

UNIVERZITET U BIHAĆU
TEHNIČKI FAKULTET
BIHAĆ

AUTOMATSKO UPRAVLJANJE II

Auditorne/Laboratorijske vježbe

**Uticaj nelinearnosti senzora na tačnost mjerenja
(Vježba 10)**

mr. Amel Toroman, dipl.ing.el.
Viši asistent

SPECIFIKACIJA

Uticaj nelinearnosti senzora na tačnost mjerenja

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

- a) *Skicirati statičku karakteristiku senzora sa korakom $x = 50$.*
- b) *Odrediti i nacrtati linearizovanu 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.*
- d) *Odrediti i nacrtati linearizovanu statičku karakteristiku senzora ako je poznato da će biti korišten za mjerenje u okolini vrijednosti mjerene veličine $x = 200$.*

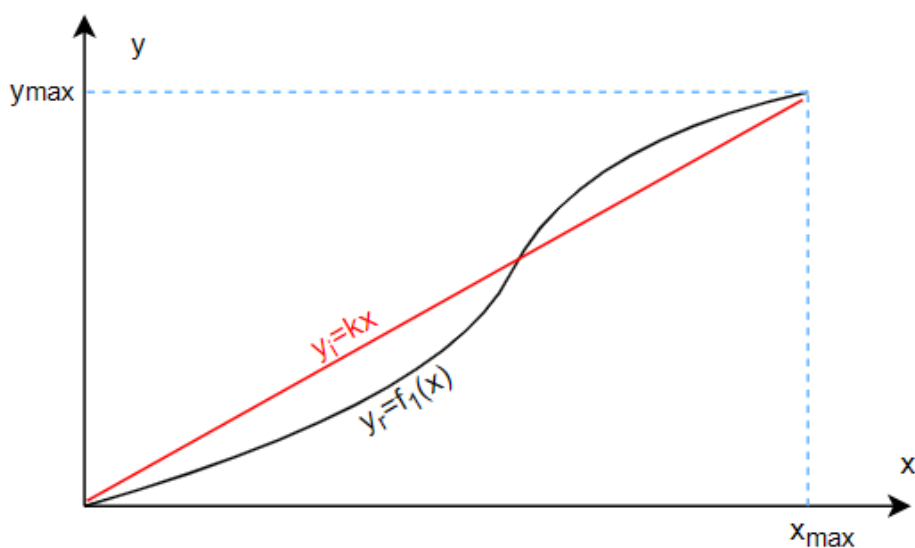
Rad u laboratoriji:

- e) *Rezultate u tačkama a), b), c) i d) provjeriti crtanjem statičkih karakteristika u Matlab Simulinku*
- f) *Simulacijom u Matlab Simulinku nacrtati kako se mijenja greška u određivanju mjerene veličine ako se pretpostavi da je senzor linearizovan u skladu sa b), c) i d).*
- g) *Dati analizu i objašnjenje dobijenih rezultata.*

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 ovoj laboratorijskoj vježbi je potrebno prikazati 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*

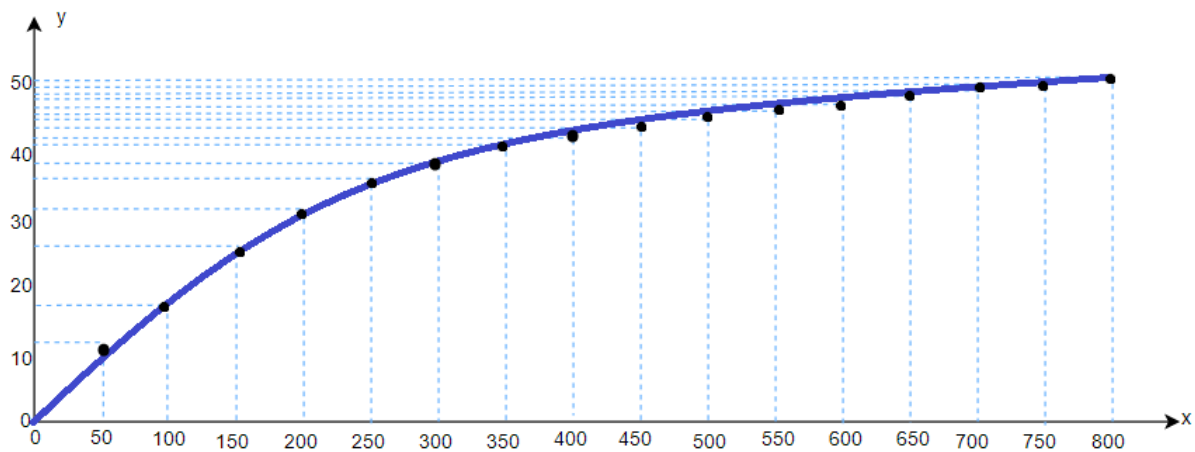
Za prikaz statičke karakteristike senzora već je data funkcija, stoga je potrebno samo da se pomoću zadane funkcije nacrtaju karakteristika računanjem vrijednosti izlaza za određenu vrijednost ulaza koje se uvrštavaju u zadanu funkciju, pri čemu je korak $x=50$.

Zadana funkcija:

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

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

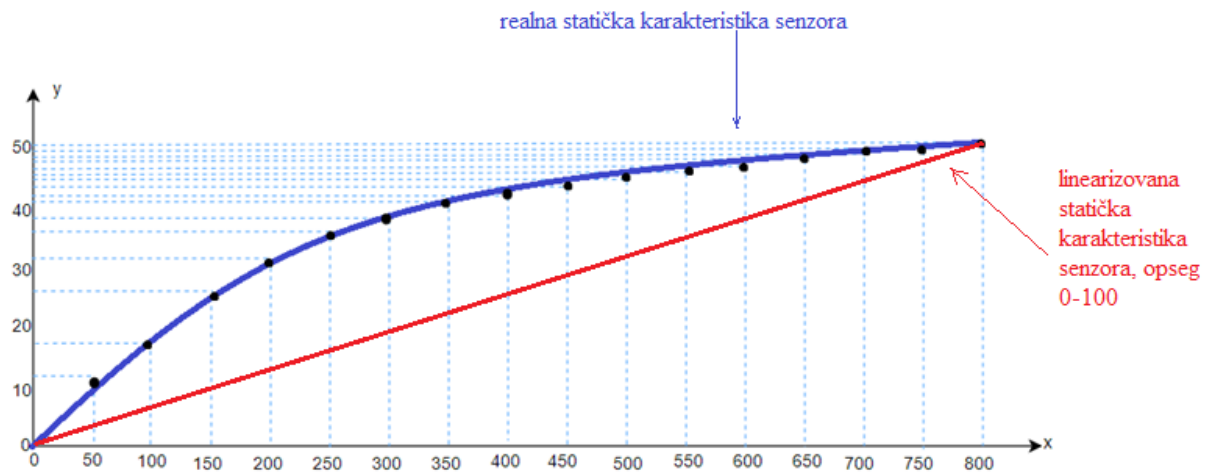
x	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
y	0	11.1	19.7	26.4	31.6	35.7	38.8	41.3	43.2	44.7	45.9	46.8	47.5	48.1	48.5	48.8	49.1



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

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

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



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

Funkcija linearizovane statičke karakteristike:

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

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

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

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

c) *Linearizovana statička karakteristika senzora za mjerenje u opsegu od 20 do 80% mjernog područja*

Postotak se računa na sljedeći način:

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

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

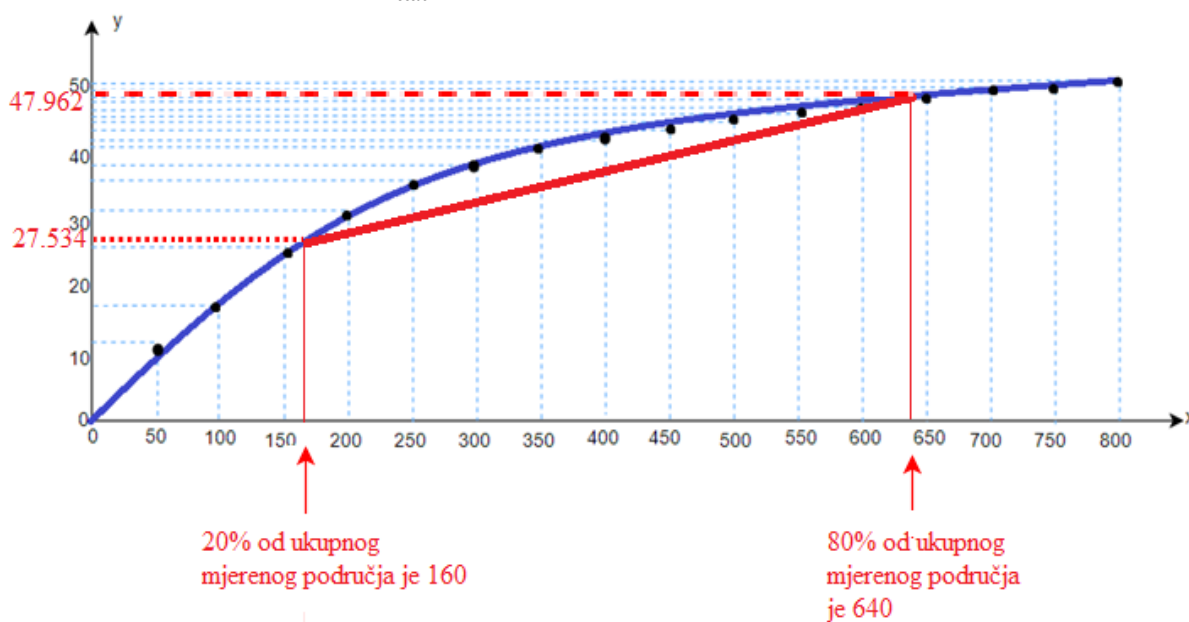
Nakon što su određene granice na x – osi u željenom opsegu, računa se izlaz prema tim vrijednostima na temelju početne zadane funkcije:

Početna (zadana) funkcija:

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

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

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



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:

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

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

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

$$y = K \cdot x + a = \mathbf{0.04256 \cdot x + 20.7244}$$

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.

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

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

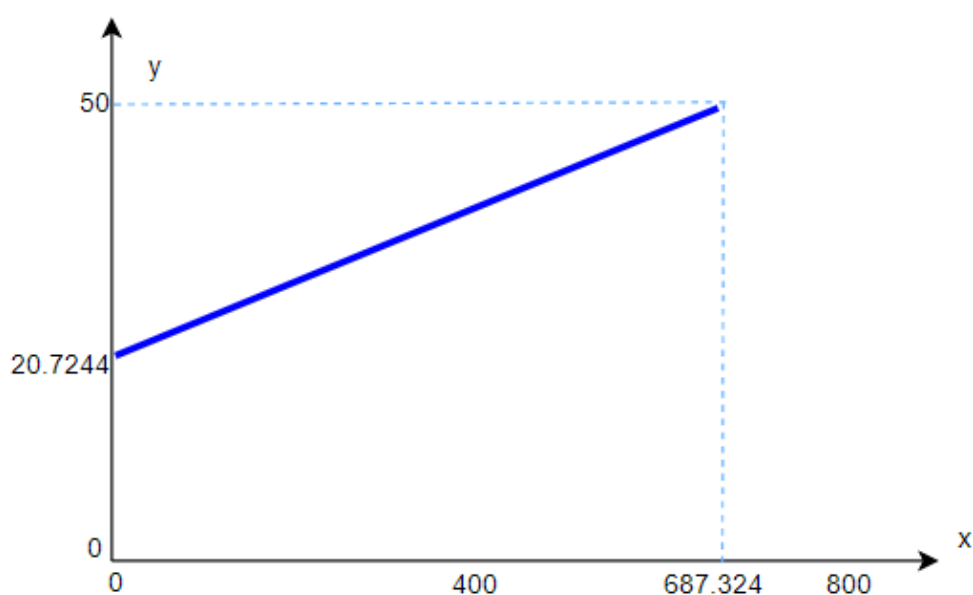
$$0.04256 \cdot x = y - 20.7244$$

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

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

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

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



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

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 :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

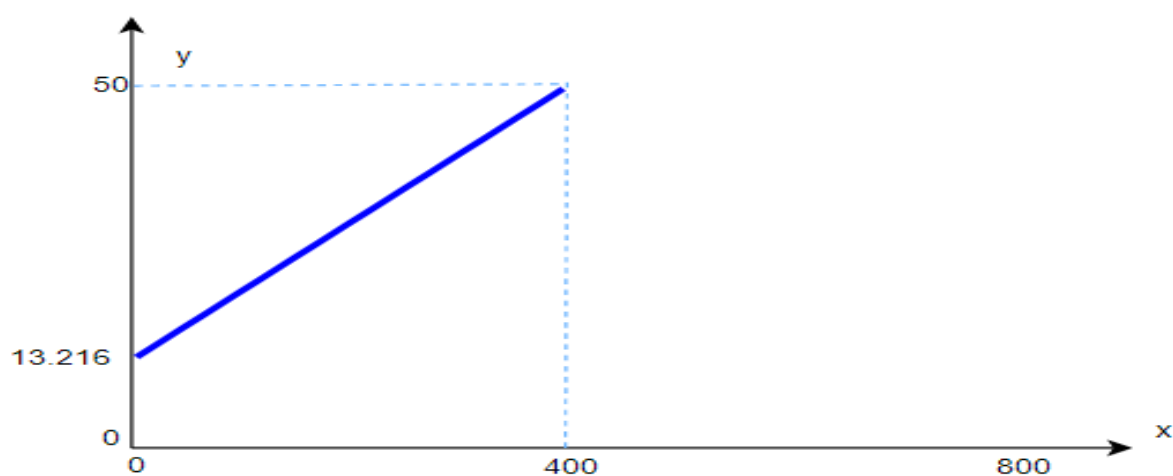
$$0.09197 \cdot x = y - 13.216$$

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

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

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

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

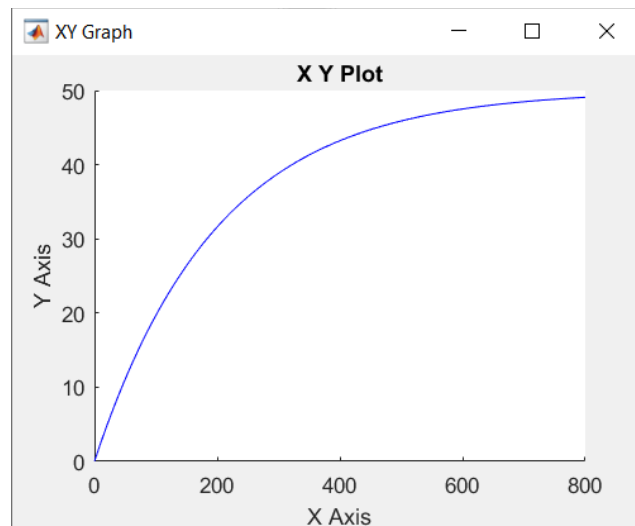


Slika 6. Linearizovana statička karakteristika u okolini $x=200$ (funkcija tangente)

Rad u laboratoriji (simulink):

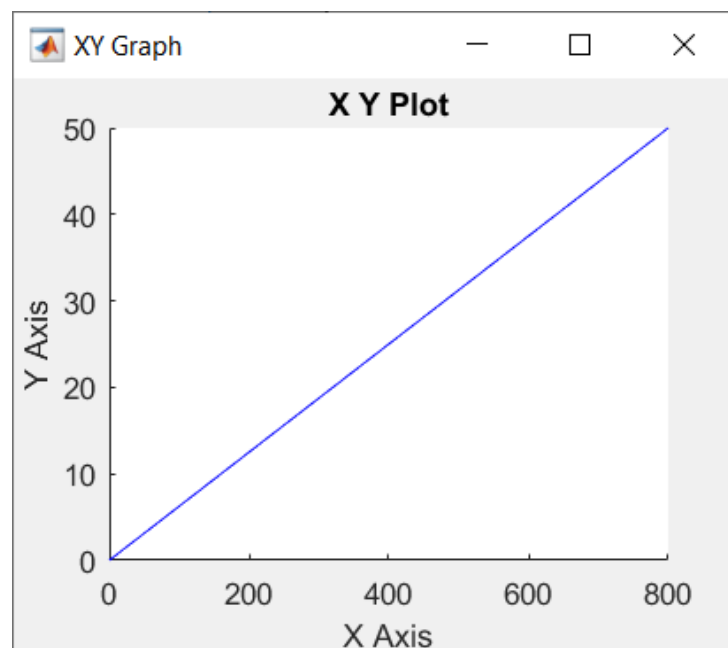
e) *Provjera rezultata u tačkama a), b), c) i d) simulacijom crtanja statičkih karakteristika u Matlab Simulinku*

a) **Provjera realne statičke karakteristike**



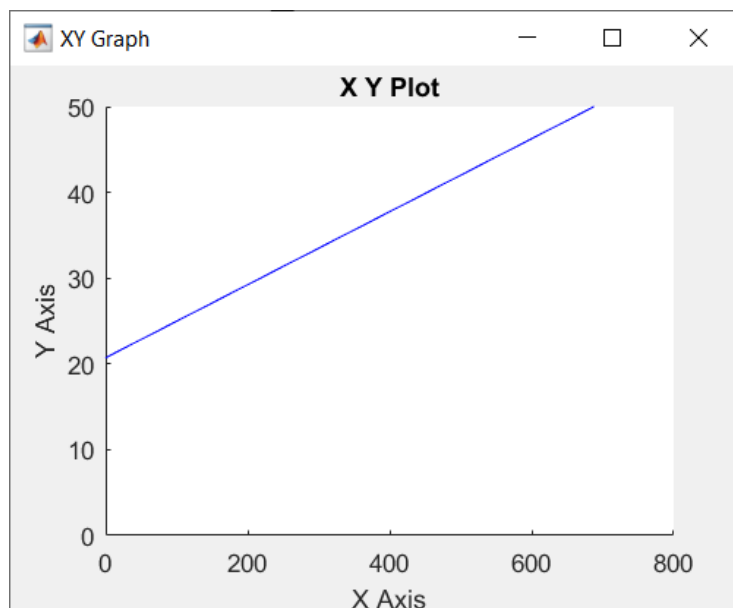
Slika 8. Iscrtana realna statička karakteristika senzora

b) **Provjera linearizovane statičke karakteristike u opsegu od 0 do 100% mjenenog područja**



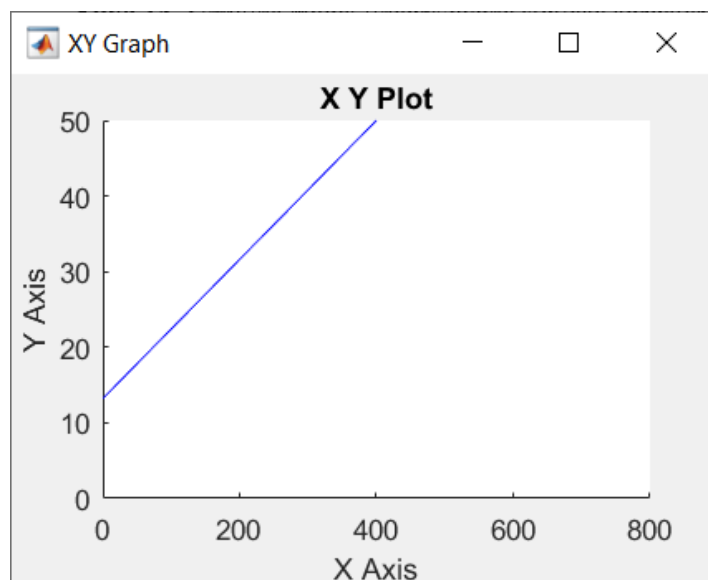
Slika 10. Iscrtana linearizovana statička karakteristika senzora (0-100%)

- c) **Provjera linearizovane statičke karakteristike u opsegu od 20 do 80% mjerene veličine**



Slika 12. Iscrtana linearizovana statička karakteristika senzora (20-80%)

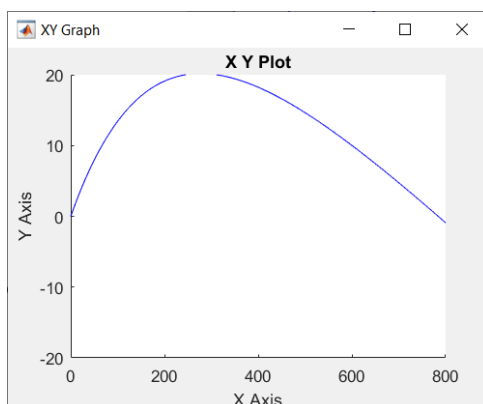
- d) **Provjera linearizovane statičke karakteristike u okolini $x=200$ mjerene veličine (funkcija tangente)**



Slika 15. Iscrtana linearizovana statička karakteristika u okolini $x=200$ (funkcija tangente)

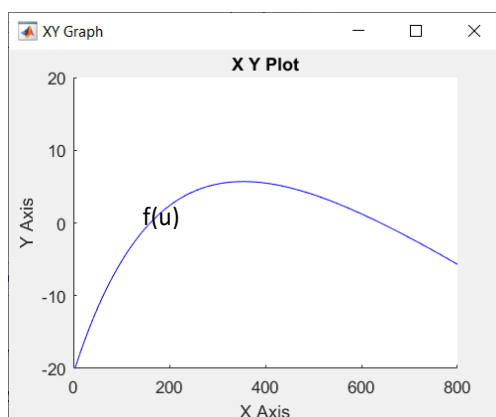
f) Simulacija mijenjanja greške u određivanju mjerene veličine ako se pretpostavi da je senzor linearizovan u skladu sa b), c) i d)

b) Greška u skladu sa linearizacijom u mjernom opsegu od 0 do 100%



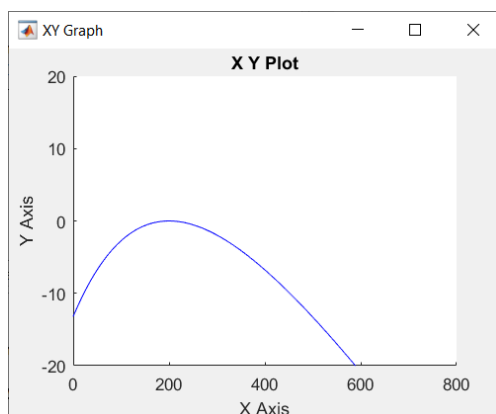
Slika 17. Iscrtana greška u skladu sa linearizacijom u opsegu 0-100%

c) Greška u skladu sa linearizacijom u mjernom opsegu od 20 do 80%



Slika 19. Iscrtana greška u skladu sa linearizacijom u opsegu 20-80%

d) Greška u skladu sa linearizacijom u okolini $x=200$ mjerene veličine



Slika 21. Iscrtana greška u skladu sa linearizacijom u okolini $x=200$ mjerene veličine

g) Analiza i objašnjenje dobijenih rezultata

Za razliku od prethodne dvije laboratorijske vježbe, ova laboratorijska vježba je drugačija iz razloga što je ovdje zadana funkcija nelinearna. Za nju je potrebno izvršiti prvo linearizaciju. Linearizacija se vršila u određenom opsegu za svaki dio zadatka, definisan specifikacijom. Tada se povuče ravna linija između dvije krajnje tačke, te se na jednostavan način dobiva funkcija. Matematički model za sve opcije ovog zadatka je dokazan radom u programskom paketu Matlab, tj. dokazana su ispravna rješenja dobivena analitičkim načinom računanja.