

Univerzitet u Sarajevu
Elektrotehnički fakultet

Snimanje statičke karakteristike IR senzora udaljenosti

Praktikum automatike i informatike

Studenti:

Tarik Krivošija(18584)

Tarik Hasić (18213)

Sažetak rada

U ovom projektu ćemo prezentovati osnovne karakteristike i način rada IR senzora udaljenosti. Cilj ovog rada je da prikaže na koji način se može koristiti ovaj senzor, gdje su njegove najčešće primjene te prikaz njegovog stvarnog djelovanja u odnosu na onaj koji se nalazi u katalogu. Također, cilj je prilagoditi senzor za krajnjeg korisnika, što će biti učinjeno softverski pomoću alata Matlab® i Labview®. Biće izvedeni zaključci koji će pomoći čitaocu da sam procijeni da li ovaj senzor ispunjava njegove zahtjeve.

Abstract

In this project we will present some basic characteristics and mode of operation of IR distance sensor. The aim of this work is to show how this sensor can be used, where his most often application is and representation of his actual work in comparison with the one found in the catalog. Also, the goal is to suit sensor for end-user, which will be done through software using Matlab® and Labview® tools. We will draw conclusions that will help reader to judge for himself whether this sensor will meet its requirements.

Sadržaj rada

1 Uvod.....	4
1.1 Opis problema.....	4
1.2 Pregled literature.....	6
1.3 Moguće aplikacije u praksi.....	7
2 Organizacija vježbe.....	8
2.1 Segmenti vježbe	8
2.2 Sheme spajanja	8
3. Korišteni algoritam/alat.....	10
3.1 Opis problema.....	10
3.2.Svođenje opisanog problema u formu korištenog algoritma.....	13
4. Simulacijski rezultati	17
4.1. Postavka simulacija	17
4.2 Rezultati simulacija	18
4.3 Zaključak	19
5. Zaključak i diskusija	19
6. Reference	20

1 Uvod

1.1 Opis problema

Cilj ovog projektnog zadatka je da opiše način rada i upotrebe IR senzora udaljenosti. Ovaj senzor se koristi za mjerenje udaljenosti nekog objekta.

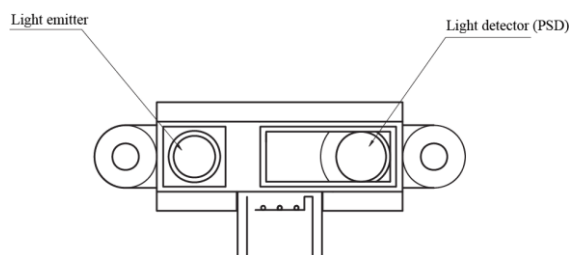
Senzor je sastavljen od:

- Senzora za detekciju položaja (PSD - *position sensitive detector*)
- IRED-a (infrared emitting diode)
- Sklopa za obradu signala



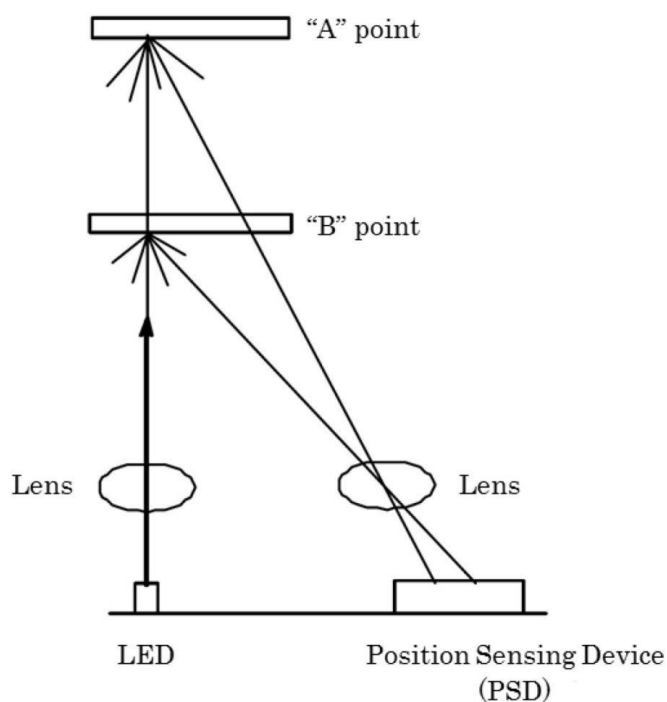
Slika 1.1 IR senzor udaljenosti

IR senzor udaljenosti koristi zrake infracrvenog svjetla za mjerenje udaljenosti predmeta od senzora. Udaljenost se izračunava koristeći princip triangulacije zraka svjetlosti. Senzor se sastoji od IR LED-a i detektora svjetlosti ili PSD-*Position Sensing Device*. Kada se zraka odbije od predmeta, reflektovana zraka će stići do detektora svjetlosti i na PSD-u će se formirati 'optička tačka'.



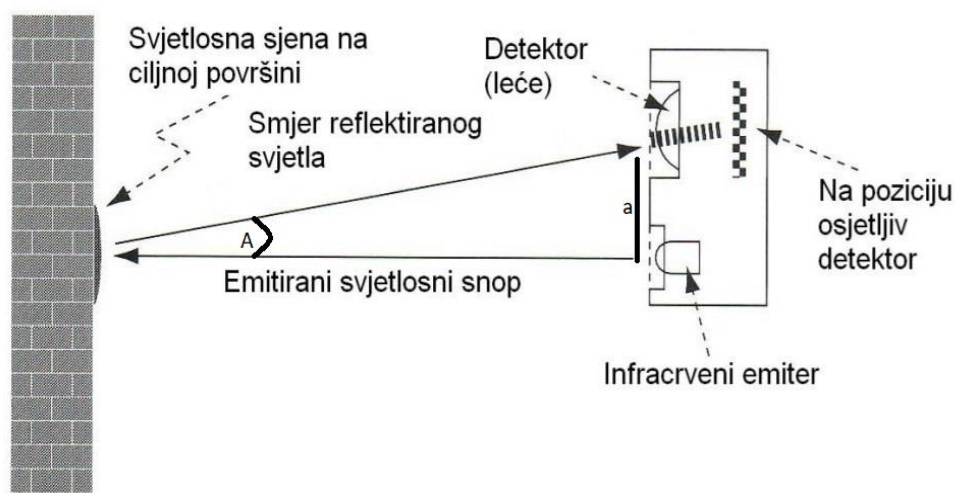
Slika 1.2 struktura senzora

Kada se promijeni položaj predmeta, mijenja se i ugao reflektovane zrake te se promijeni i položaj tačke na PSD-u. Prethodno opisanu promjenu položaja predmeta možemo vidjeti najbolje sa slike (Slika 1.3).



Slika 1.3 Promjena ugla reflektovane zrake i položaja 'optičke tačke' na PSD-u

Senzor ima ugrađen sklop za obradu signala. Ovaj sklop obrađuje položaj optičke tačke na PSD-u kako bi odredio položaj odnosno udaljenost reflektirajućeg objekta. Senzor emitira analogni signal koji ovisi od položaja objekta ispred senzora.



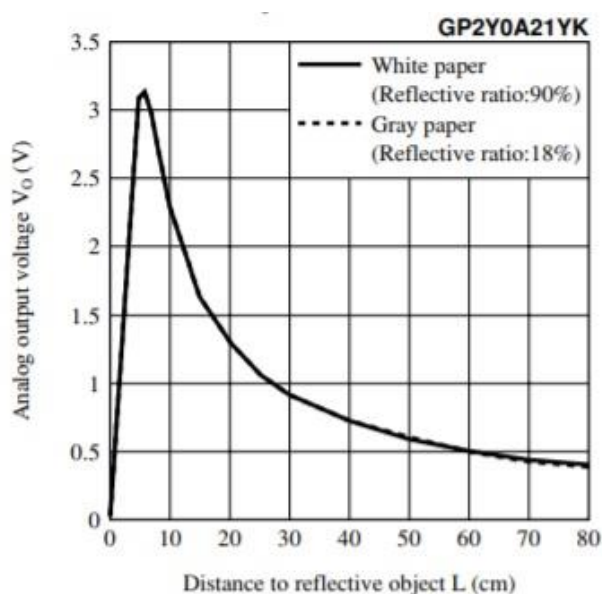
Slika 1.4 Princip rada IR senzora udalje [1]

Na osnovu ugla i udaljenosti između detektora i IRED-a, udaljenost se računa:

$$d = \frac{a}{\tan A}$$

IR senzor udaljenosti kao izlazni signal daje napon, vrijednost napona zavisi od udaljenosti senzora od posmatranog predmeta. Vrijednost izlaza je obrnuto proporcionalna ulazu, što znači da se povećanjem udaljenosti senzora od predmeta napon smanjuje.

Kao i svi infracrveni senzori udaljenosti tako i ovaj senzor ima svoj opseg mjerenja. Opseg ovog senzora je od 10 do 80 cm. Ispod 10 cm senzor je nepouzdan, dok udaljenosti preko 80 cm ne može registrovati tj. vrijednost napona ostaje nepromijenjena ili ostaje približno ista. Do ovog dolazi zbog nemogućnosti PSD-a da registrira male promjene lokacije gdje su se zrake reflektovale. Zbog karakteristika senzora proizvođač daje u katalogu senzora karakteristiku senzora koju ćemo prikazati na slici (slika 1.5).



Slika 1.5 Karakteristika senzora [2]

1.2 Pregled literature

Za izradu projektnog zadatka koristili smo sljedeću literaturu:

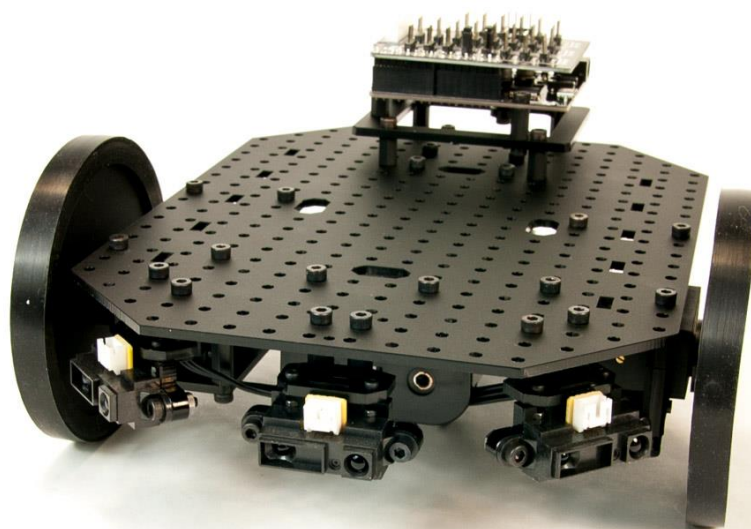
- Samim Konjicija, Skripta *Praktikum automatike i informatike*, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, januar 2007. godine
- Lamija Vuković, Amina Šljivo, Seminarski rad *Snimanje statičke karakteristike IR senzora udaljenosti*, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, maj 2013. godine
- Faris Hajdarpašić, Nadža Memić, Seminarski rad *Snimanje statičke karakteristike IR senzora udaljenosti*, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, maj 2019. godine
- Zlatan Tucaković, Laboratorijska vježba br. 2 *Statička karakteristika infracrvenog senzora udaljenosti*, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Akademski 2019/2020. godina

1.3 Moguće aplikacije u praksi

Jako česta primjena IR senzora je u alarmnim sistemima. IR senzor može detektovati kretanje toplog tijela na način da otkriva promjene u količinama infracrvenog zračenja prema njemu, pa kada objekat odnosno osoba prođe ispred senzora, temperatura u vidnom polju senzora raste iz sobne temperature na tjelesnu temperaturu, a zatim ponovno nazad. Senzor pretvara rezultujuću promjenu dolaznog infracrvenog zračenja u promjenu izlaznog napona i to pokreće alarm.

Još neke od aplikacija u kojima se koristi senzor:

- Beskontaktni prekidač
- Robot čistač
- Automobilska industrija
- TV, kompjuteri, laptopi
- Senzori za štednju energije
- Industrijska automatizacija i kontrola
- Uređaji za zabavu (arkadne igre, roboti ...)



Slika 1.6 Primjena senzora

U nastavku ćemo navesti neke prednosti i mane ovog senzora.

Prednosti :

- udaljenost se može mjeriti u mračnim prostorijama
- kompatibilan sa digitalnim krugovima
- pouzdan
- precizan
- malo vrijeme odziva (38 ± 10 ms)

Mane :

- mjeri samo male udaljenosti (10-80cm)
- izlazni napon zavisi od boje predmeta (to nekad može biti i prednost)
- podložan vanjskom uticaju

2 Organizacija vježbe

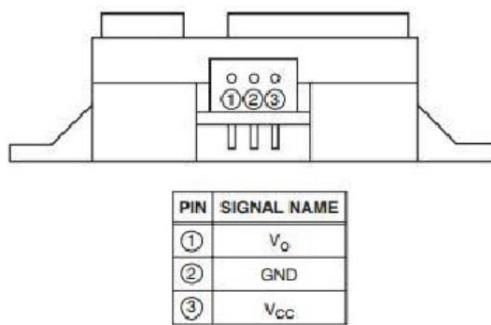
2.1 Segmenti vježbe

Zbog trenutne situacije nismo imali pristup laboratoriji te nismo mogli izvršiti kalibraciju senzora u laboratoriji. Umjesto da mi to uradimo dobili smo mjerenja od neke od prethodnih generacija. Izvršeno je uzlazno i silazno mjerenje sa korakom od 1 cm na razmaku od 1 do 100 cm. Sva mjerenja su prikazana u tabeli (Tabela 3.1).

2.2 Sheme spajanja

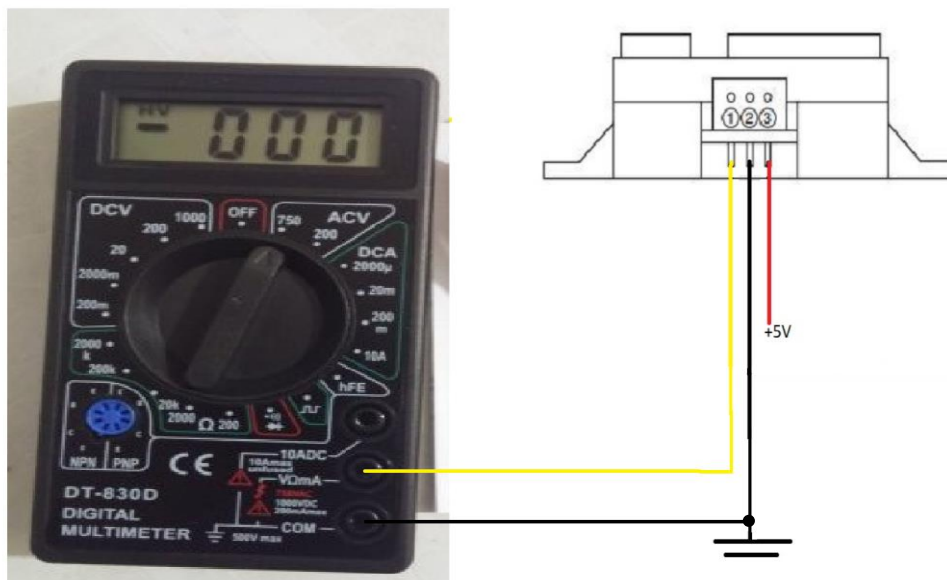
Za ovaj senzor imamo dvije sheme. Prvu koristimo za manuelno snimanje karakteristike senzora (Slika 2.2). Potrebna oprema za ovu shemu je voltmetar, izvor napajanja i senzor. Druga shema je spajanje IR senzora sa MCC akvizicijskom karticom (Slika 2.3). Ona će nam trebati za pravljenje GUI-a. Potrebna oprema za ovu shemu je izvor napajanja, MCC kartica i senzor.

Senzor ima tri izvoda što je i prikazano na slici (Slika 2.1).



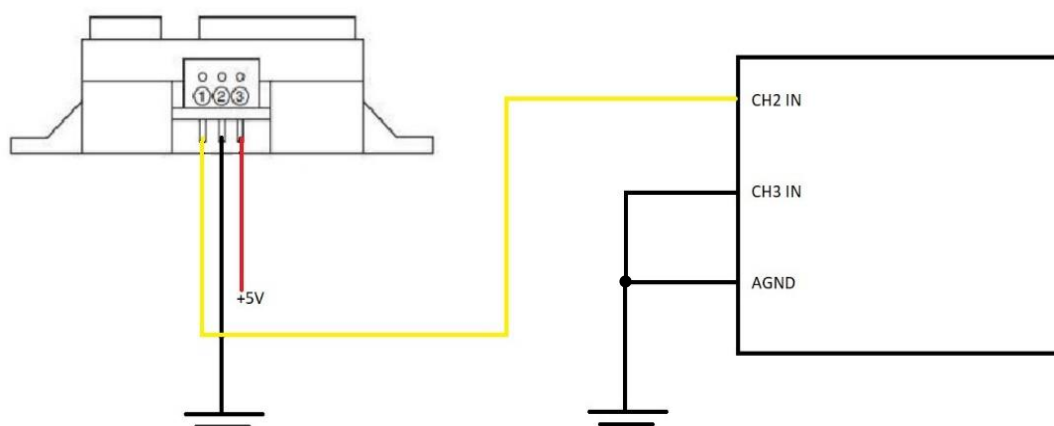
Slika 2.1 Kontakti senzora [3]

Shema spajanja senzora sa voltmetrom:



Slika 2.2 Shema spajanja sa voltmetrom [4]

Shema spajanja sa MCC akvizicijskom karticom:



Slika 2.3 Shema spajanja sa MCC [4]

3. Korišteni algoritam/alat

3.1 Opis problema

U ovom poglavlju će biti opisan postupak pronalaženja i linearizacije statičke karakteristike.

Često imamo zahtjev da izlazna veličina bude linearno zavisna od ulazne. U tom slučaju potrebno je linearizirati statičku karakteristiku i to na način da odstupanje stvarne i linearizirane karakteristike bude što manje. Dosad smo se upoznali sa 2 postupka linearizacije statičke karakteristike :

Prvi je da provučemo idealni pravac kroz dvije fiksirane tačke koje predstavljaju početak i kraj segmenta ili početak i kraj karakteristike. Dobivamo dvije jednačine $y_1=kx_1+n$ i $y_2=kx_2+n$ odakle određujemo koeficijente k i n . Ovaj postupak je dobar ako nema nekih skokovitih promjena na karakteristici.

Drugi je metoda najmanjih kvadrata koja je dosta tačnija od prve metode iz razloga što kod ove metode u određivanju pravca figuriše više tačaka dok kod prve metode figurišu samo dvije. Pretpostavi se pravac $y = ax+b$. Neka jedna tačka(mjerenje) ima koordinate (x_k, y_k) i pretpostavimo da imamo n tačaka. Greška se računa prema formuli $g = y_k - (ax+b)$. Prava će biti najbolja kada je suma kvadrata grešaka minimalna. Ovu metodu ćemo koristiti kod linearizacije našeg senzora te ćemo podrazumijevati da je ulazna veličina (napon) mnogo preciznije mjerena od izlazne veličine (udaljenost).

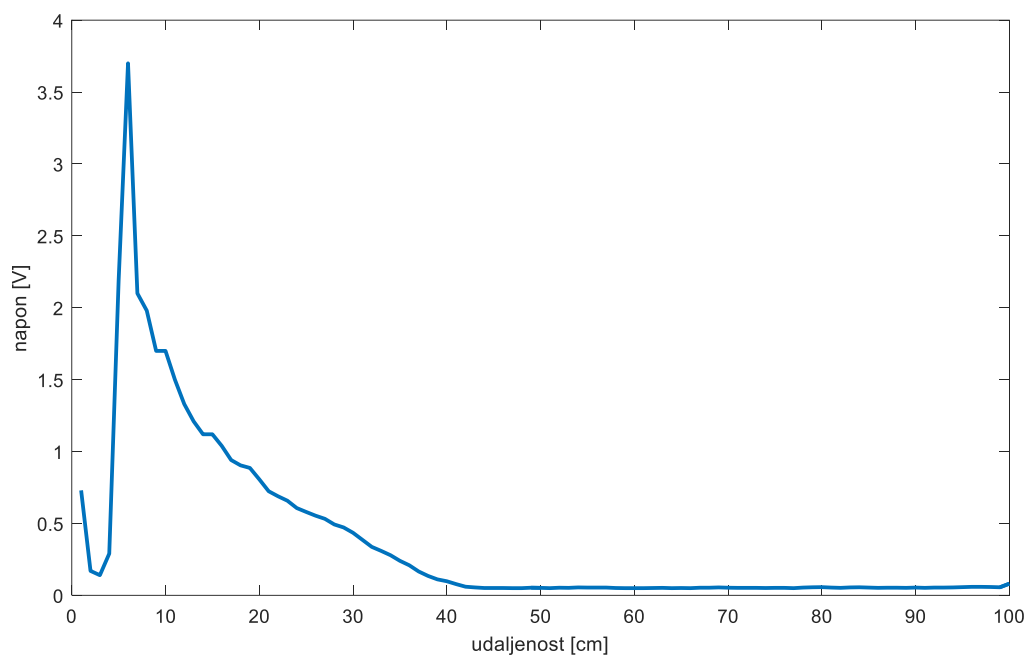
Posmatrat ćemo dio karakteristike gdje napon opada sa porastom udaljenosti, odnosno posmatrat ćemo udaljenosti u opsegu [7cm - 44cm] jer tada senzor radi korektno. Istina ovaj senzor ima opseg rada [10 – 80cm] ali zbog nesavršenosti mjerenja i senzora smo odbacili tačke koje znatno odstupaju. U tabeli 3.1 su prikazana eksperimentalno dobijena mjerenja. Iz tabele

dobivamo dijagram na slici 3.2 koji predstavlja radnu karakteristiku senzora kada se udaljenost objekta od kojeg se odbijaju zrake mijenjala od 1 do 100 cm. Dijagram na slici 3.3 predstavlja radnu karakteristiku senzora kada se udaljenost objekta mijenjala od 100 do 1 cm. Dijagram na slici 3.2 izgleda mnogo prirodnije i mnogo više liči na stvarnu radnu karakteristiku IR senzora. Također u drugom slučaju imamo i pojavu histereze, pa ćemo za potrebe zadaće i projekta koristiti samo dijagram sa slike 3.2. Prvo je potrebno naći radnu karakteristiku, odbaciti vrijednosti koje odstupaju, zatim od te funkcije naći inverznu funkciju koja će predstavljati statičku karakteristiku senzora te je zatim linearizirati.

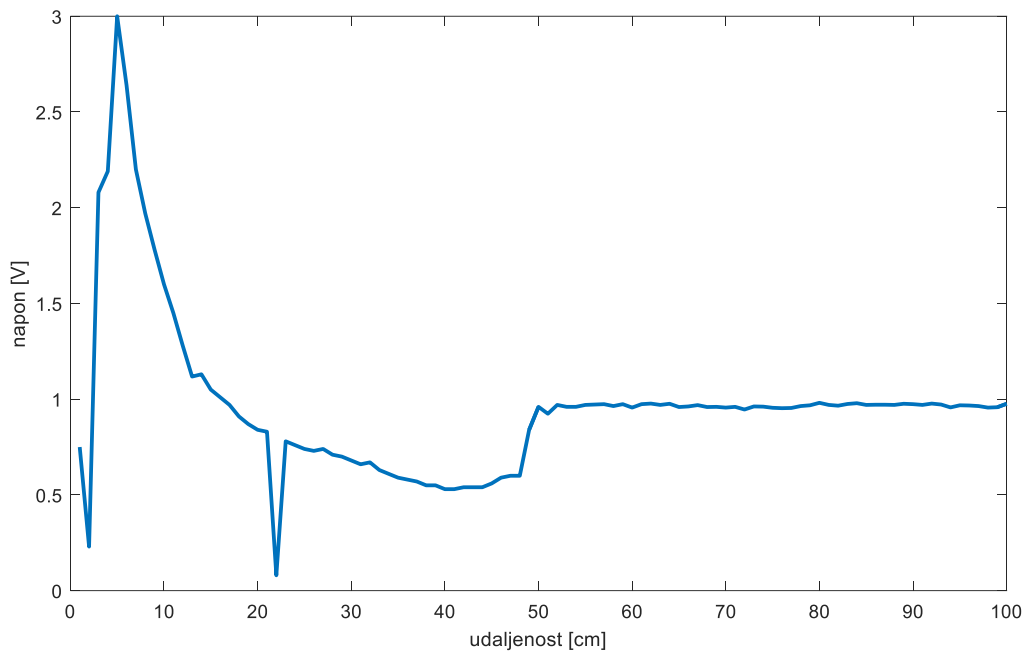
Udaljenost [cm]	Rastuće pomjeranje od 1-100 [cm]	Opadajuće Mjerenje 100-1 [cm]	Udaljenost [cm]	Rastuće pomjeranje od 1-100 [cm]	Opadajuće Mjerenje 100-1 [cm]
1	0.7300	0.7500	51	0.0500	0.9240
2	0.1700	0.2300	52	0.0530	0.9700
3	0.1400	2.0800	53	0.0520	0.9600
4	0.2900	2.1900	54	0.0550	0.9600
5	2.1900	3.0000	55	0.0540	0.9700
6	3.7000	2.6400	56	0.0540	0.9720
7	2.1000	2.2000	57	0.0540	0.9740
8	1.9800	1.9700	58	0.0510	0.9640
9	1.7000	1.7800	59	0.0500	0.9740
10	1.7000	1.6000	60	0.0500	0.9560
11	1.5000	1.4500	61	0.0500	0.9740
12	1.3300	1.2800	62	0.0510	0.9770
13	1.2100	1.1180	63	0.0520	0.9700
14	1.1200	1.1300	64	0.0500	0.9760
15	1.1200	1.0500	65	0.0510	0.9590
16	1.0390	1.0100	66	0.0500	0.9620
17	0.9410	0.9700	67	0.0530	0.9690
18	0.9040	0.9100	68	0.0530	0.9590
19	0.8860	0.8700	69	0.0550	0.9600
20	0.8070	0.8400	70	0.0530	0.9560
21	0.7240	0.8300	71	0.0520	0.9600
22	0.6890	0.0800	72	0.0520	0.9460
23	0.6580	0.7800	73	0.0520	0.9620
24	0.6070	0.7600	74	0.0510	0.9610
25	0.5800	0.7400	75	0.0520	0.9550
26	0.5540	0.7300	76	0.0520	0.9530
27	0.5320	0.7400	77	0.0500	0.9540
28	0.4930	0.7100	78	0.0540	0.9640
29	0.4720	0.7000	79	0.0560	0.9680
30	0.4350	0.6800	80	0.0570	0.9810
31	0.3860	0.6600	81	0.0540	0.9700
32	0.3370	0.6700	82	0.0520	0.9660
33	0.3090	0.6300	83	0.0550	0.9750
34	0.2790	0.6100	84	0.0560	0.9790
35	0.2400	0.5900	85	0.0540	0.9700
36	0.2090	0.5800	86	0.0520	0.9710

37	0.1660	0.5700	87	0.0530	0.9710
38	0.1350	0.5500	88	0.0530	0.9700
39	0.1110	0.5500	89	0.0520	0.9760
40	0.0980	0.5300	90	0.0540	0.9740
41	0.0780	0.5300	91	0.0520	0.9700
42	0.0600	0.5400	92	0.0540	0.9770
43	0.0550	0.5400	93	0.0540	0.9720
44	0.0510	0.5400	94	0.0550	0.9570
45	0.0510	0.5600	95	0.0570	0.9680
46	0.0510	0.5900	96	0.0590	0.9670
47	0.0500	0.6000	97	0.0590	0.9640
48	0.0500	0.6000	98	0.0580	0.9560
49	0.0530	0.8400	99	0.0560	0.9580
50	0.0520	0.9600	100	0.0810	0.9760

Tabela 3.1 Mjerenja udaljenosti



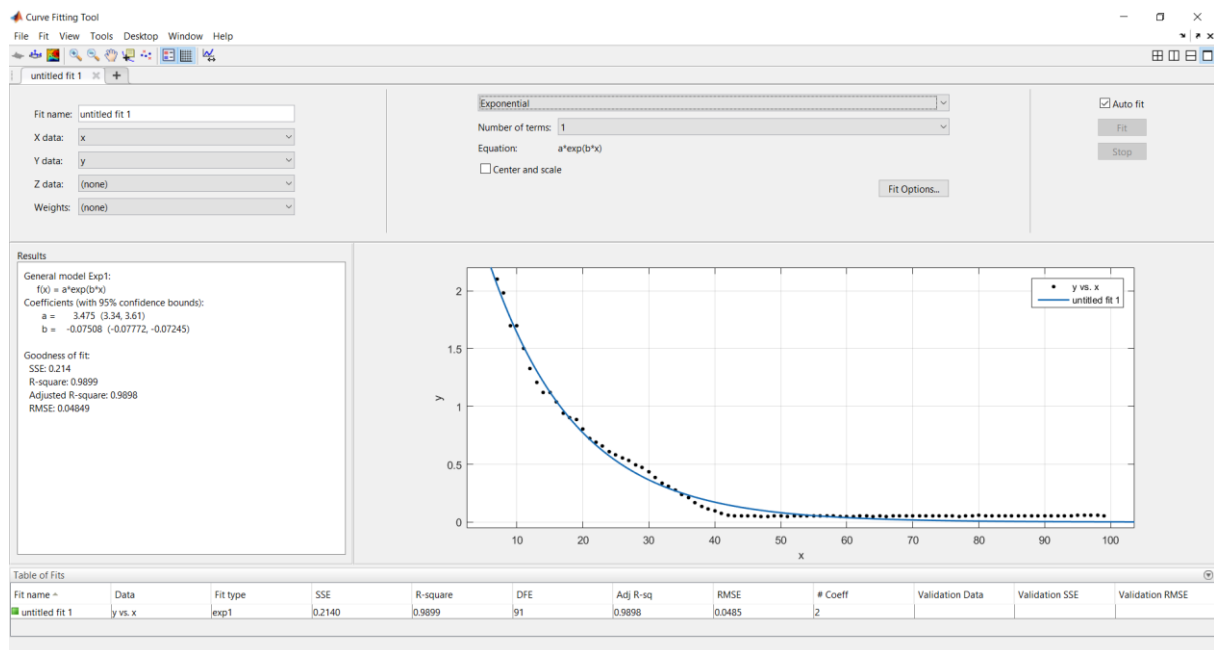
Slika 3.2 Rastuće mjerenje



Slika 3.3 Opadajuće mjerenje

3.2.Svođenje opisanog problema u formu korištenog algoritma

Linearizaciju i odabir statičke karakteristike ćemo vršiti pomoću programskog okruženja Matlab[®]. Dobivene vrijednosti smo unijeli u workspace te pomoću cftool odabiremo najbolju krivu za našu karakteristiku. U ovom slučaju to je : $y = a * e^{b*x}$. Vidimo na slici 3.4 da je podudarnost velika. Koeficijenti su $a = 3.475$; $b = -0.07508$. Y predstavlja napon u voltima, x predstavlja udaljenost u centimetrima. Sada je potrebno naći inverznu funkciju ove krive.



Slika 3.4 Radna karakteristika senzora

Inverzna funkcija je data kao : $y = \frac{\log\left(\frac{x}{a}\right)}{b}$. Da bismo realizirali ovu funkciju moramo pojedine podatke odbaciti tj. odbacit ćemo tačke gdje napon raste sa porastom udaljenosti i tačke gdje se napon sa porastom udaljenosti više ne mijenja (to bi značilo da za jednu vrijednost napona imamo više pridruženih udaljenosti pa ne bi bilo moguće očitati udaljenost). Koeficijenti su ostali isti : $a = 3.475$; $b = -0.07508$

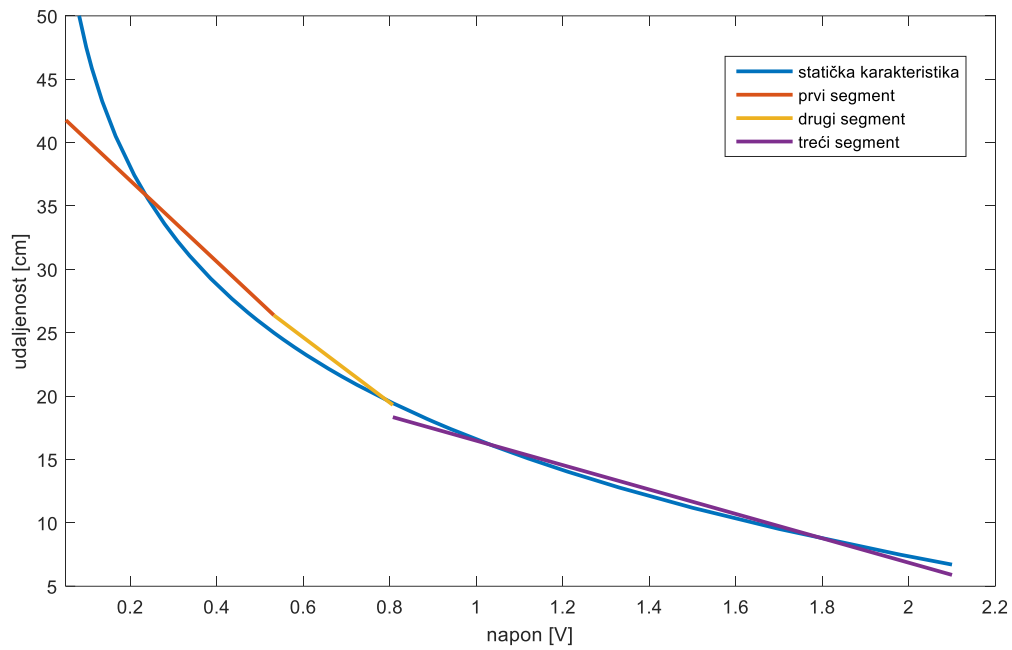
Kao što je već rečeno za postupak linearizacije smo odabrali metodu najmanjih kvadrata pod pretpostavkom da je napon mjereno mnogo preciznije od udaljenosti. Krivu ćemo podijeliti na segmente :

- 0.051-0.5V
- 0.5-0.75V
- 0.75-2.1V

Koeficijenti su redom:

- $a = -31.9971$; $b = 43.4033$
- $a = 25.7183$; $b = 40.0593$
- $a = -9.6260$; $b = 26.1087$

Na slici 3.5 vidimo statičku karakteristiku prije linearizacije (plava boja) i nakon linearizacije (crvena, žuta i ljubičasta boja). Također na slici 3.6 i 3.7 je prikazan kod koji je korišten za realizaciju ovog dijagrama.



Slika 3.5 Statička karakteristika senzora

```
function[a,b] = f(x,y)
    Sx = 0;
    Sy = 0;
    Sxy = 0;
    Sx2 = 0;
    n = length(x);
    for i=1 : n
        Sx = Sx + x(i);
        Sx2 = Sx2 + x(i)*x(i);
    end
    for j=1 : n
        Sy = Sy + y(j);
    end
    for k=1 : n
        Sxy = Sxy + x(k)*y(k);
    end
    a = (n*Sxy-Sx*Sy) / (n*Sx2-Sx^2);
    b = (Sx2*Sy-Sx*Sxy) / (n*Sx2-Sx^2);
end
```

Slika 3.6 Kod za linearizaciju karakteristike

```
>> plot(x, log(x/3.475)/-0.07508);
hold on;
[a,b] = f(x1,y1);
plot(x1,a*x1+b);
[a,b] = f(x2,y2);
plot(x2,a*x2+b);
[a,b] = f(x3,y3);
plot(x3,a*x3+b);
```

Slika 3.7 Kod za plotanje karakteristike

Pošto je karakteristika nelinearna osjetljivost će se računati kao $\frac{d}{dx} \left(\frac{\log\left(\frac{x}{a}\right)}{b} \right)$.

Slijedi da je osjetljivost : $-\frac{13.31912}{x} \text{ cm/V}$

Zadnji korak kod pripreme senzora za rad je prevođenje napona na senzoru u izlazni opseg kartice. Pošto je izlazni opseg kartice [0 – 4V], a to ne odgovara najvećoj i najmanjoj vrijednosti napona koju naš senzor može pokazati (na opsegu [7 – 44cm]), potrebno je tu vrijednost prevesti u izlazni opseg kartice. Dakle to znači da udaljenosti od 7 cm treba da odgovara napon od 0V a udaljenosti od 44cm treba da odgovara napon od 4V. Pošto je riječ o simulaciji to postizemo jednostavnim matematskim putem. Ovisnost opsega kartice od opsega senzora je linearna funkcija pa vrijedi :

$$y = kx + n$$

Najveća vrijednost napona : 2.1V

Najmanja vrijednost napona : 0.051V

$$\begin{aligned} 4 &= 2.1k + n \\ 0 &= 0.051k + n \end{aligned}$$

Dobiva se : $k = 1.95$; $n = -0.1$.

Sada ćemo prikazati novodobijenu statičku karakteristiku koju ćemo koristiti za potrebe simulacije. Karakteristika ima isti oblik krive : $y = \frac{\log\left(\frac{x}{a}\right)}{b}$, koeficijenti su : $a = 6.922$;

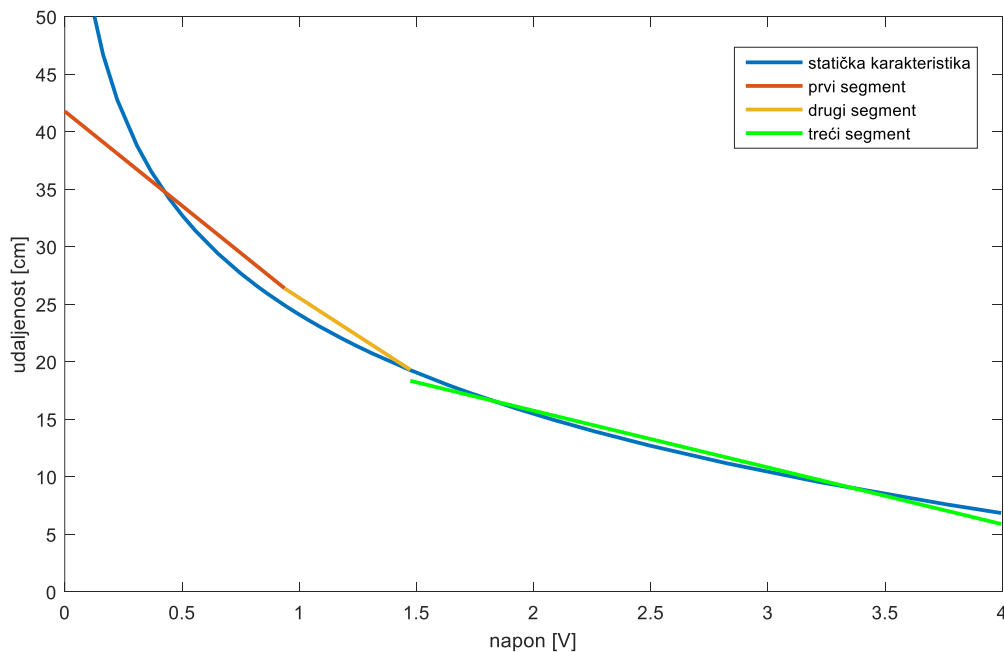
$b = -0.08028$

Uzimamo sljedeće segmente :

- 0 – 0.95V
- 0.95 – 1.5V
- 1.5 – 4V

Koeficijenti po segmentima su redom :

- $a = -16.4088$; $b = 41.7624$
- $a = -13.1888$; $b = 38.7405$
- $a = -4.9364$; $b = 25.6151$



Slika 3.8 Karakteristika senzora prilagođena akvizicijskoj kartici

Korišten je isti kod za linearizaciju i plotanje (slika 3.6 i slika 3.7) (osim što su zamijenjeni koeficijenti u prvom redu koda slike 3.7).

Zbog promjene koeficijenata osjetljivost je $-\frac{12.456}{x} \text{ cm/V}$

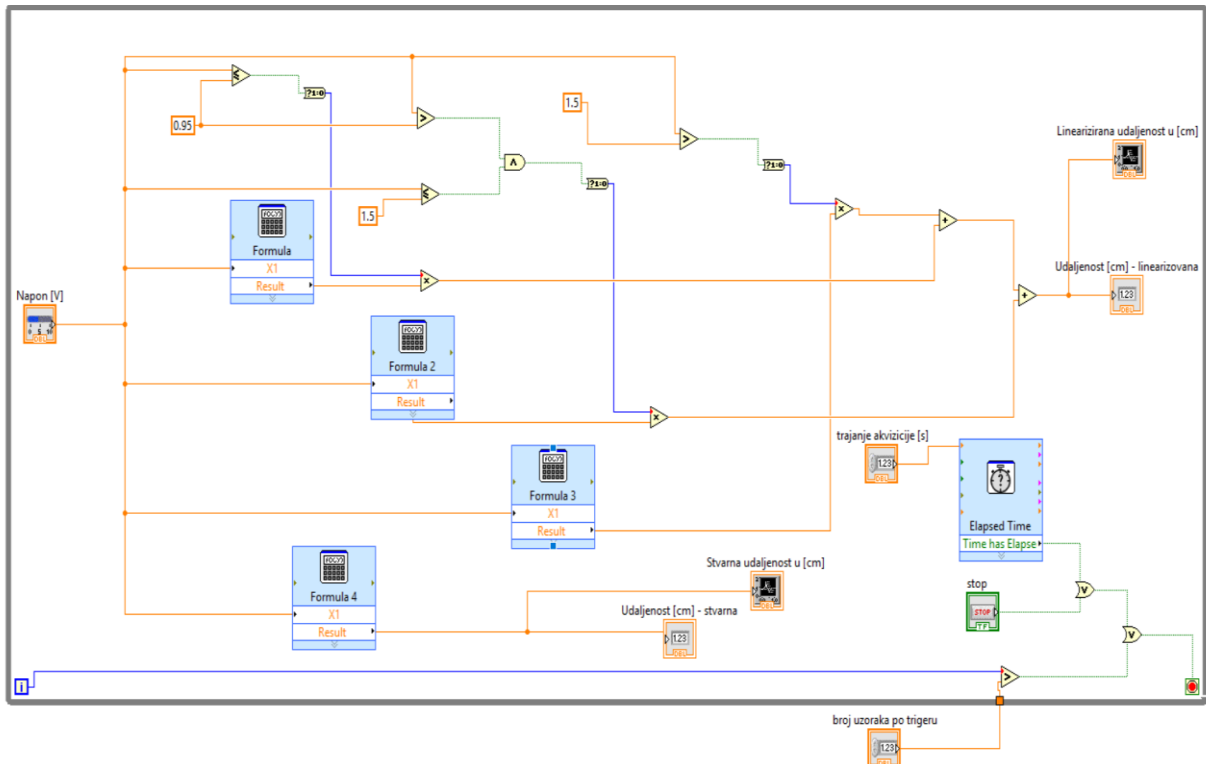
4. Simulacijski rezultati

4.1. Postavka simulacija

U ovom poglavlju će biti opisan postupak realizacije virtuelnog instrumenta.

Kao program za simulaciju rada senzora će biti korišten LabView[®]. Na slici 4.1 prikazan je blok dijagram koji je realiziran pomoću različitih matematskih operacija, boolove algebre, formula koje smo dobili pri linearizaciji te while petlje koja se prekida u sljedećim slučajevima:

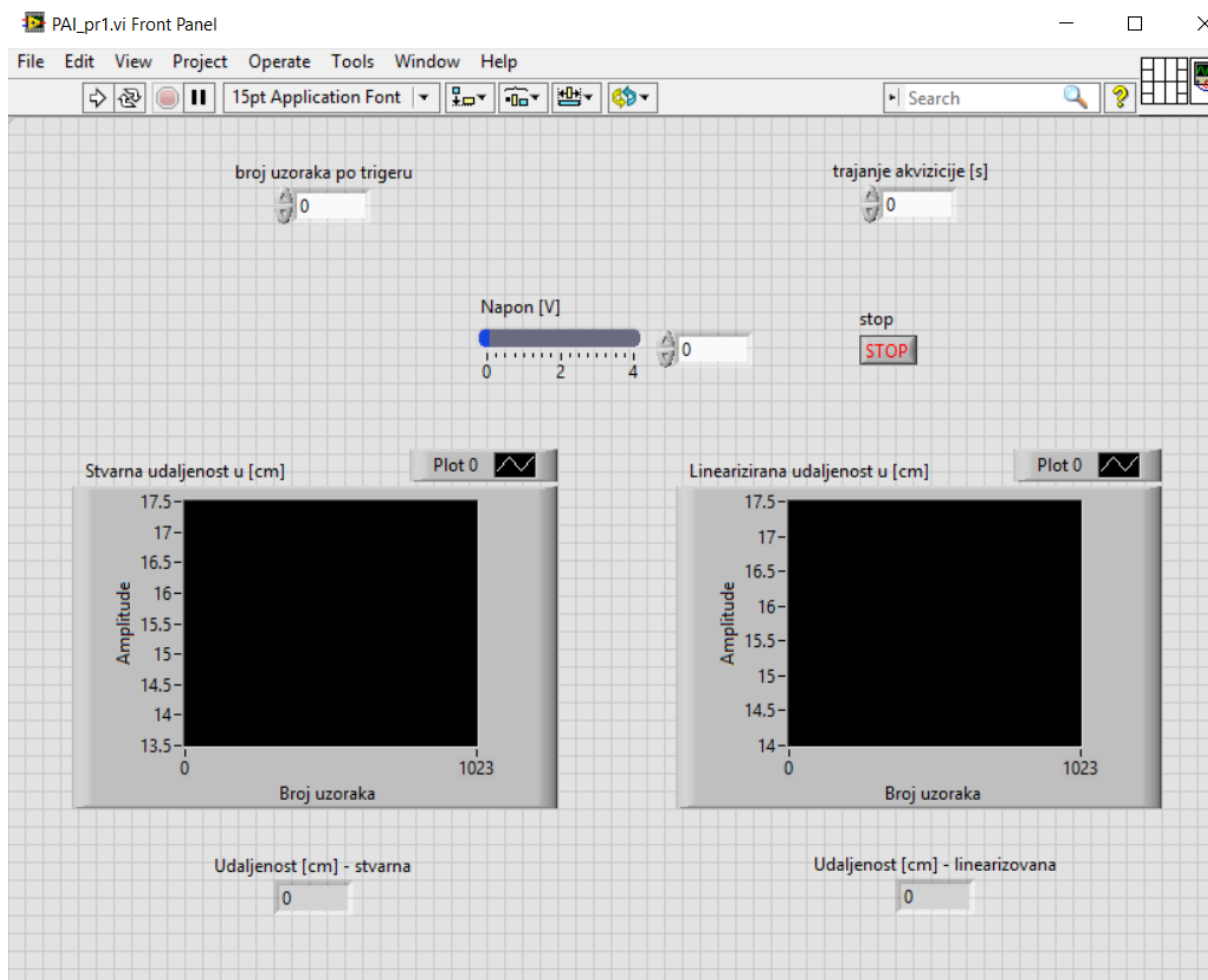
- pritiskom na tipku stop
- kada je potrošeno zadano vrijeme akvizicije
- kada je prikupljen dovoljan broj uzoraka



Slika 4.1 Virtuelni instrument - blok dijagram

4.2 Rezultati simulacija

Na slici 4.2 prikazan je prednji panel virtuelnog instrumenta. Napon je moguće mijenjati u opsegu [0-4V], dodane su 3 različite mogućnosti za prekid akvizicije te je moguće očitavati vrijednost udaljenosti sa grafika ili digitalno. Treba napomenuti da se vrijednosti stvarne i linearizirane udaljenosti razlikuju za preko 5 cm kada se vrijednost napona spusti na 0.2V. Razlog za to je odabir statičke karakteristike (koja je izabrana na način da ne bude previše matematski zahtjevna a da opet daje što je moguće veću preciznost) a ne kvalitet simulacije. Ispod vrijednosti 0.2V treba posmatrati lineariziranu vrijednost.



Slika 4.2 Virtuelni instrument – prednji panel

4.3 Zaključak

Sam senzor je praktičan za akviziciju i simulaciju jer na izlazu daje napon pa nisu potrebna nikakva dodatna pretvaranja. Vrijednost udaljenosti za lineariziranu karakteristiku i za stvarnu karakteristiku se velikim dijelom podudaraju što znači da se radi o kvalitetnoj simulaciji.

5. Zaključak i diskusija

Primarni cilj ovog projekta je bio upoznavanje sa IR senzorom udaljenosti, tačnije njegovim radom, karakteristikama te primjenama. Karakteristika koju smo mi dobili u sklopu projekta se izgledom dosta poklapa sa stvarnom odnosno onom navedenom u katalogu, međutim opseg na kojem senzor ispravno radi je dosta manji. Razlozi za to su nesavršenost mjerenih instrumenata, vanjski uticaj, nesavršenost senzora te moguća nepažnja onih koji su vršili eksperiment. Eksperiment je potrebno ponoviti sa boljom opremom i većom pažnjom. Također, trebalo je linearizirati statičku karakteristiku senzora kako bi je prilagodili krajnjem korisniku te nakon toga simulirati njegov rad kako bi se uvjerali u ispravnost postupka linearizacije. Već je naglašeno da je podudarnost velika pa ovaj dio projekta možemo smatrati uspješnim.

6. Reference

[1] Prof. dr.sc. Jasmin Velagić, *Predavanja iz predmeta Mobilna robotika*, Elektrotehnički fakultet, Sarajevo, Š/K 2017/2018

[2] Sharp-world

http://www.sharpworld.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf

[3] Lamiya Vuković, Amina Šljivo, *Snimanje statičke karakteristike senzora IR senzora udaljenosti – Seminarski rad iz predmeta: Praktikum Automatike i Informatike*, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, 2013

[4] Faris Hajdarpašić, Nadža Memić, *Seminarski rad Snimanje statičke karakteristike IR senzora udaljenosti*, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, 2019