

UNIVERZITET U BIHAĆU
TEHNIČKI FAKULTET
BIHAĆ

AUTOMATSKO UPRAVLJANJE II

Auditorne/Laboratorijske vježbe

Linearizacija statičkih karakteristika senzora
(Vježba 11)

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

SPECIFIKACIJA

Linearizacija statičkih karakteristika senzora

Mjerno područje senzora je unipolarno $0 \div 800$. 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) *Odrediti inverznu statičku karakteristiku senzora.*
- b) *Skicirati statičku karakteristiku dobijenu pod a).*
- c) *Skicirati statičku karakteristiku senzora sa kompenzacijom pomoću inverzne funkcije.*
- d) *Definisati vrijednosti parova u nepotpunoj tabeli za linearizaciju statičke karakteristike senzora. Elemente nepotpune tabele formirati tako da se za karakteristične tačke uzmu parovi koji dogovaraju promjeni mjerene veličine od 0 do 800 sa korakom 100.*

Rad u laboratoriji

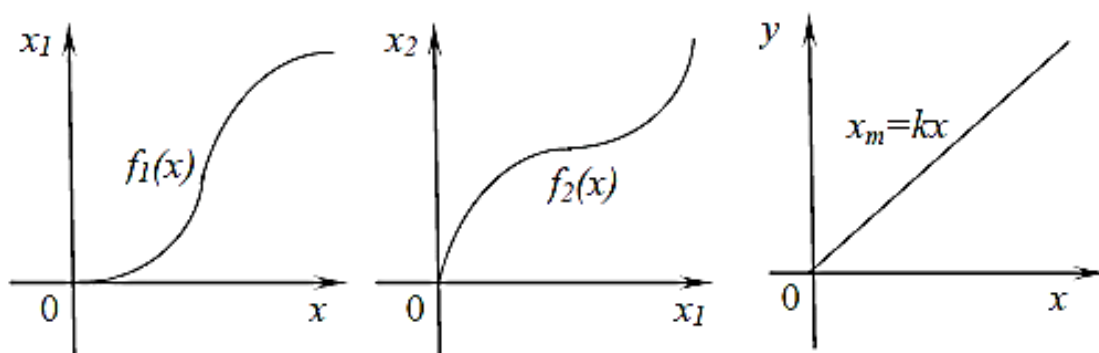
- e) *Rezultate u tačkama b), c), d) provjeriti crtanjem statičkih karakteristika u Matlab Simulinku*
- f) *Simulacijom u Matlab Simulinku nacrtati kako se mijenja izlaz senzora kompenzovanog pomoću inverzne nelinearnosti određene pod c), za promjenu mjerene veličine od 0 do 800.*
- g) *Simulacijom u Matlab Simulinku nacrtati kako se mijenja izlaz senzora kompenzovanog pomoću nepotpune tabele određene pod d), za promjenu mjerene veličine od 0 do 800.*
- h) *Simulacijom u Matlab Simulinku nacrtati kako se mijenja greška linearizovanog senzora u slučajevima pod f) i g).*
- i) *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 postocima 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 *linearizaciju statičkih karakteristika* senzora. Jedan od načina jeste korištenje *inverzne* statičke karakteristike senzora.

Za realizaciju inverzije kola u inženjerskoj praksi se obično koristi postupak gdje se snimi statička karakteristika senzora, te se na osnovu odstupanja stvarne statičke karakteristike od pravca usvajaju karakteristične tačke za koje treba da veza bude linearna. Pritom se usvajaju funkcije oblika $1/x$, x^m , $\log x$, *polinomi*, itd. Ukoliko je statička karakteristika izrazito nelinearna, onda se za linearizaciju koriste složena elektronska kola.



Slika 1. Linearizacija jedne statičke karakteristike senzora pomoću inverzne funkcije

a) *Inverzna statička karakteristika senzora*

Na temelju zadane funkcije traži se inverzna funkcija kroz nekoliko koraka matematičkog računa:

Zadana funkcija:

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

Postupak: zamijene se varijable x i y , te se izrazi $y(x)$:

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

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

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

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

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

$$e^{-0.005 \cdot y} = \frac{50-x}{50} \quad / \ln$$

$$\ln(e^{-0.005y}) = \ln\left(\frac{50-x}{50}\right)$$

$$-0.005 \cdot y = \ln\left(\frac{50-x}{50}\right)$$

$$y = -\frac{\ln\left(\frac{50-x}{50}\right)}{0.005}$$

$$y = f(x)^{-1} = -\frac{\ln\left(\frac{50-x}{50}\right)}{0.005}$$

b) Skicirana inverzna statička karakteristika uz pomoć funkcije dobivene pod a)

Pomoću dobivene funkcije nacrtat će se karakteristika računanjem vrijednosti izlaza za određenu vrijednost ulaza koje se uvrštavaju u dobivenu inverznu funkciju.

$$y = f(x)^{-1} = -\frac{\ln\left(\frac{50-x}{50}\right)}{0.005}$$

$$y(x=0) = -\frac{\ln\left(\frac{50-0}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-0}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(1)}{0.005} = \frac{0}{0.005} = 0$$

$$y(x=5) = -\frac{\ln\left(\frac{50-5}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-5}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{45}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.9)}{0.005} = \frac{0.1053}{0.005} = 21.1$$

$$y(x=10) = -\frac{\ln\left(\frac{50-10}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-10}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{40}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.8)}{0.005} = \frac{0.223}{0.005} = 44.6$$

$$y(x=15) = -\frac{\ln\left(\frac{50-15}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-15}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{35}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.7)}{0.005} = \frac{0.356}{0.005} = 71.3$$

$$y(x=20) = -\frac{\ln\left(\frac{50-20}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-20}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{30}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.6)}{0.005} = \frac{0.51}{0.005} = 102.2$$

$$y(x=25) = -\frac{\ln\left(\frac{50-25}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-25}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{25}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.625)}{0.005} = \frac{0.47}{0.005} = 138.6$$

$$y(x=30) = -\frac{\ln\left(\frac{50-30}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-30}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{20}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.4)}{0.005} = \frac{0.916}{0.005} = 183.3$$

$$y(x=35) = -\frac{\ln\left(\frac{50-35}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-35}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{15}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.3)}{0.005} = \frac{1.2}{0.005} = 240.8$$

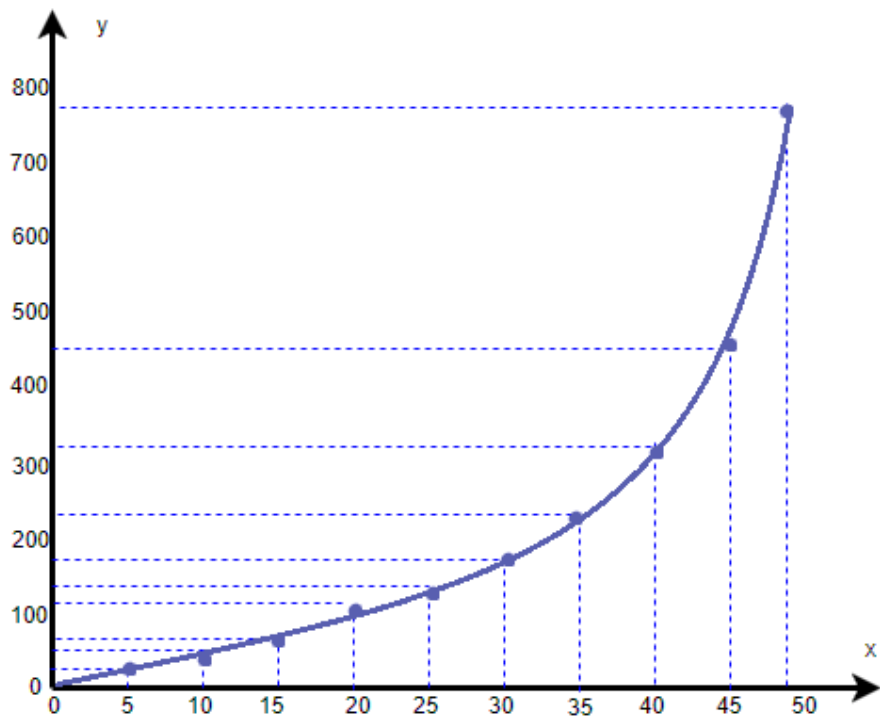
$$y(x=40) = -\frac{\ln\left(\frac{50-40}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-40}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{10}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.2)}{0.005} = \frac{1.609}{0.005} = 321.9$$

$$y(x=45) = -\frac{\ln\left(\frac{50-45}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-45}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{5}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.1)}{0.005} = \frac{2.302}{0.005} = 460.5$$

$$y(x=49) = -\frac{\ln\left(\frac{50-49}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{50-49}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln\left(\frac{1}{50}\right)}{0.005} = -\frac{\ln(0.02)}{0.005} = \frac{3.912}{0.005} = 782.4$$

Tabela 1. Računanje izlaznih vrijednosti na temelju ulaznih

x	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	49
y	0	21.1	44.6	71.3	102.2	138.6	183.3	240.8	321.9	460.5	782.4



Slika 2. Skicirana inverzna statička karakteristika senzora

Na Slici 2 data je inverzna statička karakteristika senzora.

c) *Statička karakteristika senzora sa kompenzacijom inverzne funkcije u opsegu 0-50*

Na osnovu dobivene vrijednosti x (od 0 do 50), i vrijednosti y (800), dobivena je sljedeća funkcija:

$$y = \frac{800}{50} \cdot x = 16 \cdot x$$

$$y(x = 0) = 16 \cdot x = 16 \cdot 0 = 0$$

$$y(x = 5) = 16 \cdot x = 16 \cdot 5 = 80$$

$$y(x = 10) = 16 \cdot x = 16 \cdot 10 = 160$$

$$y(x = 15) = 16 \cdot x = 16 \cdot 15 = 240$$

$$y(x = 20) = 16 \cdot x = 16 \cdot 20 = 320$$

$$y(x = 25) = 16 \cdot x = 16 \cdot 25 = 400$$

$$y(x = 30) = 16 \cdot x = 16 \cdot 30 = 480$$

$$y(x = 35) = 16 \cdot x = 16 \cdot 35 = 560$$

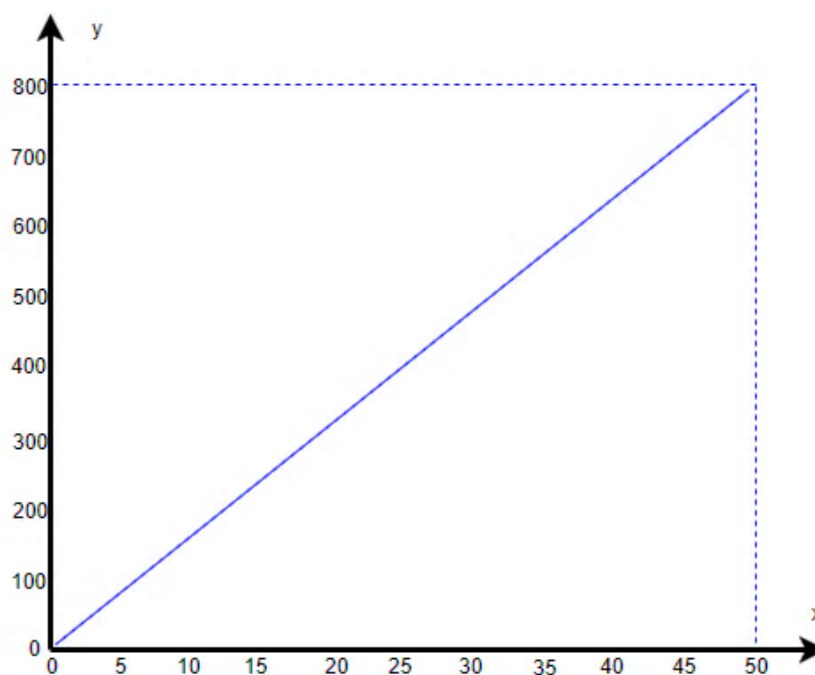
$$y(x = 40) = 16 \cdot x = 16 \cdot 40 = 640$$

$$y(x = 45) = 16 \cdot x = 16 \cdot 45 = 720$$

$$y(x = 50) = 16 \cdot x = 16 \cdot 50 = 800$$

Tabela 2. Računanje izlaznih vrijednosti na temelju ulaznih

x	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
y	0	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800



Slika 3. Statička karakteristika sa kompenzacijom inverzne funkcije u opsegu 0-50

d) *Definisanje vrijednosti nepotpune tabele sa korakom 100*

Koristi se *nepotpuna* tabela. Potrebno je elemente nepotpune tabele formirati tako da se za karakteristične tačke uzmu parovi koji dogovaraju promjeni mjerene veličine od 0 do 800 sa korakom 100. Tabela se formira od manjeg broja mjernih podataka, za razliku od potpune tabele gdje se za svaku izlaznu vrijednost senzora iz tabele pročita njoj pridružena ulazna vrijednost, a to zahtjeva velik kapacitet memorije.

Kod *nepotpune* tabele vrijednosti mjerene veličine se dobivaju kombinacijom tabele i interpolacije. Za dobivenu vrijednost informacionog signala pronalaze se u tabeli prva veća i prva manja vrijednost $y_i < y < y_{i+1}$ i njima pripadajuće vrijednosti mjerene veličine x_i, x_{i+1} . Vrijednost mjerene veličine se sada određuje linearnom interpolacijom prema izrazu:

$$x = x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i}(y - y_i)$$

$$x_1(x, y = 0) = x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i}(y - y_i) = -1 + \frac{1 - (-1)}{1 - (-1)}(0 - (-1)) = -1 + 1 * 1 = 0$$

$$x_1(x = 19.67, y = 100) = 18.67 + \frac{20.67 - 18.67}{101 - 99}(100 - 99) = 18.67 + \frac{2}{2}(1) = 19.67$$

$$x_2(x = 31.61, y = 200) = 30.61 + \frac{32.61 - 30.61}{201 - 199}(200 - 199) = 30.61 + \frac{2}{2}(1) = 31.61$$

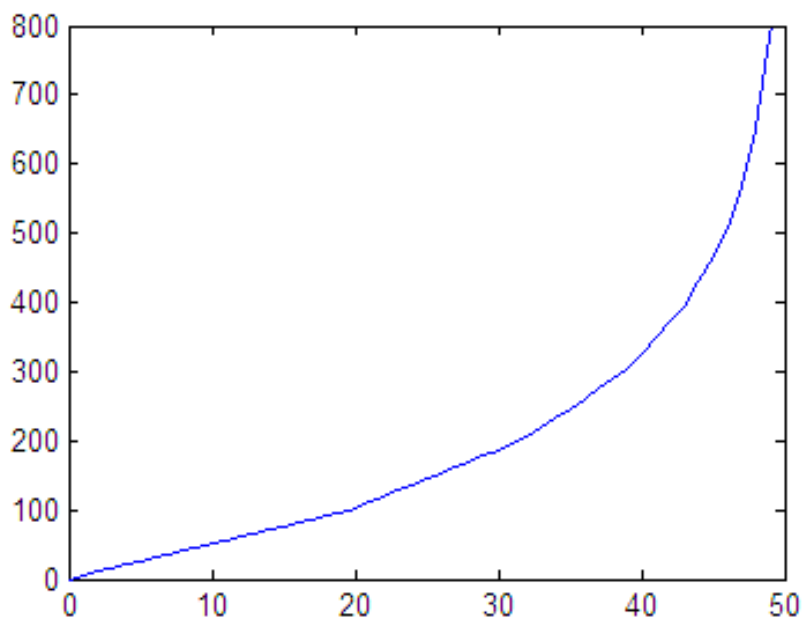
$$x_3(x = 38.84, y = 300) = 37.84 + \frac{39.84 - 37.84}{301 - 299}(300 - 299) = 37.84 + \frac{2}{2}(1) = 38.84$$

·
·
·

$$x_9(x = 49.08, y = 800) = 48.08 + \frac{50.08 - 48.08}{801 - 799}(800 - 799) = 48.08 + \frac{2}{2}(1) = 49.08$$

Tabela 3. Vrijednost nepotpune tabele sa korakom 100

x	0	19.67	31.61	38.84	43.23	45.9	47.51	48.49	49.08
y	0	100	200	300	400	500	600	700	800

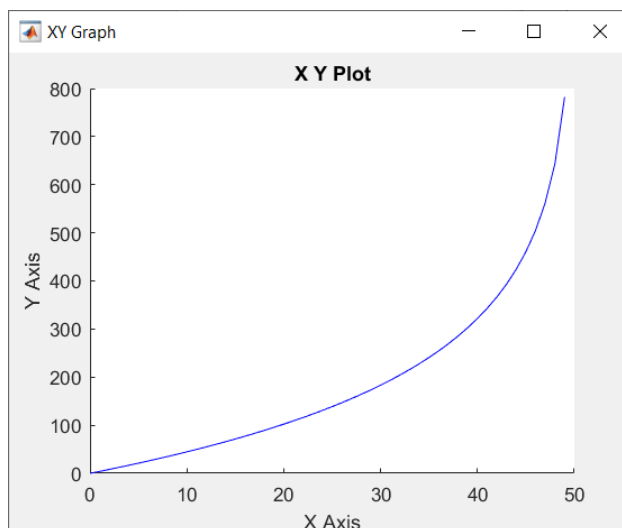


Slika 4. Statička karakteristika nepotpune tabele sa korakom 100

Rad u laboratoriji (Matlab Simulink)

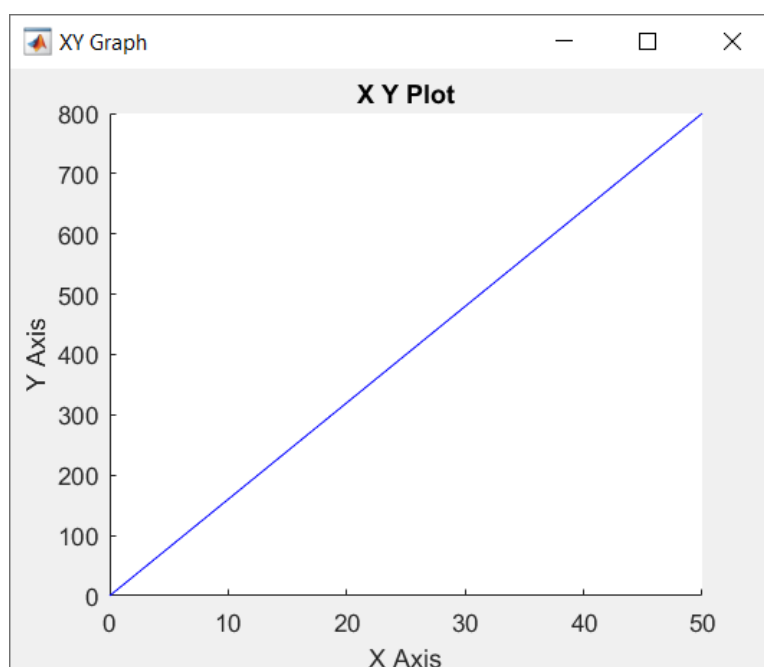
e) Provjera rezultata u tačkama b), c), d) simulacijom crtanja statičkih karakteristika u Simulinku

b) Provjera skice inverzne statičke karakteristike



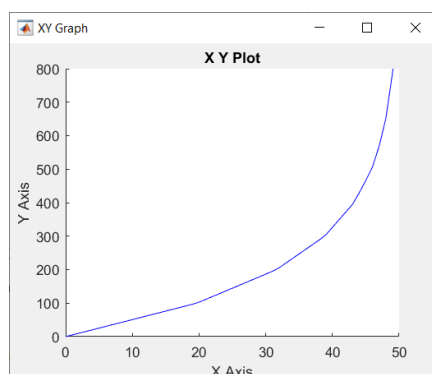
Slika 5. Iscrtana inverzna statička karakteristika senzora

c) Kompenzacija inverzne funkcije (opseg 0-50 mjerene veličine)



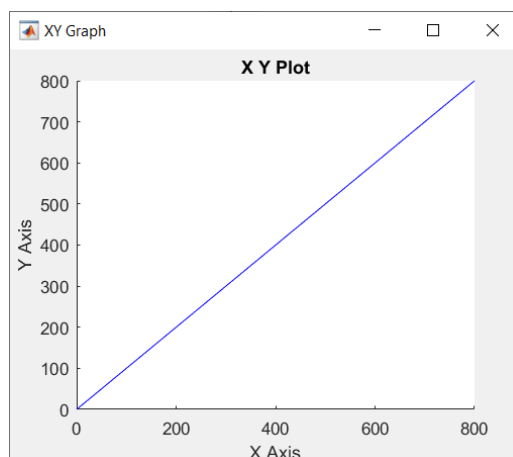
Slika 6. Iscrtana linearizovana statička karakteristika senzora za kompenzaciju inverzne funkcije

d) Nepotpuna tabela



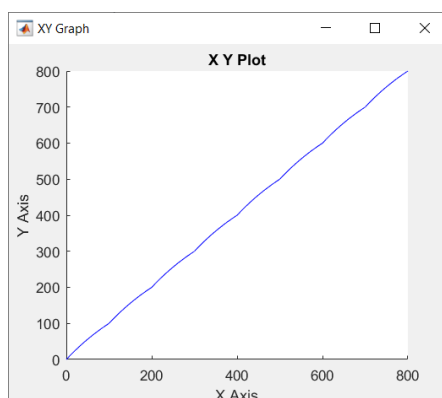
Slika 7. Iscrtana funkcija s nepotpunom tabelom

- f) Simulacija kako se mijenja izlaz senzora kompenzovanog pomoću inverzne nelinearnosti određene pod c), za promjenu mjerene veličine od 0 do 800.



Slika 8. Iscrtana kompenzovana inverzna funkcija u opsegu 0 -800

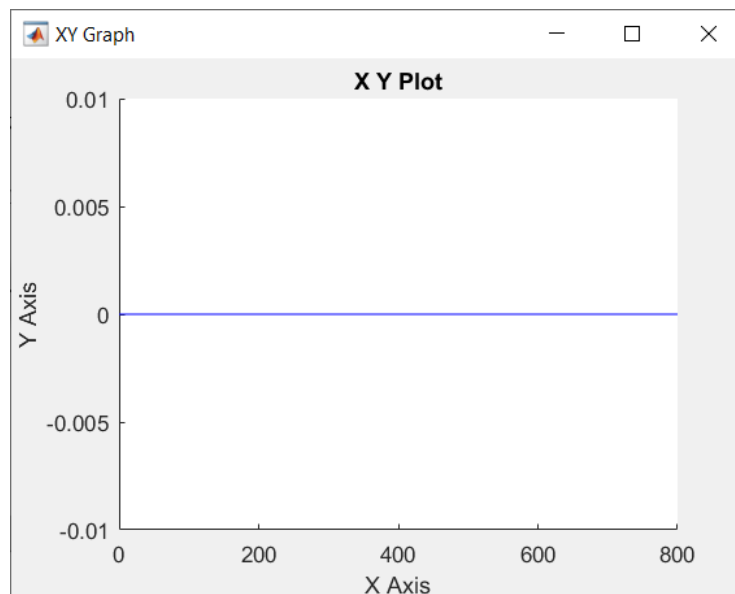
- g) Simulacija kako se mijenja izlaz senzora kompenzovanog pomoću nepotpune tabele određene pod d), za promjenu mjerene veličine od 0 do 800.



Slika 9. Iscrtana st. karakteristika za kompenzovanu inverznu funkciju pomoću nepotpune tabele u opsegu 0-800

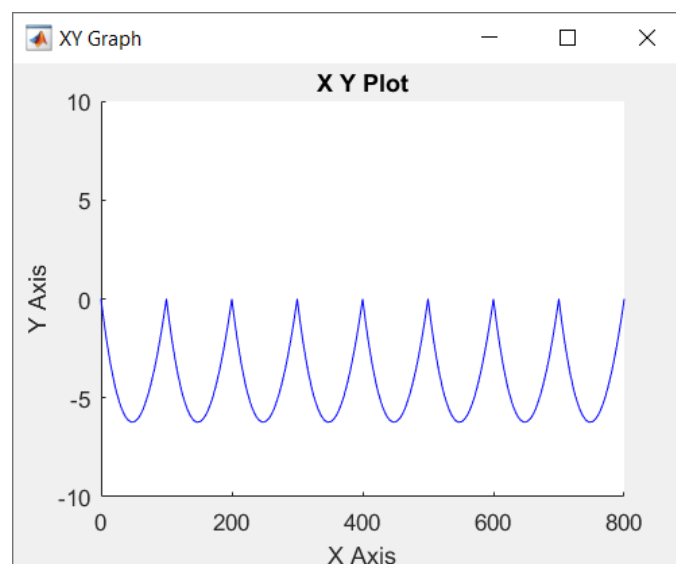
h) Simulacijom mijenjanja greške linearizovanog senzora u slučajevima pod f) i g).

f) Sa inverznom funkcijom



Slika 10. Iscrтана greška uz inverznu funkciju

g) Sa nepotpunom funkcijom



Slika 11. Iscrтана greška uz nepotpunu tabelu

i) Analiza i objašnjenje dobijenih rezultata

Ova laboratorijska vježba također sadrži nelinearnu funkciju, međutim ovdje je bilo potrebno napraviti inverznu funkciju od zadane funkcije. Taj se dio zadatka vrlo lagano rješava uz par matematičkih pravila. Nakon toga je izvršeno skiciranje inverzne funkcije i uz pomoć nepotpune tabele, ali je skicirana i njena idealna karakteristika. Sva rješenja i sva zaključivanja u matematičkom modelu dokazana su korištenjem Matlab/Simulinka.