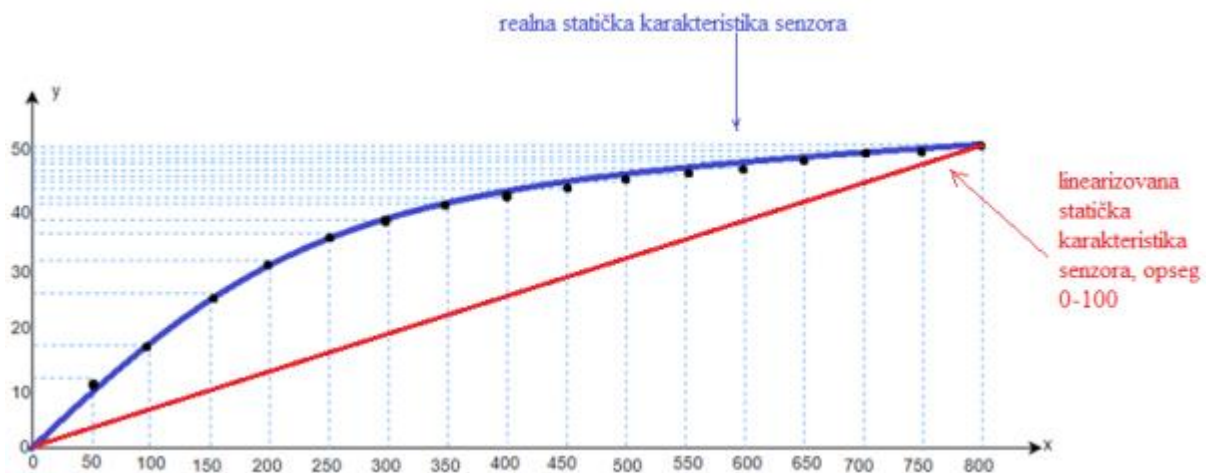
x	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
y	0	11.1	19.7	26.4	31.6	35.7	38.8	41.3	43.2	44.7	45.9	46.8	47.5	48.1	48.5	48.8	49.1



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

- x – mjerena veličina senzora (0 - 800 jedinica)
- y – izlazno područje senzora (0 – 50 jedinica)

b) Linearizovana statička karakteristika senzora za mjerenje u opsegu od 0 do 100% mjernog područja



Slika 3. Linearizovana statička karakteristika u opsegu 0 – 100% mjerene veličine

Funkcija linearizovane statičke karakteristike:

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

$$K = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} = \frac{50 - 0}{800 - 0} = \frac{50}{800}$$

$$a = y_{\min} - K \cdot x_{\min} = 0 - \frac{50}{800} \cdot 0 = 0 - 0 = 0$$

$$y_l = K \cdot x + a = \frac{50}{800} \cdot x + 0 = \frac{50}{800} x$$

c) Linearizovana statička karakteristika senzora za mjerenje u opsegu od 20 do 80% mjernog područja, kao i za mjerenje u opsegu od 30 do 70% mjernog područja

Postotak se računa na sljedeći način:

$$20 \% \text{ od } 800 \rightarrow x_{\min} = 800 \cdot \frac{20}{100} = \mathbf{160}$$

$$80 \% \text{ od } 800 \rightarrow x_{\max} = 800 \cdot \frac{80}{100} = \mathbf{640}$$

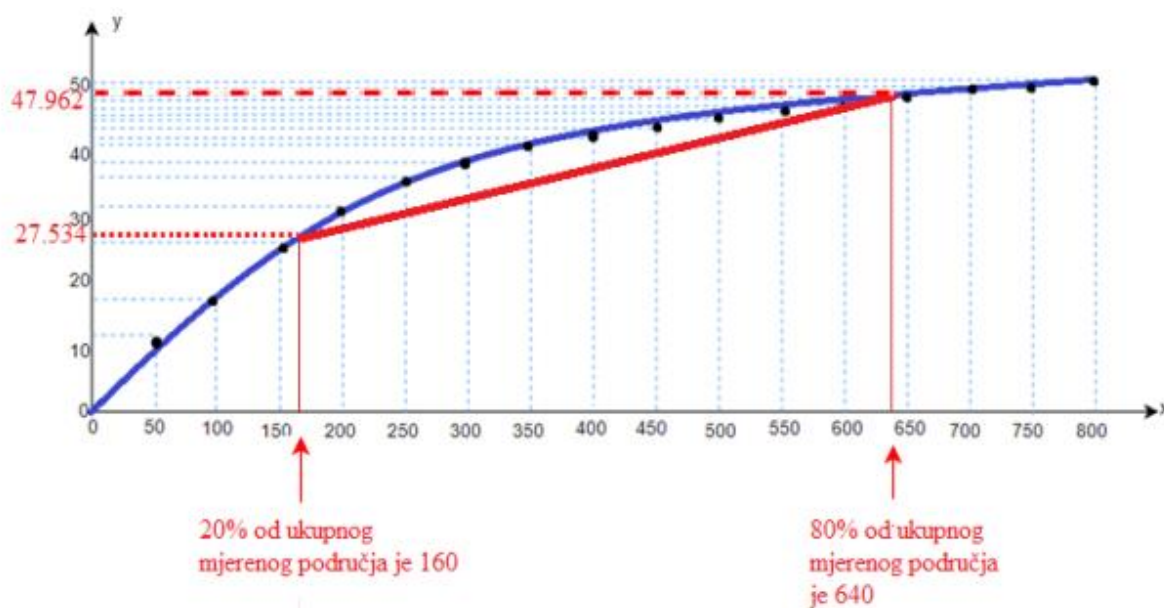
Nakon što su određene granice na x – osi u željenom opsegu, računa se izlaz prema tim vrijednostima na temelju početne zadane funkcije:

Početna (zadana) funkcija:

$$y = 50 \cdot (1 - e^{-0.005x})$$

$$y_{min} = 50(1 - e^{-0.005 \cdot 160}) = 27.534$$

$$y_{max} = 50(1 - e^{-0.005 \cdot 640}) = 47.962$$



Slika 4. Određivanje linearizovane statičke karakteristike u opsegu od 20 do 80% mjerene veličine

Sada kada su poznate minimalne i maksimalne vrijednosti, može se pronaći funkcija linearizovane statičke karakteristike:

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

$$K = \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} = \frac{47.962 - 27.534}{640 - 160} = \frac{20.428}{480} = 0.04256$$

$$a = y_{min} - K \cdot x_{min} = 27.534 - 0.04256 \cdot 160 = 20.7244$$

$$y = K \cdot x + a = 0.04256 \cdot x + 20.7244$$

S obzirom da je potrebno sada nacrtati funkcije, a poznate su minimalne i maksimalne vrijednosti izlaza ($a=y_{min}=20.7244$ i $y_{max}=50$), vrlo lako se izračunaju vrijednosti x uz pomoć poznate funkcije, te se nacrtaju linearna funkcija kroz dvije dobivene tačke.

$$y = K \cdot x + a = 0.04256 \cdot x + 20.7244$$

$$0.04256 \cdot x + 20.7244 = y$$

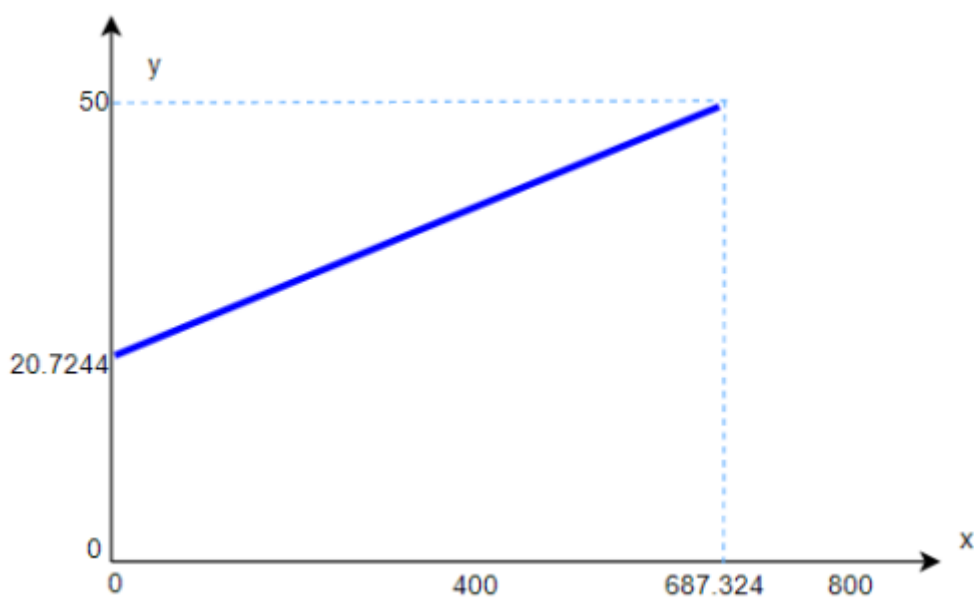
$$0.04256 \cdot x = y - 20.7244$$

$$x = \frac{y - 20.7244}{0.04256}$$

$$y = K \cdot x + a \rightarrow x = \frac{y - a}{K}$$

$$x_{min} = \frac{y_{min} - a}{K} = \frac{20.7244 - 20.7244}{0.04256} = \frac{0}{0.04256} = 0$$

$$x_{max} = \frac{y_{max} - a}{K} = \frac{50 - 20.7244}{0.04256} = \frac{29.2756}{0.04256} = 687.87$$



Slika 5. Linearizovana statička karakteristika u opsegu od 20 do 80% mjerenog područja

- *Linearizovana statička karakteristika za mjerenje u opsegu od 30 do 70%*

$$30\% \text{ od } 800 \rightarrow x_{min} = 800 * \frac{30}{100} = 240$$

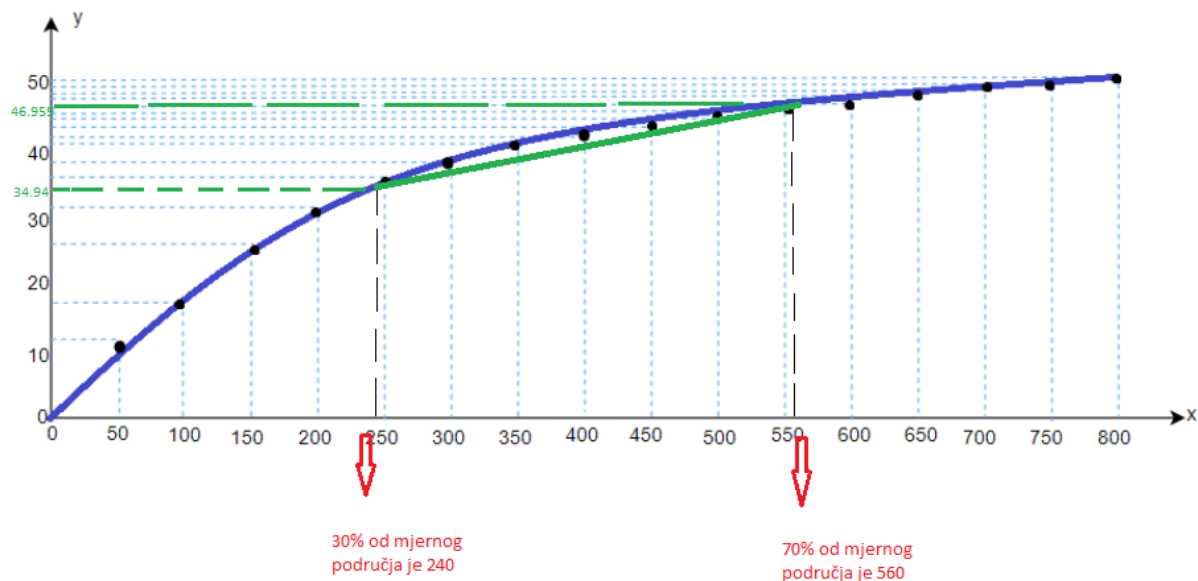
$$70\% \text{ od } 800 \rightarrow x_{max} = 800 * \frac{70}{100} = 560$$

Sada se računaju vrijednosti min i max za y , tj izlaz iz senzora po formuli:

$$y = 50(1 - e^{-0.005x})$$

$$y_{min} = 50(1 - e^{-0.005 \cdot 240}) = 34.94$$

$$y_{max} = 50(1 - e^{-0.005 \cdot 560}) = 46.95949$$



Slika 6. Određivanje linearizovane statičke karakteristike u opsegu od 30 do 70% mjerene veličine

Pošto su dobivene dvije tačke A(240, 34.94) i B(560, 46.95949) može se pronaći jednačina pravaca

$$y = Kx + a$$

$$K = \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} = \frac{46.95949 - 34.94}{560 - 240} = 0.0375625$$

$$a = y_{min} - Kx_{min} = 34.94 - 0.0375625 \cdot 240 = 25.925$$

$$y = 0.0375625x + 25.925$$

Za crtanje funkcije može se iskoristiti činjenica da iz jednačine se dobije mjesto gdje pravac siječe y osu (tamo gdje je $x=0$), pa se dobije tačka C(0, 25.925), također poznato je da je maksimalna vrijednost koju pravac doseže po $y \rightarrow y_{max} = 50$. Potrebno je pronaći odgovarajuću x koordinatu koja odgovara y_{max} koordinati kako bi se dobila druga tačka. Ta koordinata se može pronaći uz pomoć jednačine pravca.

$$y = 0.0375625x + 25.925$$

$$0.0375625x + 25.925 = y$$

$$0.0375625x = y - 25.925$$

$$x = \frac{y - 25.925}{0.0375625}$$

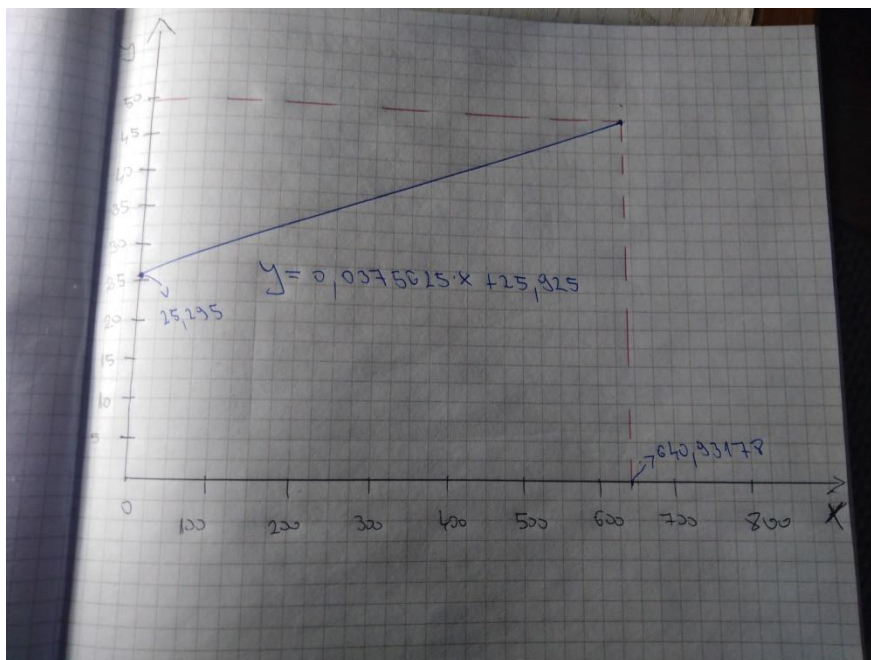
Uvrsti se vrijednost $y_{max} = 50$:

$$x = \frac{50 - 25.925}{0.0375625} = \frac{24.075}{0.0375625}$$

$$x = 640.93178$$

$$C(0, 25.925),$$

$$D(640.93178, 50)$$



Slika 7. Linearizovana statička karakteristika u opsegu od 30 do 70% mjenenog područja

d) Linearizovana statička karakteristika senzora u okolini vrijednosti mjerene veličine $x = 200$ (funkcija tangente)

U ovom dijelu zadatka je potrebno jednostavno naći funkciju tangente u okolini tačke $x=200$.

Glavni izraz za funkciju tangente je:

$$y - y_1 = K(x - x_1)$$

Uz pomoć x_1 će se pronaći y_1 uvrštavanjem u početnu glavnu funkciju:

$$y_1 = 50 \cdot (1 - e^{-0.005x_1}) \quad | \quad x_1 = 200$$

$$y_1 = 50 \cdot (1 - e^{-0.005 \cdot 200}) = 50 \cdot (1 - e^{-1}) = 50 \cdot (1 - 0.3678) = 50 \cdot (0.6321) = \mathbf{31.61}$$

Na taj način dobiva se tačka sa koordinatama $A(x_1, y_1) = A(200, 31.61)$.

Zatim se pronađe izvod funkcije y , koji će predstavljati K :

$$K = y' = (50 - 50 \cdot e^{-0.005 \cdot x})'$$

$$K = 50' - 50 \cdot (e^{-0.005 \cdot x})'$$

$$K = 0 - 50 \cdot (-0.005 \cdot x)' \cdot e^{-0.005 \cdot x} = 50 \cdot 0.005 \cdot e^{-0.005 \cdot x} = 0.25 \cdot e^{-0.005 \cdot x}$$

$$K = 0.25 \cdot e^{-0.005 \cdot x}$$

$$K(200) = 0.25 \cdot e^{-0.005 \cdot 200} = 0.25 \cdot e^{-1} = 0.25 \cdot 0.3678 = \mathbf{0.09197}$$

$$y - y_1 = K(x - x_1)$$

$$y - 31.61 = 0.09197 \cdot (x - 200)$$

$$\begin{aligned} y &= 0.09197 \cdot (x - 200) + 31.61 = 0.09197 \cdot x - 18.394 + 31.61 \\ &= 0.09197 \cdot x + 13.216 \end{aligned}$$

$$y = \mathbf{0.09197 \cdot x + 13.216}$$

S obzirom da je potrebno sada nacrtati funkcije, a poznate su minimalne i maksimalne vrijednosti izlaza ($a = y_{min} = 13.216$ i $y_{max} = 50$), vrlo lako se izračunaju vrijednosti x uz pomoć poznate funkcije, te se nacrtaju linearna funkcija kroz dvije dobivene tačke.

$$y = 0.09197 \cdot x + 13.216$$

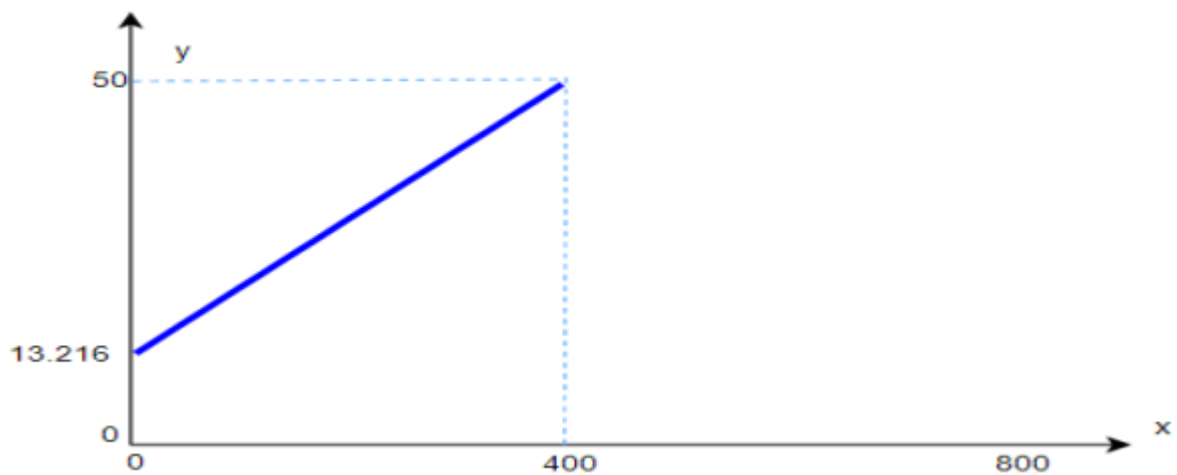
$$0.09197 \cdot x = y - 13.216$$

$$x = \frac{y - 13.216}{0.09197}$$

$$y = K \cdot x + a \quad \rightarrow \quad x = \frac{y - a}{K}$$

$$x_{min} = \frac{y_{min} - a}{K} = \frac{13.216 - 13.216}{0.09197} = \frac{0}{0.09197} = 0$$

$$x_{max} = \frac{y_{max} - a}{K} = \frac{50 - 13.216}{0.09197} = \frac{36.784}{0.09197} = 399.96$$

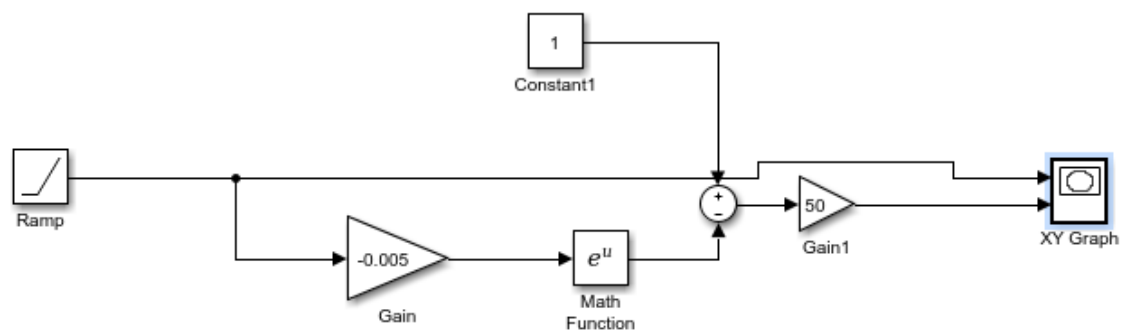


Slika 8. Linearizovana statička karakteristika u okolini $x=200$ (funkcija tangente)

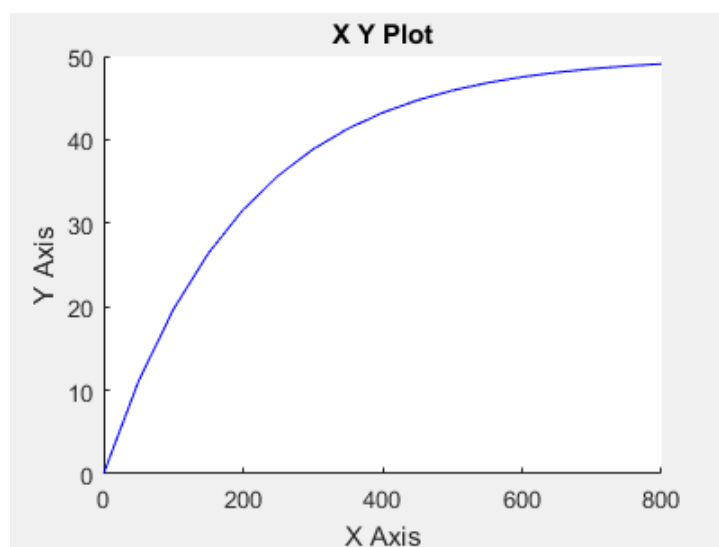
Rad u laboratoriji (MATLAB Simulink) - ZADAĆA

1. Rezultate u tačkama a), b), c), d) provjeriti simulacijom crtanja statičkih karakteristika u Matlab Simulinku

a) Realna statička karakteristika sa korakom $x=50$



Slika 9. Simulink model za iscrtavanje realne statičke karakteristike



Slika 10. Izgled realne statičke karakteristike senzora

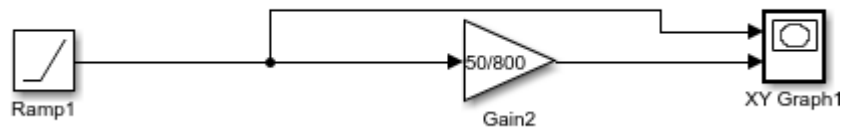
Tabela 2. Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Constan	Value	1
Gain	Gain	-0.005

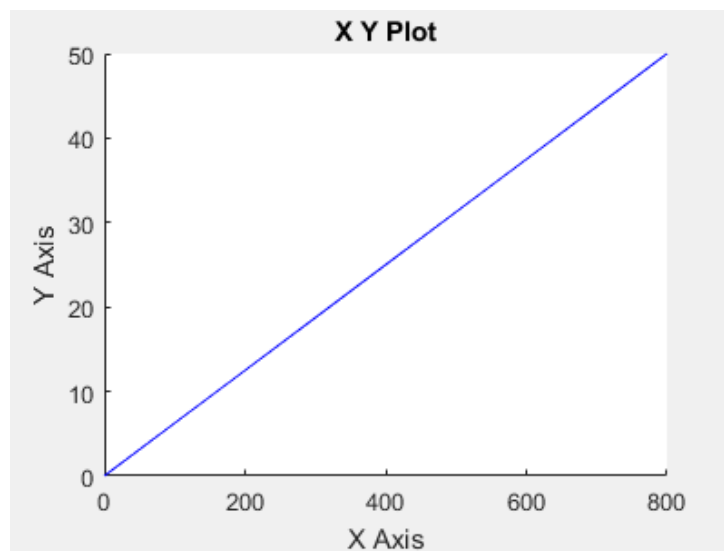
Math Function	Function	exp
Sum	List of signs	+ -
Gain	Gain	50
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	0
	y-max	50
	Sample time	50

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

b) Linearizovana statička karakteristika za mjerenje u opsegu od 0 do 100%



Slika 11. Simulink model za iscrtavanje linearizovane statičke karakteristike



Slika 12. Izgled linearizovane statičke karakteristike senzora

Tabela 3. Podešavanje parametara

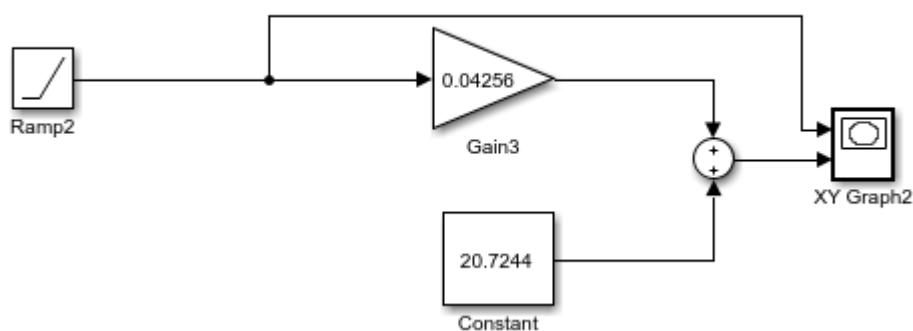
Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0

	Initial output	0
Gain	Gain	50/800
XY Graph	x-min	0
	x-max	80
	y-min	0
	y-max	50
	Sample time	50

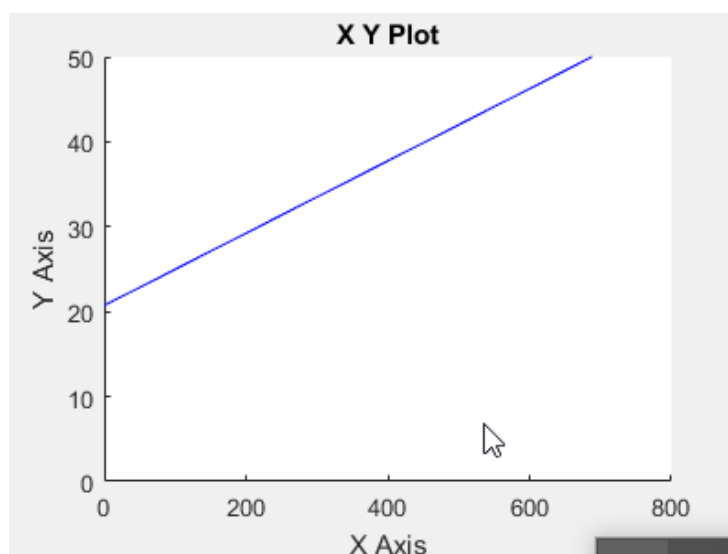
Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

c) Linearizovana statička karakteristika za mjerenje u opsegu od 20 do 80% mjernog područja, i od 30 do 70% mjernog područja

- Za opseg od 20 do 80%



Slika 13. Linearizovana statička karakteristika senzora za opseg od 20 do 80%



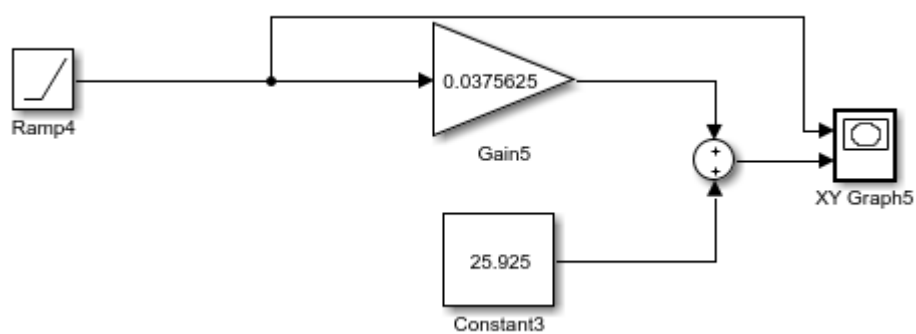
Slika 14. Izgled linearizovane statičke karakteristike senzora za opseg od 20 do 80%

Tabela 4. Podešavanje parametara

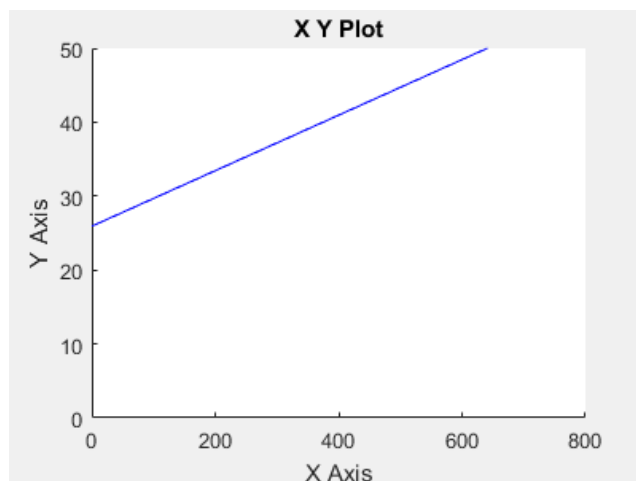
<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.04256
Constant	Value	20.7244
Sum	List of signs	++
XY Graph	x-min	0
	x-max	80
	y-min	0
	y-max	50
	Sample time	50

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

- Za opseg od 30 do 70%



Slika 15. Linearizovana statička karakteristika senzora za opseg od 30 do 70%



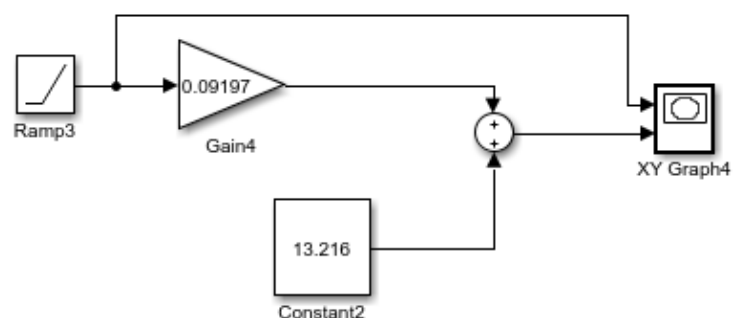
Slika 16. Izgled linearizovane statičke karakteristike senzora za opseg od 30 do 70%

Tabela 5. Podešavanje parametara

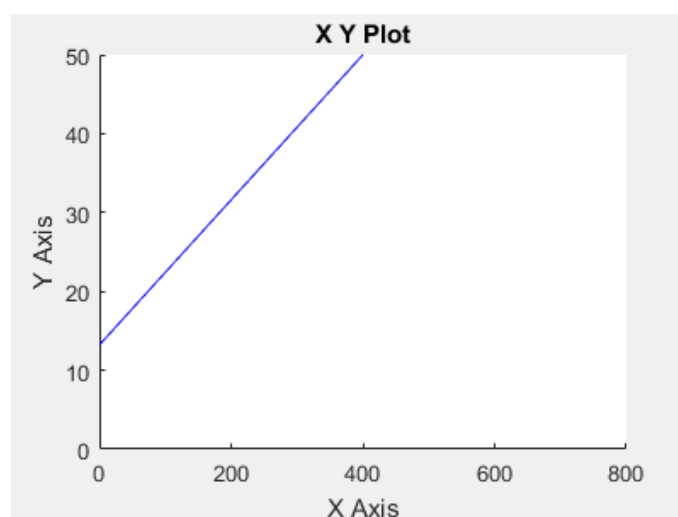
<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0375625
Constant	Value	25.925
Sum	List of signs	++
XY Graph	x-min	0
	x-max	80
	y-min	0
	y-max	50
	Sample time	50

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

d) Linearizovana statička karakteristika za mjerenje u okolini vrijednosti $x=200$



Slika 17. Linearizovana statička karakteristika za mjerenje u okolini vrijednosti $x=200$



Slika 18. Izgled linearizovane statičke karakteristike za mjerenje u okolini vrijednosti $x=200$

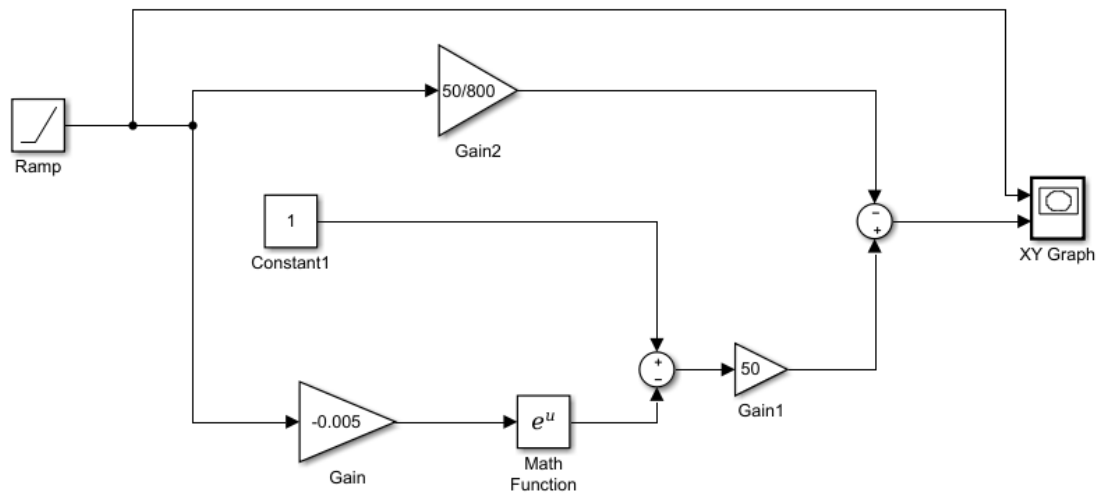
Tabela 6. Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.09197
Constant	Value	13.216
Sum	List of signs	++
XY Graph	x-min	0
	x-max	80
	y-min	0
	y-max	50
	Sample time	50

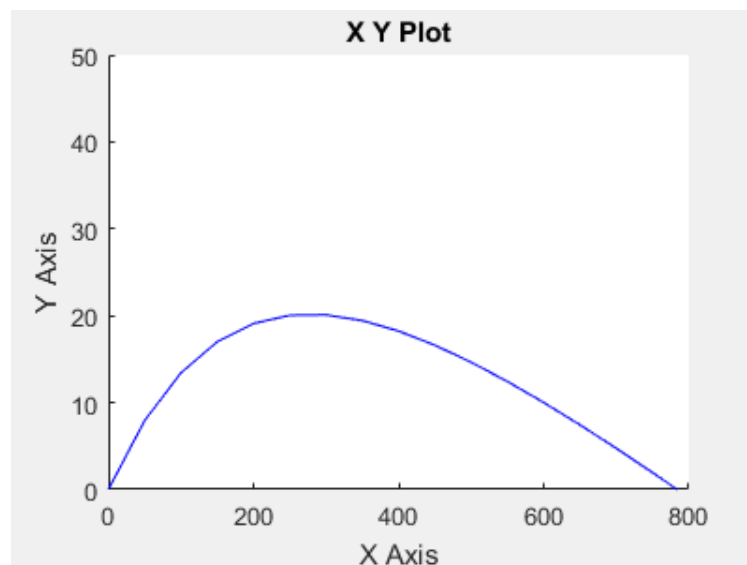
Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

2. Simulacijom u Matlab Simulinku nacrtati kako se mijenja u određivanju mjerene veličine ako se pretpostavi da je senzor linearizovan u skladu sa b), c) i d).

a) Greška za linearizaciju na opsegu od 0 do 100%



Slika 19. Simulink model za grešku linearizacije u opsegu od 0 do 100%



Slika 20. Izgled greške linearizacije u opsegu od 0 do 100%

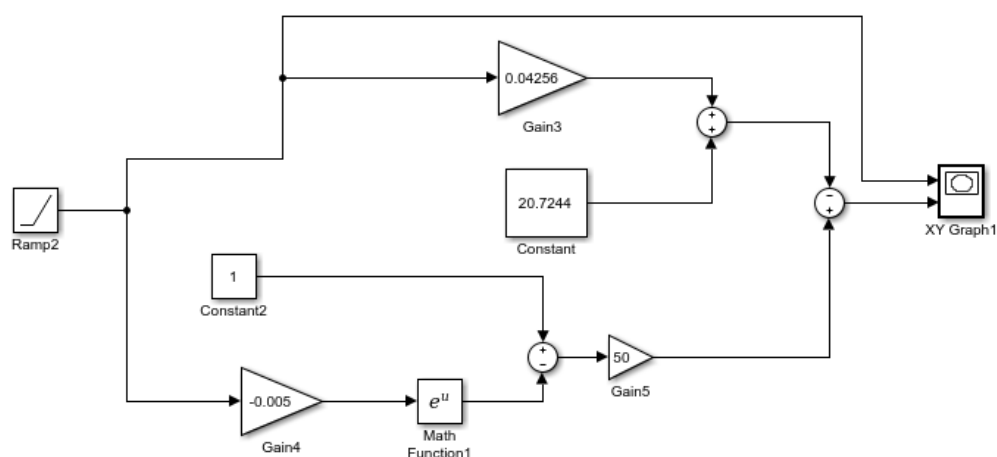
Tabela 7. Podešavanje parametara

<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	50/800
Sum	List of signs	-+
Constan	Value	1
Gain	Gain	-0.005
Math Function	Function	exp
Sum	List of signs	+ -
Gain	Gain	50
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	0
	y-max	50
	Sample time	50

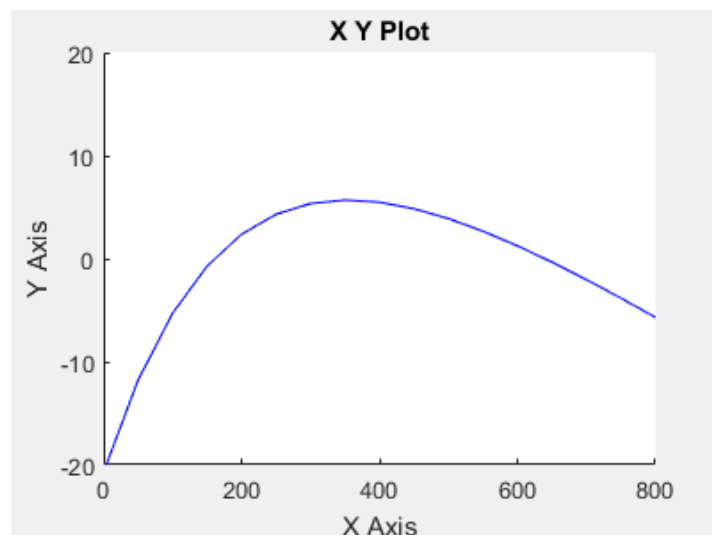
Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

b) Greška za linearizaciju na opsegu od 20 do 80% i u opsegu od 30 do 70%

- *Od 20 do 80%*



Slika 21. Simulink model za grešku linearizacije u opsegu od 20 do 80%



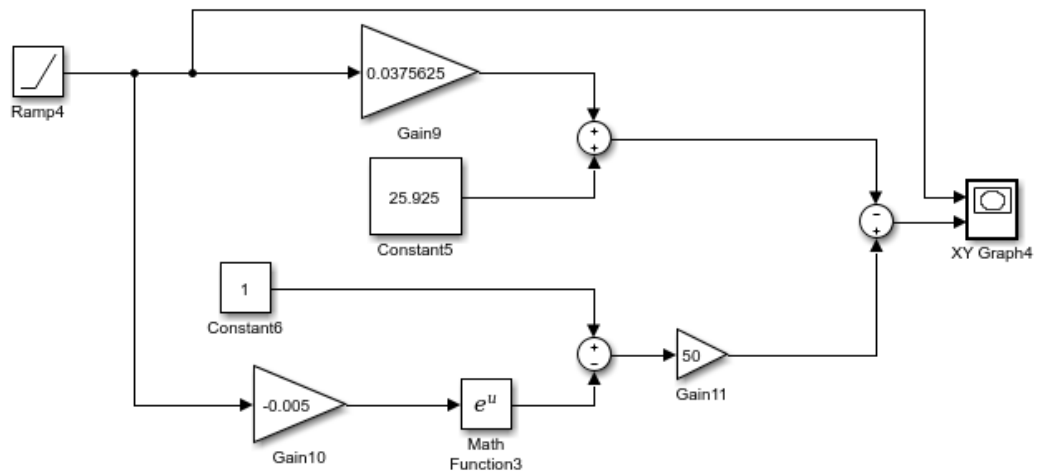
Slika 22. Izgled greške linearizacije u opsegu od 20 do 80%

Tabela 8. Podešavanje parametara

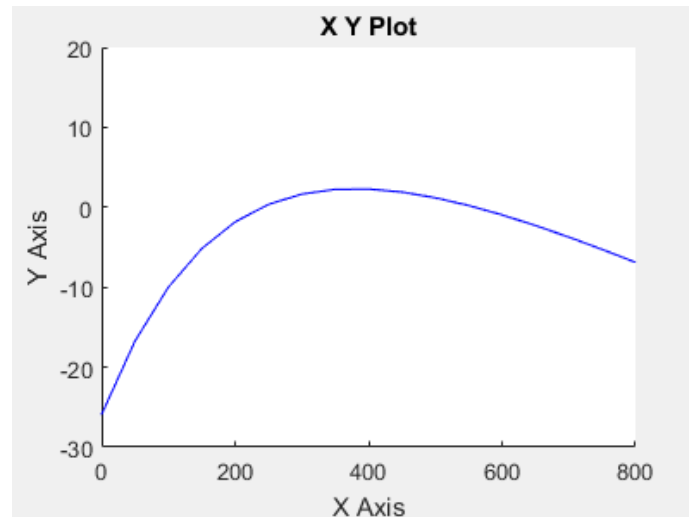
<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.04256
Sum	List of signs	++
Constant	Value	20.7244
Constan	Value	1
Gain	Gain	-0.005
Math Function	Function	exp
Sum	List of signs	+-
Gain	Gain	50
Sum	List of signs	-+
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-20
	y-max	20
	Sample time	50

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

- Od 30 do 70%



Slika 23. Simulink model za grešku linearizacije u opsegu od 30 do 70%



Slika 24. Izgled greške linearizacije u opsegu od 30 do 70%

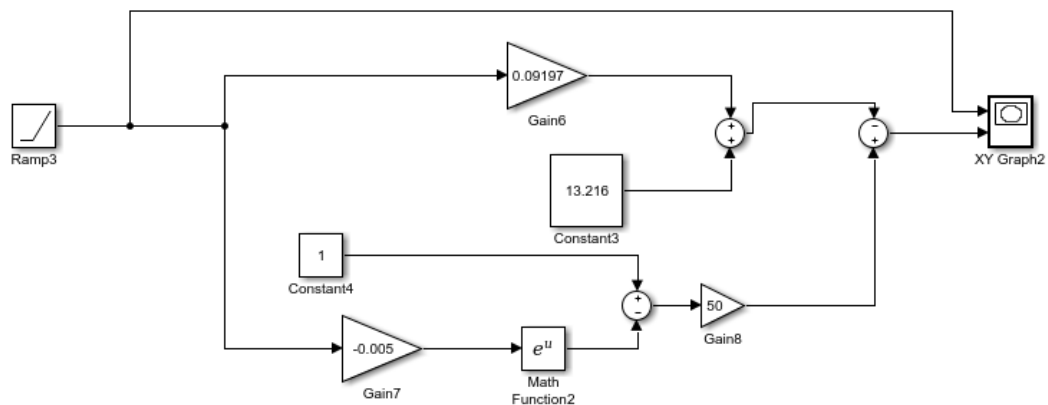
Tabela 9. Podešavanje parametara

<i>Naziv bloka</i>	<i>Naziv parametra</i>	<i>Vrijednost</i>
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.0375625
Sum	List of signs	++
Constant	Value	25.925
Constan	Value	1
Gain	Gain	-0.005
Math Function	Function	exp

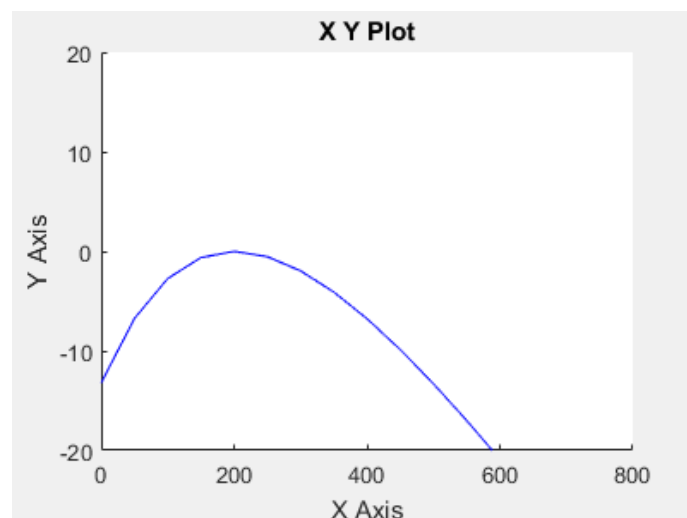
Sum	List of signs	+ -
Gain	Gain	50
Sum	List of signs	- +
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-30
	y-max	20
	Sample time	50

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

c) Greška za linearizaciju za korištenje u okolini tačke $x=200$



Slika 25. Simulink model za grešku linearizacije za korištenje u okolini tačke $x=200$



Slika 26. Izgled greške linearizacije za korištenje u okolini tačke $x=200$

Tabela 10. Podešavanje parametara

Naziv bloka	Naziv parametra	Vrijednost
Ramp	Slope	1
	Start time	0
	Initial output	0
Gain	Gain	0.09197
Sum	List of signs	++
Constant	Value	13.216
Constan	Value	1
Gain	Gain	-0.005
Math Function	Function	exp
Sum	List of signs	+-
Gain	Gain	50
Sum	List of signs	-+
XY Graph	x-min	0
	x-max	800
	y-min	-20
	y-max	20
	Sample time	50

Vrijeme simulacije se postavlja na 800.

3. Dati analizu i objašnjenje dobijenih rezultata

Po uzoru na linearizovanu statičku karakteristiku za mjerenje u opsegu od 20 do 80% mjernog područja pronađena je i linearizovana statička karakteristika ka opseg od 30 do 70%. Prvo su određene donja i gornja granica po x osi, odnosno 30% od 800, što iznosi 240 i 70% od 800 što iznosi 560. Nakon dobivenih x koordinata potrebno je bilo pronaći i y koordinate kako bi se dobile dvije tačke pravca. Koordinate po y-osi se dobiju uvrštavanjem vrijednosti x-ova u izraza za realnu statičku karakteristiku. Pošto su nakon toga pronađene dvije tačke, to je dovoljno za pronalaženje jednačine pravaca po formuli $y = Kx + a$, $K = (y_{\max} - y_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$, $a = y_{\min} - K x_{\min}$. Nakon što je dobivena jednačina pravca na osnovu nje je pronađena x-koordinata za koju y dostiže svoju maksimalnu vrijednost (50), te je na osnovu tih novih tačaka nacrtan dobiveni pravac.

U Matlab Simulink dijelu zadaće provjereni su izgledi linearizacija statičkih karakteristika koje su analitički dobivene pod a), b), c) i d), uključujući i linearizaciju koju je bilo potrebno pronaći kroz zadaću. Sve linearizacije se poklapaju sa linearizacijama dobivenim Matlab Simulink modelima. U zadnjem dijelu su kreirani Simulink modeli koji daju greške za svaku od pojedinih linearizacija koje se pojavljuju kroz zadaću. Ta greška je samo razlika realne statičke karakteristike i određene linearizacije te karakteristike.

3. ZAKLJUČAK

U zadaći je prikazana uticaj nelinearnosti senzora na tačnost mjerenja. Da bi senzori imali dovoljno visoku osjetljivost na mjerenu veličinu, oni po pravilu imaju nelinearnu statičku karakteristiku. Potreba da informacioni signal ima linearnu zavisnost od mjerene veličine od opšteg je značaja, jer se kompletna obrada signala i prikaz izvode u elementima koji su po pravilu linearni. Prvo je predstavljena statička karakteristike senzora. Mjerno područje senzora je unipolarno sa 800 jedinica, gdje je korak uzorkovanje 50, dok se izlazno područje senzora prostire na +50 jedinica – također unipolarno. To znači da je statička karakteristika na x-osi prikazana u intervalu od 0 do +800 a na y-osi od 0 do +50. Nakon realne statičke karakteristike uređena je linearizacija karakteristike za mjerenje u opsegu od 0 do 100%, što predstavlja savršen pravac. U sljedećem dijelu zadaće je izvršena linearizacija statičke karakteristike za opseg od 20 do 80% i od 30 do 70%. Prvo su određene donja i gornja granica po x osi. Nakon dobivenih x koordinata potrebno je bilo pronaći i y koordinate kako bi se dobile dvije tačke pravca. Koordinate po y-osi se dobiju uvrštavanjem vrijednosti x-ova u izraza za realnu statičku karakteristiku. Pošto su nakon toga pronađene dvije tačke, to je dovoljno za pronalaženje jednačine pravca po formuli $y = Kx + a$, $K = (y_{\max} - y_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$, $a = y_{\min} - K x_{\min}$. Nakon što je dobivena jednačina pravca na osnovu nje je pronađena x-koordinata za koju y dostiže svoju maksimalnu vrijednost (50), te je na osnovu tih novih tačaka nacrtani dobiveni pravci. U zadnjem analitičkom dijelu je izvršena linearizacija statičke karakteristike senzora u okolini vrijednosti mjerne veličine $x=200$. Pojednostavljeno pronađena je tangenta na tačku kojoj je x koordinata 200. Za pronalaženje y koordinate x koordinata se uvrsti u jednačinu r statičke karakteristike, nakon toga se preko formule za jednačinu tangente pronađe izraz za tangentu te se ista nacrtala.

U Simulinku su provjereni izgledi linearizacija statičkih karakteristika koje su analitički dobivene pod a), b), c) i d), uključujući i linearizaciju koju je bilo potrebno pronaći kroz zadaću. Sve linearizacije se poklapaju sa linearizacijama dobivenim Matlab Simulink modelima. U zadnjem dijelu su kreirani Simulink modeli koji daju greške za svaku od pojedinih linearizacija koje se pojavljuju kroz zadaću.