

# Primjena regresije pri određivanju statičkih prijenosnih funkcija mjernih pretvornika

---

Sertić, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:442012>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-05**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**PRIMJENA REGRESIJE PRI ODREĐIVANJU  
STATIČKIH PRIJENOSNIH FUNKCIJA  
MJERNIH PRETVORNIKA**

**Završni rad**

**Marin Sertić**

**Osijek, 2021.**

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Zadatak završnog rada</b> .....	1
<b>2. MJERNI PRETVORNICI</b> .....	2
<b>2.1. Aktualni praktični dosezi u području mjernih pretvornika</b> .....	2
<b>2.2. Diferencijalni transformator</b> .....	3
<b>2.3. Fotootpornik</b> .....	3
<b>2.4. Pt100 sonda</b> .....	4
<b>2.5. Suotpornik</b> .....	5
<b>3. LINEARNA REGRESIJA</b> .....	6
<b>3.1. Primjena regresije u MATLAB-u</b> .....	7
<b>4. MJERNI POSTAV I REZULTATI MJERENJA</b> .....	10
<b>4.1. Diferencijalni transformator</b> .....	10
<b>4.2. Fotootpornik</b> .....	13
<b>4.3. Pt100 sonda</b> .....	16
<b>4.4. Suotpornik</b> .....	20
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	28
<b>LITERATURA</b> .....	29
<b>SAŽETAK</b> .....	30
<b>ABSTRACT</b> .....	30
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	31
<b>PRILOZI</b> .....	32

# 1. UVOD

Zadatak ovog završnog rada je prikaz i opis principa rada odabranih mjernih pretvornika (diferencijalni transformator, fotootpornik, Pt100 sonda i suotpornik). Također nakon opisanog principa rada potrebno je u mjernom laboratoriju provesti pokuse mjerenja s pomoću pojedinih mjernih pretvornika, te rezultate prikazati u tablici i opisati korišteni mjerni postav. Iz dobivenih rezultata mjerenja potrebno je u programskom alatu MATLAB nacrtati statičke prijenosne funkcije korištenih mjernih pretvornika, te na tim grafovima prikazati regresijski pravac ili regresiju polinomom višeg stupnja, ako linearna funkcija ne daje zadovoljavajuće rezultate. Nakon nacrtanih regresijskih pravaca (krivulja) primjenom statistički metoda preuzetih iz literature [1] određuje se kvaliteta regresije i varijance parametara koji opisuju tu regresijsku krivulju.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Izradom ovog završnog rada potrebno je u laboratoriju odrediti rezultate mjerenja pojedinih mjernih pretvornika. Nakon toga u programskom alatu MATLAB nacrtati statičke prijenosne funkcije za svaki korišteni mjerni pretvornik. Korištenjem regresijskog pravca, te regresija polinoma višeg stupnja i statističkih metoda potrebno je odrediti pogrešku prilikom korištenja pojedinih mjernih pretvornika.

## 2. MJERNI PRETVORNICI

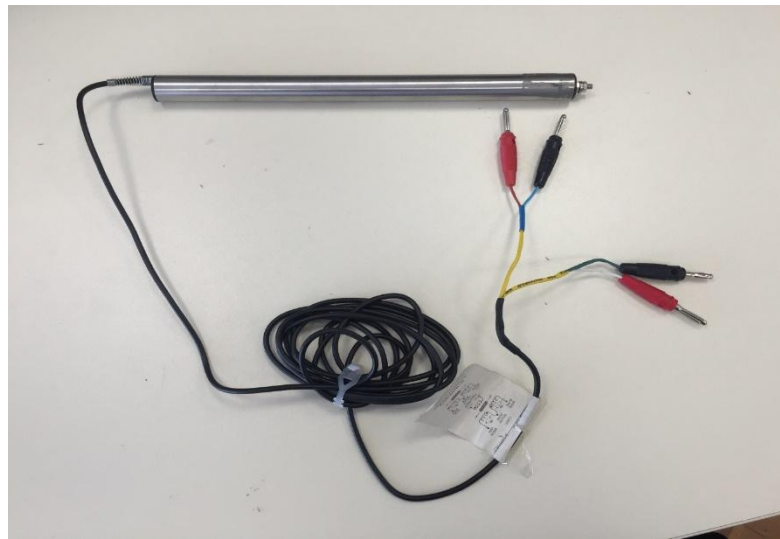
### 2.1. Aktualni praktični dosezi u području mjernih pretvornika

Primjena mjernih pretvornika je vrlo široka, te se svakim danom sve više razvija. U današnje vrijeme najčešća primjena mjernih pretvornika je za mjerenje pomaka, sile, temperature, tlaka, brzine. U elektroenergetici najčešća primjena mjernih pretvornika je za mjerenje brzine vrtnje elektromotora (tahogeneratori). Prema vrsti i području primjene razlikujemo više vrsta mjernih pretvornika [2][3][6]:

1. Mjerni pretvornici temperature – služe za mjerenje temperature koristeći promjenu otpora, volumena, elektromagnetskog zračenja ili istezanja materijala, pa prema tome razlikujemo termometre s Bourdonovom cijevi, bimetalne termometre, tekućinske staklene termometre, otporničke termometre, termistore, pirometre.
2. Mjerni pretvornici tlaka – služe za mjerenje tlaka koristeći promjenu visine stupca žive, otpora, kapaciteta, induktiviteta, elastičnu deformaciju pa prema tome razlikujemo manometre, osjetila tlaka sa membranom, osjetila tlaka sa mjehom, osjetila tlaka s Bourdonovom cijevi, otpornički pretvornici, indukcijski pretvornici, kapacitivni pretvornici.
3. Mjerni pretvornici sile i momenta – služe za mjerenje sila i momenata unutar mehanizama koristeći promjenu mehaničke deformacije, otpora, piezoelektrični efekt pa prema tome razlikujemo pretvornike s napetom žicom, rasteznu metalnu mjernu vrpцу, poluvodička rastezna osjetila, Wheatstoneov most, piezoelektrične pretvornike, mjerne ćelije.
4. Mjerni pretvornici pomaka – služe za mjerenje pravocrtnog ili kružnog pomaka koristeći promjenu otpora, kapaciteta, induktiviteta, vremena, Hallov efekt, kašnjenje ultrazvučnog vala pa prema tome razlikujemo laserske daljinomjere, ultrazvučni pretvornik, magnetostriktne pretvornike pomaka, diferencijalne transformatore, otpornički pretvornik pomaka, kapacitivni pretvornik pomaka.[5]
5. Mjerni pretvornici brzine i ubrzanja – služe za mjerenje brzine ili ubrzanja koristeći promjenu napona, vrtložnih struja, intenziteta svjetla, Piezoelektrični efekt pa prema tome razlikujemo tahogeneratore, fotodetektore, piezoelektrične akcelerometre, digitalne enkodere.
6. Mjerni pretvornici razine – služe za mjerenje razine kapljevine ili krutine koristeći promjenu položaja plovka, hidrostatskog tlaka, težine spremnika, otpora, kapaciteta, vremena, sile, tlaka pa prema tome razlikujemo uzgonske pretvornike s plovkom, otporničke trake, kapacitivne elektrode, lasere, temperaturna osjetila.[4]

## 2.2. Diferencijalni transformator

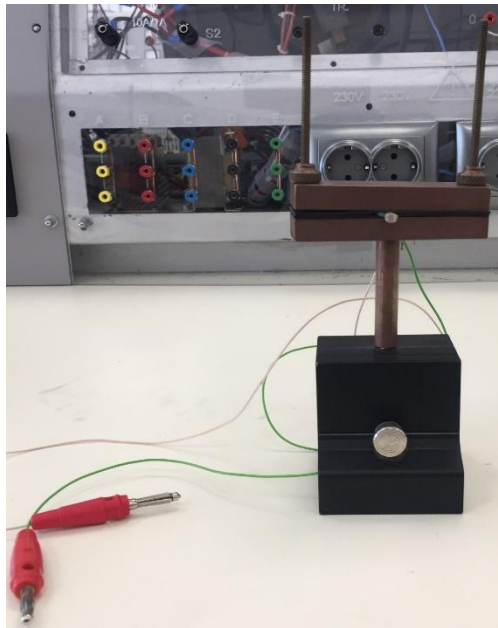
Diferencijalni transformator je mjerni pretvornik koji se koristi za mjerenje pomaka. Njime se mjeri pomak tako da se mjeri napon koji zapravo predstavlja pomak. Princip rada diferencijalnog transformatora se temelji na promjeni induktiviteta zavojnice. Promjenom pomaka dolazi i do promjene induktiviteta, npr. pomicanje feromagnetske jezgre transformatora čime se mijenja i induktivitet. Diferencijalni transformator se sastoji od jednog primarnog svitka i dva sekundarna svitka između kojih se slobodno giba feromagnetska jezgra spojena sa sensorom pomaka. Primarni svitak je spojen na izmjeničnu mrežu i to predstavlja ulazni napon, dok izlazni napon predstavlja razliku napona na dva sekundarna svitka. Kada se feromagnetska jezgra nalazi na sredini između primarne i sekundarnih jezgri onda je izlazni napon jednak nula. Pomičemo li jezgru lijevo (guramo) ili desno (izvlačimo) onda se i izlazni napon mijenja. Kako je izlazni napon razlika napona na dva sekundarna svitka on može biti i pozitivan i negativan, pa prema tome mjerno područje će biti u rasponu od -250 mV do 250 mV. [7]



Slika 2.1. Diferencijalni transformator

## 2.3. Fotootpornik

Fotootpornici su poluvodičke komponente kojima svjetlost pomoću fotoelektričnog efekta mijenja vrijednost otpora. Vrijednost otpora se mijenja tako da se povećanjem intenziteta svjetlosti vrijednost otpora fotootpornika smanjuje čime se povećava električna struja koja prolazi kroz njega, a smanjenjem intenziteta svjetlosti vrijednost otpora fotootpornika se povećava. Pri osvjetljavanju se vrijednost otpora mijenja od nekoliko stotina do nekoliko tisuća puta. Fotootpornici se najčešće koriste kao fotodetektori za detekciju pokreta i pozicije. [7]



**Slika 2.2.** Fotootpornik

## 2.4. Pt100 sonda

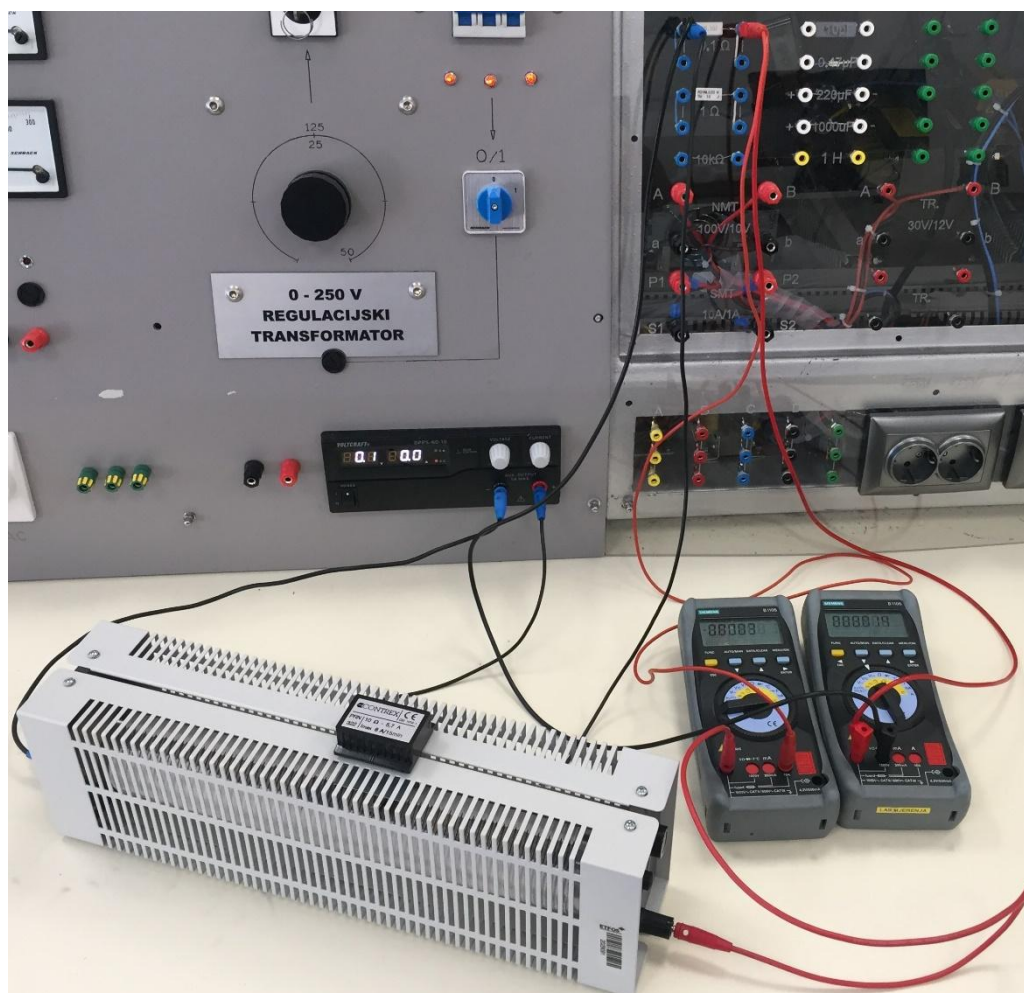
Pt100 sonda je zapravo termootpornik. To su mjerni pretvornici koji mijenjaju vrijednost otpora sa promjenom temperature, te se najčešće izrađuju od metala koji imaju velik temperaturni koeficijent  $\alpha$ . Pt100 sonda je mjerni pretvornik izrađen od platinske žice koji pri  $0^{\circ}\text{C}$  ima otpor  $100\ \Omega$ . Ovisnost otpora o temperaturi može se dovoljno točno aproksimirati pravcem  $R = R_0 * (1 + \alpha * \Delta T)$ . Povećanjem temperature dolazi do povećanja otpora Pt100 sonde. Ovakva platinska mjerila se koriste za precizna mjerenja temperature u rasponu od  $-183^{\circ}\text{C}$  do  $630^{\circ}\text{C}$ . [7]



**Slika 2.3.** Pt100 sonda

## 2.5. Suotpornik

Suotpornik (shunt) je otpornik poznate, precizne i stabilne vrijednosti otpornosti koja se ne mijenja značajno s obzirom na utjecajne veličine (temperatura, vlaga, vibracije...). Metoda koja se koristi kod ovog spoja naziva se U-I metoda. Kalibracija se provodi tako da se mjeri pad napona na otporniku nepoznate vrijednosti otpora i ukupna struja u krugu. Materijali koje koristimo za izradu suotpornika moraju imati velik specifični otpor, neznatan temperaturni koeficijent otpora, neznatan termoelektrički napon prema bakru, konstantnost kroz deset godina, te da ne mijenjaju otpor zbog mehaničkih naprezanja koja nastaju zbog udaraca i trešnje. Zbog toga se kao materijali koriste manganin, legure bakra i mangana s malim dodatkom nikla, izabelin, novokonstantan i legure zlata i kroma.[10] Bitni parametri koji određuju rad i vrstu korištenih suotpornika su otpornost  $R$  [ $\Omega$ ], disipacija snage  $P$  [W] i temperaturni koeficijent otpora  $\alpha$  [ $1/K$ ].



Slika 2.4. Suotpornik



### 3. LINEARNA REGRESIJA

Linearna regresija predstavlja statističku metodu koja se koristi prilikom određivanja odstupanja rezultata mjerenja od idealnog slučaja. Koristimo ju kada imamo povezanost između dvije ili više varijabli. Primjenom linearne regresije, ukoliko imamo linearnu povezanost između neke dvije varijable, na grafu raspršenja podataka mjerenja crtamo regresijski „best fit“ pravac izraza (1-1).

$$y = ax + b \quad (1-1)$$

Pri tome je „a“ koeficijent smjera pravca regresije, a „b“ je odsječak na y – osi. Promatrajući vrijednost parametra „a“ odnosno koeficijenta smjera pravca regresije možemo odrediti kakva je veza između korištenih varijabli. Ukoliko je „a“ > 0 onda veza između te dvije varijable rastuća, a ukoliko je „a“ < 0 onda je veza između varijabli padajuća. Taj pravac nam predstavlja i matematičko očekivanje izraza (1-2).

$$E(Y|x) = ax + b \quad (1-2)$$

Parametri „a“ i „b“ su nepoznanice te njih trebamo odrediti (procijeniti) na osnovi dobivenih podataka mjerenja, tj. trebamo povući pravac regresije koji najbolje odgovara dobivenim rezultatima. Taj pravac možemo nacrtati primjenom metode najmanjih kvadrata tako da minimiziramo zbroj kvadrata linearnih odstupanja svih točaka od pravca regresije. [8] Ukoliko imamo povezanost između više varijabli tada moramo crtati graf regresije onog stupnja koliko imamo varijabli, te prema njemu odrediti parametre grafa regresije. Kako nam rezultati mjerenja ne padaju točno na nacrtani „best fit“ pravac tada je zapravo njegova jednadžba izraza (1-3)

$$y = ax + b + e \quad (1-3)$$

gdje nam „e“ predstavlja pogrešku mjerenja. Primjenom statističkih formula za matematičko očekivanje i varijancu (raspršenje) dobivamo izraze (1-4) i (1-5).

$$E(Y|x) = E(ax + b + e) = E(ax + b) + E(e) = ax + b \quad (1-4)$$

$$V(Y|x) = V(ax + b + e) = V(ax + b) + V(e) = V(e) = \sigma^2 \quad (1-5)$$

Ukoliko  $\sigma^2$  ima malu vrijednost tada rezultati mjerenja padaju blizu regresijskog pravca, a ukoliko ima veliku vrijednost tada su rezultati mjerenja udaljeniji od regresijskog pravca. Također na osnovu nacrtanog regresijskog pravca možemo odrediti i intervale pouzdanosti

podataka mjerenja. Širina intervala pouzdanosti nam predstavlja kvalitetu nacrtanog regresijskog pravca. Za određivanje intervala pouzdanosti koristimo sljedeće formule izraza (1-6) i (1-7).

$$\hat{a} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{S_{xx}}} \leq a \leq \hat{a} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{S_{xx}}} \quad (1-6)$$

$$\hat{b} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{\hat{\sigma}^2 \left[ \frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{S_{xx}} \right]} \leq b \leq \hat{b} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} \sqrt{\hat{\sigma}^2 \left[ \frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{S_{xx}} \right]} \quad (1-7)$$

Parametri koji opisuju navedene formule su:  $a$  – koeficijent smjera regresijskog „best fit“ pravca

$b$  – odsječak na y-osi regresijskog „best fit“ pravca

$n$  – broj provedenih mjerenja

$t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$  – „t“ faktor Studentove t-razdiobe

$\hat{\sigma}^2$  – varijanca parametara (raspršenje)

$\bar{x}$  – srednja vrijednost dobivenih rezultata mjerenja

$S_{xx}$  – standardna devijacija (odstupanje)

Parametre  $\bar{x}$ ,  $S_{xx}$  moramo zasebno računati i kasnije unijeti u formule (1-6) i (1-7). Prema tome razlikujemo izraze (1-8) i (1-9) kojima izračunavamo te parametre.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-8)$$

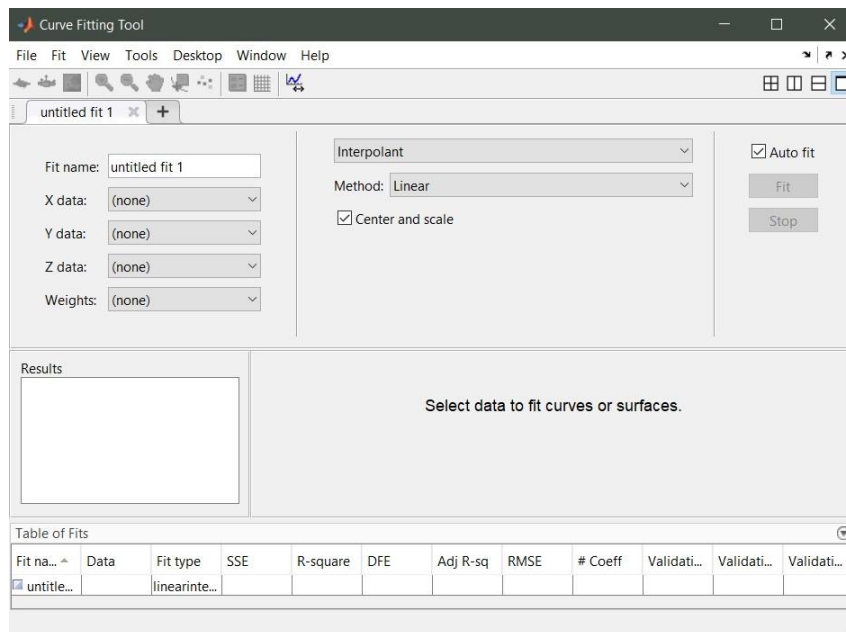
$$S_{xx} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1-9)$$

Navedeni izrazi predstavljaju formule za izračun parametara  $\bar{x}$  i  $S_{xx}$  za slučaj linearne regresije.

Za slučajevne regresija viših stupnjeva formule se mogu pronaći u literaturi [1].

### 3.1. Primjena regresije u MATLAB-u

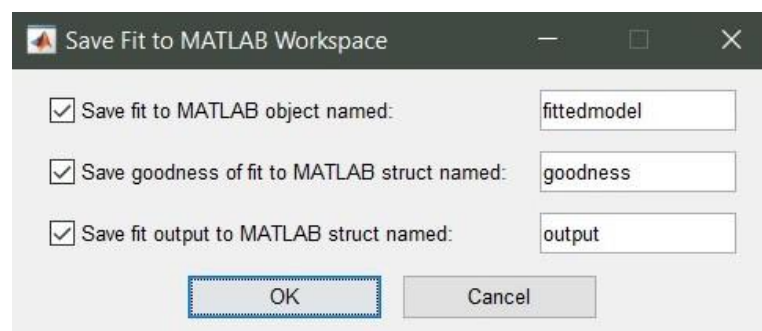
Prilikom primjene regresije na statičke prijenosne funkcije mjernih pretvornika korišten je programski paket MATLAB kako bi se dobile regresijske funkcije. U programskom paketu MATLAB alat za dobivanje regresijskih funkcija se poziva ključnom riječi „cftool“. Nakon što se upiše ključna riječ u MATLAB i pritisne tipka „Enter“ otvara se prozor u kojem se može dobiti grafički prikaz primjene regresije na željene funkcije.



**Slika 3.1.** Izgled prozora za primjenu regresije na željene funkcije

Nakon što se otvori prozor za primjenu regresije na željene funkcije u njemu se odabiru parametri koji će biti na X-osi, a koji na Y-osi. Sada se odabire vrsta regresije koja će se primijeniti na dobivene podatke (interpolant, linear, fourier, polynomial...). Pomoću toga se dobiva izgled grafa nakon što je na njega primijenjena regresija. Ukoliko se koristi polynomial regresija kod nje se može određivati i kojeg stupnja će biti regresijski polinom koji se koristi. Nakon što se dobije zadovoljavajući izgled grafa, njega se može spremirati pritiskom na tipku „Print to figure“. Tada se otvara novi prozor u kojem se dobiva izgled grafa u slici, te u tom prozoru pritiskom na tipku „Save as“ se sprema graf za kasniju primjenu.

Također primjenom programskog paketa MATLAB može se odrediti i 95% intervale pouzdanosti koeficijenata regresijskih pravaca. Toolbox u MATLAB-u računa 95% intervale pouzdanosti primjenom izraza (1-6) i (1-7). Intervali pouzdanosti se određuju tako da se u prozoru za primjenu regresije na željene funkcije pod karticom „Fit“ odabere opciju „Save to Workspace“. Tu se dobiva opcija da spremimo tu regresiju kao objekt i kao strukturu te se odabiru sve ponuđene opcije.



**Slika 3.2.** Izgled prozora za spremanje regresije u Workspace

Nakon toga se dobiva fitted model koji kada se otvori prikazuje 95% intervale pouzdanosti za koeficijente regresijskog pravca.



```
1x1 cfit

val =

Linear model Poly2:
val(x) = p1*x^2 + p2*x + p3
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 5.891e-05 (4.184e-05, 7.597e-05)
p2 = -0.03805 (-0.07177, -0.004334)
p3 = 19.15 (3.883, 34.42)
```

dcm	20x1 double
fittedmodel	1x1 cfit
goodness	1x1 struct
output	1x1 struct
R	20x1 double

**Slika 3.3.** Prikaz izračuna 95% intervala pouzdanosti u MATLAB-u

## 4. MJERNI POSTAV I REZULTATI MJERENJA

### 4.1. Diferencijalni transformator

Prilikom provođenja pokusa mjerenja diferencijalnim transformatorom mjerna oprema koja se koristi sastoji se od:

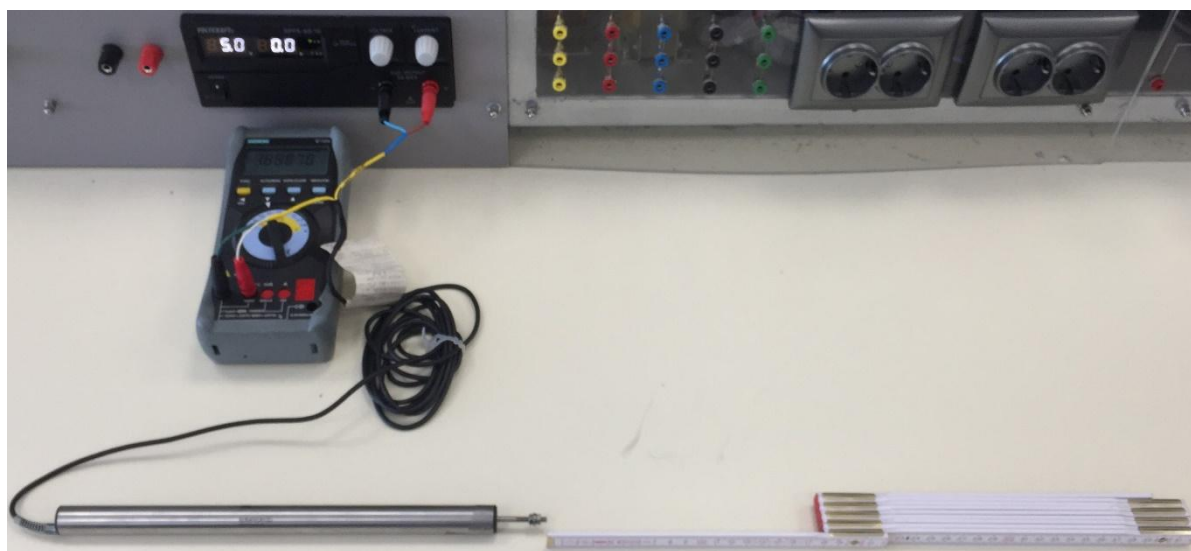
Izvor - Voltcraft DPPS-60-10

Instrument – Siemens B1105 (univerzalni)

Mjerna traka (metar)

Diferencijalni transformator

Mjerni postav se sastavlja tako da se dvije priključnice diferencijalnog transformatora koje se koriste za napajanje spoje na mjerni izvor napona Voltcraft DPPS-60-10. Druge dvije priključnice diferencijalnog transformatora se priključe na mjerni instrument Siemens B1105 (univerzalni). Pomični dio diferencijalnog transformatora, tj. njegovu feromagnetsku jezgru se malo izvuče iz kućišta te se odredi za koju duljinu će vrijednost napona na mjernom instrumentu biti približno nula. Za tu duljinu se na vrhu feromagnetske jezgre odredi duljinu 0 odnosno na njegov vrh se stavi početak mjerne trake (metra).



**Slika 4.1.** Mjerni postav prilikom mjerenja diferencijalnim transformatorom

Pomicanjem feromagnetske jezgre ulijevo (uvlačenje) i udesno (izvlačenje) promatraju se vrijednosti napona na instrumentu te ih se zapisuje u tablice. Mjerenje se provodi za 11 odabranih točaka. Pokus se sastojao od dva dijela gdje se prvo provodi mjerenje prilikom pomicanja feromagnetske jezgre udesno (izvlačenja), a nakon toga u istim točkama se provodi mjerenje prilikom pomicanja feromagnetske jezgre ulijevo (uvlačenje). Nakon što se zapišu

podatci mjerenja u tablice, računaju se pogreške prilikom mjerenja diferencijalnim transformatorom koristeći sljedeću formulu izraza (1-10) koja se preuzela iz literature [9]:

$$G = \pm(0,02\% m. v. + 0,005\% dom. + 5) \quad (1-10)$$

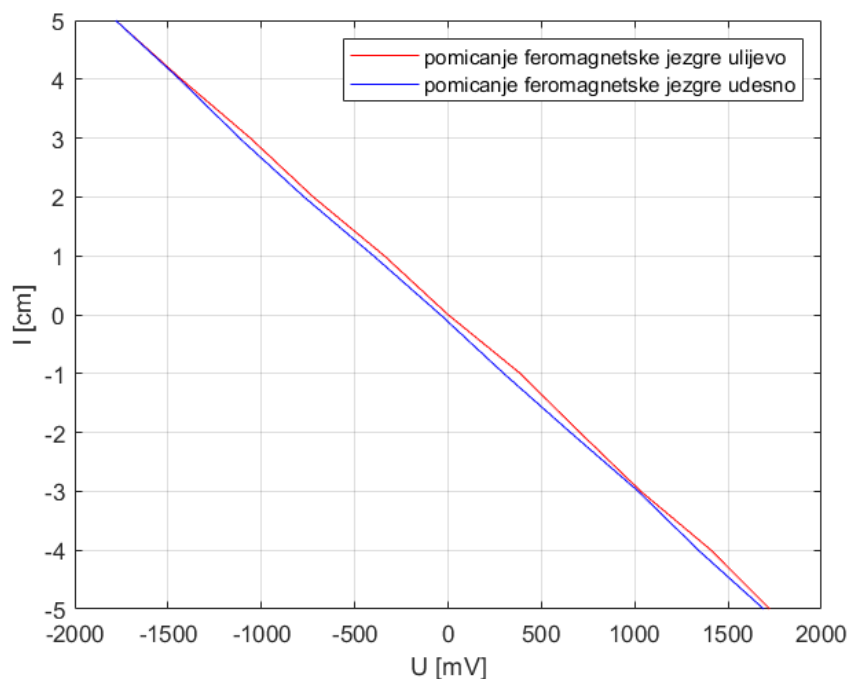
**Tablica 4.1.** Rezultati mjerenja pri pomicanju feromagnetske jezgre udesno

Diferencijalni transformator			
I [cm]	U [mV]	Pogreške mjerenja [mV]	Domet
-5	1723,53	$\pm 0,345$	3 V
-4	1408,95	$\pm 0,282$	
-3	1032,15	$\pm 0,207$	
-2	705,63	$\pm 0,141$	
-1	387,28	$\pm 0,078$	
0	0,055	$\pm 2,16 * 10^{-4}$	
1	-341,55	$\pm 0,068$	
2	-722,47	$\pm 0,144$	
3	-1059,33	$\pm 0,212$	
4	-1429,33	$\pm 0,286$	
5	-1781,22	$\pm 0,356$	

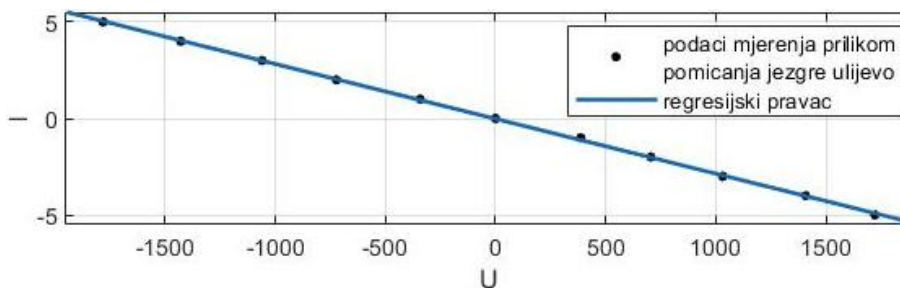
**Tablica 4.2.** Rezultati mjerenja pri pomicanju feromagnetske jezgre ulijevo

Diferencijalni transformator			
I [cm]	U [mV]	Pogreške mjerenja [mV]	Domet
5	-1781,22	$\pm 0,356$	3 V
4	-1438,12	$\pm 0,287$	
3	-1117,36	$\pm 0,223$	
2	-771,73	$\pm 0,154$	
1	-399,58	$\pm 0,08$	
0	-41,31	$\pm 8,057 * 10^{-3}$	
-1	298,586	$\pm 0,06$	
-2	655,31	$\pm 0,131$	
-3	1018,88	$\pm 0,204$	
-4	1340,5	$\pm 0,268$	
-5	1690,83	$\pm 0,338$	

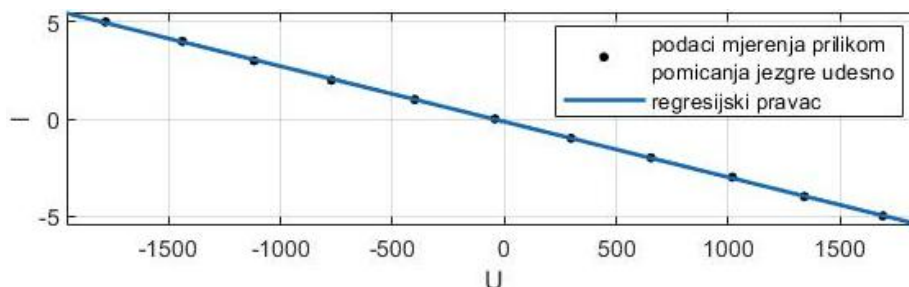
Nakon provedenog mjerenja u programskom paketu MATLAB na osnovu dobivenih točaka se crtaju statičke prijenosne funkcije diferencijalnog transformatora. Prijenosna funkcija se crta za slučaj pomicanja feromagnetske jezgre ulijevo i udesno. Nakon nacrtanih prijenosnih funkcija na njih se primjenjuje regresijski pravac kako bi se prikazalo odstupanje podataka.



**Slika 4.2.** Statičke prijenosne funkcije diferencijalnog transformatora prilikom pomicanja feromagnetske jezgre ulijevo i udesno



**Slika 4.3.** Primjena regresijskog pravca na statičku prijenosnu funkciju diferencijalnog transformatora prilikom pomicanja feromagnetske jezgre ulijevo



**Slika 4.4.** Primjena regresijskog pravca na statičku prijenosnu funkciju diferencijalnog transformatora prilikom pomicanja feromagnetske jezgre udesno

**Tablica 4.3.** Jednadžbe pravaca i koeficijenti pravaca koji prikazuju statičke prijenosne funkcije diferencijalnog transformatora, te njihovi intervali pouzdanosti

Diferencijalni transformator		
Smjer gibanja	Uljevo	Udesno
Jednadžba pravca	$y = -2,839 * 10^{-3}x - 0,01969$	$y = -2,862 * 10^{-3}x - 0,1418$
Koeficijent smjera „k“	$-2,839 * 10^{-3}$	$-2,862 * 10^{-3}$
Interval pouzdanosti	$< -2,875 * 10^{-3}, -2,802 * 10^{-3} >$	$< -2,887 * 10^{-3}, -2,836 * 10^{-3} >$
Odsječak na y-osi „l“	$-0,01969$	$-0,1418$
Interval pouzdanosti	$< -0,06043, 0,02104 >$	$< -0,17, -0,1137 >$

## 4.2. Fotootpornik

Mjerna oprema koja se koristi prilikom provođenja pokusa mjerenja fotootpornikom sastoji se od:

mjerna traka (metar)

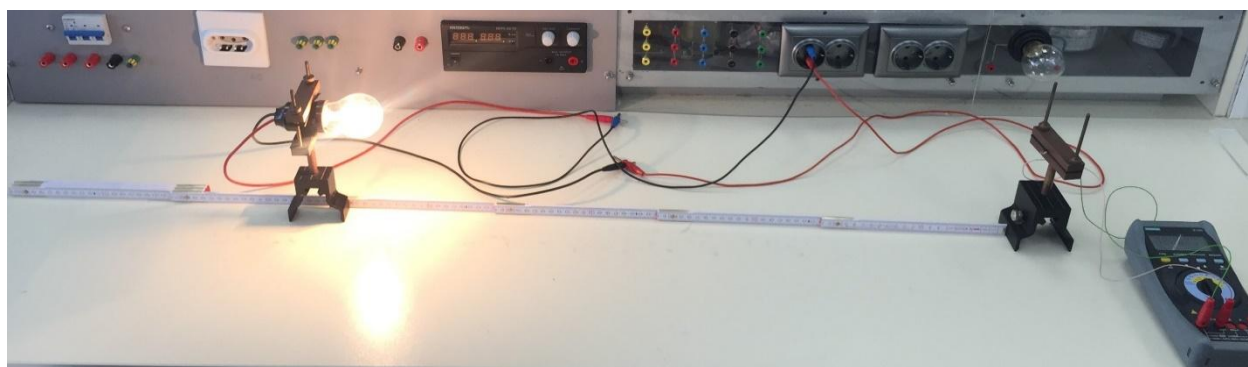
Fotootpornik

Žarulja 75 W

Izvor 230 V AC

Instrument – Siemens B1105 (univerzalni)

Mjerna traka (metar) se postavi uz sami rub fotootpornika tako da početak mjerne trake dodiruje fotootpornik te se to odredi za udaljenost od 0 cm. Stezaljke fotootpornika se priključe na univerzalni mjerni instrument Siemens B1105. Žarulju snage 75 W koja se koristi kao izvor svjetlosti spoji se na izvor napona gradske mreže 230 V AC.



**Slika 4.5.** Mjerni postav prilikom mjerenja fotootpornikom

Mjerenje se provodi u dva dijela i to tako da se prvo mjeri otpor fotootpornika kada se žarulju udaljava od fotootpornika, a u drugom dijelu se mjeri otpor fotootpornika kada se žarulju približava fotootporniku. Mjerenje u oba slučaja se provodi u koracima po 5 cm počevši od



udaljenosti 10 cm od fotootpornika. Dobivene vrijednosti rezultata prilikom mjerenja se zapisuju u tablicu. Nakon zapisivanja rezultata mjerenja u tablicu računaju se pogreške mjerenja instrumenta koristeći izraz (1-11) dobiven iz literature [9].

$$G = \pm(0,05\% m. v. + 0,01\% dom. + 5) \quad (1-11)$$

**Tablica 4.4.** Rezultati mjerenja fotootpornikom prilikom udaljavanja žarulje od fotootpornika

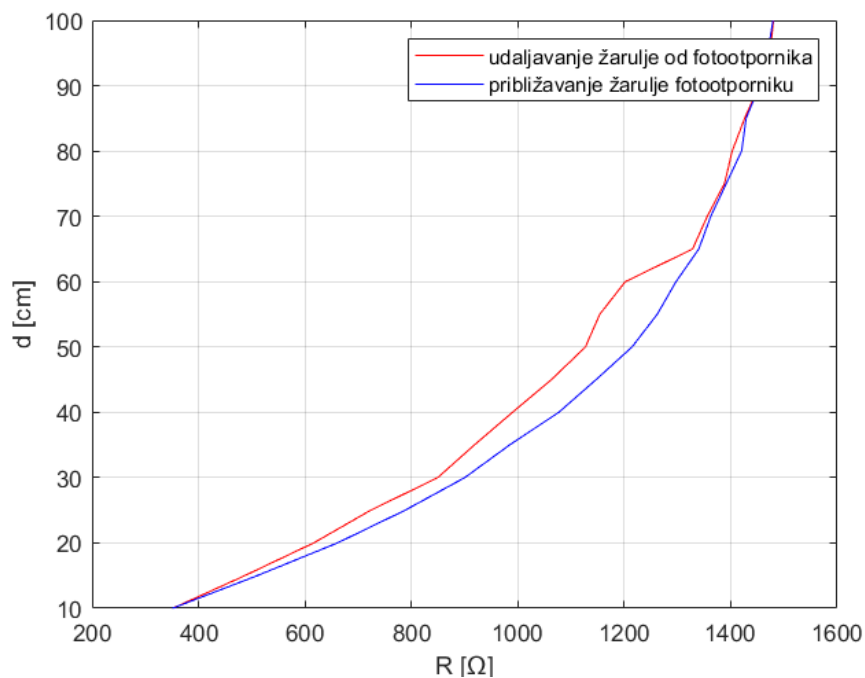
Fotootpornik			
d [cm]	R [ $\Omega$ ]	Pogreške mjerenja [ $\Omega$ ]	Domet
10	351,37	$\pm 0,526$	3 k $\Omega$
15	486,75	$\pm 0,593$	
20	616,05	$\pm 0,658$	
25	723,18	$\pm 0,712$	
30	849,37	$\pm 0,775$	
35	918,22	$\pm 0,809$	
40	989,89	$\pm 0,845$	
45	1062,97	$\pm 0,882$	
50	1126,91	$\pm 0,914$	
55	1153,89	$\pm 0,927$	
60	1201,84	$\pm 0,951$	
65	1328,37	$\pm 1,014$	
70	1355,86	$\pm 1,028$	
75	1388,18	$\pm 1,044$	
80	1402,84	$\pm 1,051$	
85	1426,12	$\pm 1,063$	
90	1453,54	$\pm 1,077$	
95	1473,86	$\pm 1,087$	
100	1480,33	$\pm 1,090$	

**Tablica 4.5.** Rezultati mjerenja fotootpornikom prilikom približavanja žarulje fotootporniku

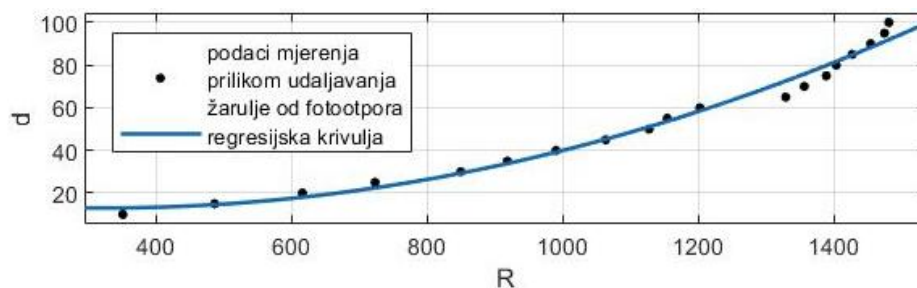
Fotootpornik			
d [cm]	R [ $\Omega$ ]	Pogreške mjerenja [ $\Omega$ ]	Domet
10	350,93	$\pm 0,526$	
15	510,25	$\pm 0,605$	
20	660,77	$\pm 0,68$	
25	787,76	$\pm 0,744$	
30	900,14	$\pm 0,8$	
35	984,37	$\pm 0,842$	
40	1076,93	$\pm 0,889$	

45	1146,93	$\pm 0,924$	3 k $\Omega$
50	1214,51	$\pm 0,957$	
55	1261,8	$\pm 0,981$	
60	1297,24	$\pm 0,999$	
65	1339,97	$\pm 1,02$	
70	1362,51	$\pm 1,031$	
75	1391,49	$\pm 1,046$	
80	1420,55	$\pm 1,06$	
85	1428,88	$\pm 1,064$	
90	1454,19	$\pm 1,077$	
95	1469,54	$\pm 1,085$	
100	1479,5	$\pm 1,09$	

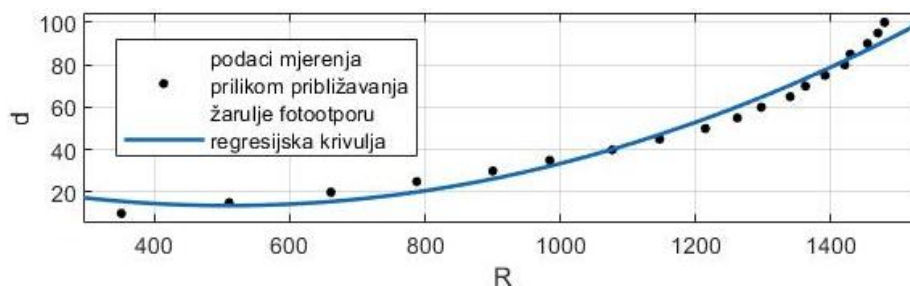
Pomoću dobivenih rezultata mjerenja crtaju se statičke prijenosne funkcije u programskom paketu MATLAB.



**Slika 4.6.** Statičke prijenosne funkcije fotootpornika prilikom udaljšavanja i približavanja žarulje fotootporniku



**Slika 4.7.** Primjena regresije višeg stupnja na statičku prijenosnu funkciju fotootpornika prilikom udaljšavanja žarulje od fotootpornika



**Slika 4.8.** Primjena regresije višeg stupnja na statičku prijenosnu funkciju fotootpornika prilikom približavanja žarulje fotootporniku

Prilikom primjene regresijskog pravca na dobivene statičke prijenosne funkcije fotootpornika prilikom udaljavanja i približavanja žarulje fotootporniku može se primijetiti da je odstupanje jako veliko, pa prema tome se zaključuje da se moraju koristiti regresije višeg stupnja (npr. polinom drugog stupnja).

**Tablica 4.6.** Jednadžbe krivulja i koeficijenti krivulja koji prikazuju statičke prijenosne funkcije fotootpornika, te njihovi intervali pouzdanosti

Fotootpornik		
Smjer gibanja	Udaljavanje žarulje	Približavanje žarulje
Jednadžba krivulje	$y = 5,891 * 10^{-5}x^2 - 0,0385x + 19,15$	$y = 8,2 * 10^{-5}x^2 - 0,08333x + 34,86$
Vodeći koeficijent „a“	$5,891 * 10^{-5}$	$8,2 * 10^{-5}$
Interval pouzdanosti „a“	$< 4,184 * 10^{-5}, 7,597 * 10^{-5} >$	$< 5,981 * 10^{-5}, 10,42 * 10^{-5} >$
Linearni koeficijent „b“	$-0,0385$	$-0,08333$
Interval pouzdanosti „b“	$< -0,07177, -0,004334 >$	$< -0,1271, -0,03954 >$
Slobodni koeficijent „c“	$19,15$	$34,86$
Interval pouzdanosti „c“	$< 3,883, 34,42 >$	$< 15,12, 54,59 >$

### 4.3. Pt100 sonda

Za izvođenje pokusa mjerenja Pt100 sondom mjerna oprema koja se koristi sastoji se od:

Termometar Voltcraft PL-120-T1

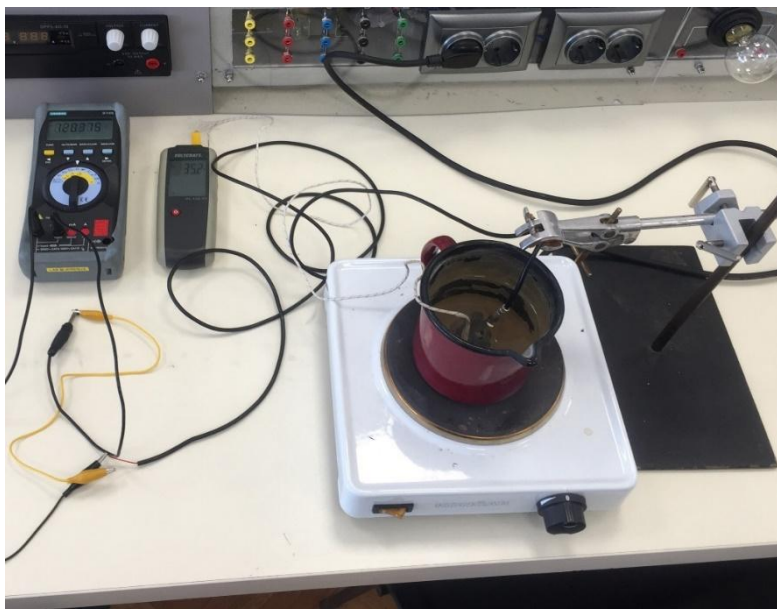
Instrument – Siemens B1105 (univerzalni)

Pt100 sonda

Samostojeće električno kuhalo KONČAR 230 V AC, 50 Hz, 1000 W

Mjerni postav se sastavi tako da se samostojeće električno kuhalo KONČAR priključi na izvor napajanja gradske mreže 230 V AC. Na njega se postavi posudu koja se ranije napuni mlakom vodom. U posudu s vodom se uroni senzor termometra i senzor Pt100 sonde. Drugi kraj priključaka Pt100 sonde se spoji na univerzalni mjerni instrument Siemens B1105. Kako senzor Pt100 sonde koji je uronjen u vodu ne želi stajati pravilno mora ga se učvrstiti mehaničkim

držačem (rukom). Nakon što se sastavi mjerni postav uključi se termometar i očitava se početna temperatura vode. Nakon što se u tablicu unese početna temperatura vode i odredi za koje temperature će se promatrati promjena vrijednosti otpora Pt100 sonde uključi se samostojeće električno kuhalo.



**Slika 4.9.** Mjerni postav prilikom mjerenja Pt100 sondom

Mjerenje se provodi u dva dijela. Prvo se zagrijava voda i promatra vrijednost otpora Pt100 sonde za svaki porast temperature od  $2^{\circ}\text{C}$  do vrijednosti temperature od  $90^{\circ}\text{C}$ . U drugom dijelu se isključi samostojeće električno kuhalo i ostavi da se voda hladi te se promatra promjena temperature i otpora Pt100 sonde prilikom hlađenja. Rezultati mjerenja za oba slučaja se zapisuju u tablice. Koristeći izraz (1-11) koji se preuzeo iz literature [9] računaju se pogreške instrumenta prilikom mjerenja otpora Pt100 sonde.

**Tablica 4.7.** Rezultati mjerenja Pt100 sondom prilikom zagrijavanja vode

Pt100 sonda			
$t [^{\circ}\text{C}]$	$R [\Omega]$	Pogreške mjerenja [ $\Omega$ ]	Domet
26,4	113,668	$\pm 0,092$	
28,4	115,058	$\pm 0,093$	
30,4	116,043	$\pm 0,093$	
32,4	116,888	$\pm 0,093$	
34,4	120,145	$\pm 0,095$	
36,4	121,444	$\pm 0,096$	
38,4	122,683	$\pm 0,096$	
40,4	123,028	$\pm 0,097$	
42,4	124,694	$\pm 0,097$	
44,4	126,005	$\pm 0,098$	

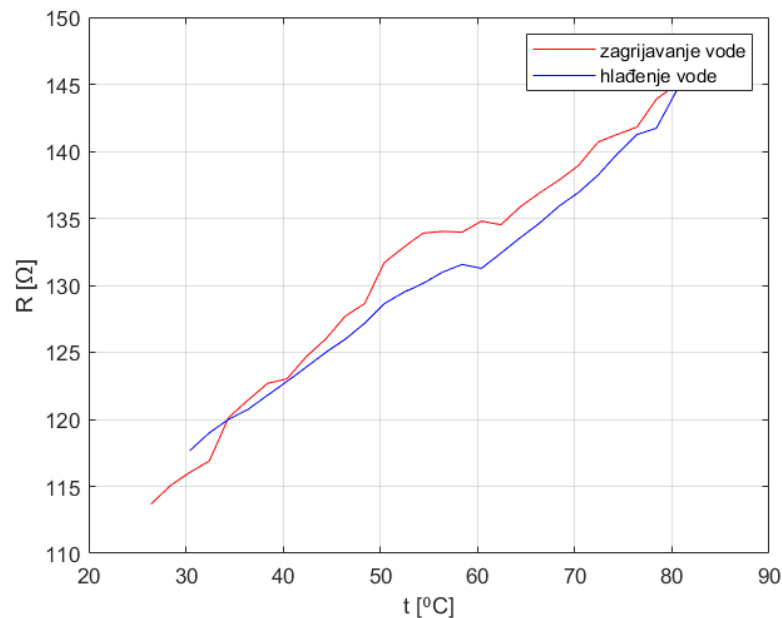
46,4	127,709	±0,099	300 Ω
48,4	128,645	±0,099	
50,4	131,698	±0,101	
52,4	132,838	±0,101	
54,4	133,894	±0,102	
56,4	134,026	±0,102	
58,4	133,963	±0,102	
60,4	134,787	±0,102	
62,4	134,521	±0,102	
64,4	135,864	±0,103	
66,4	136,909	±0,104	
68,4	137,866	±0,104	
70,4	138,955	±0,105	
72,4	140,693	±0,105	
74,4	141,267	±0,106	
76,4	141,814	±0,106	
78,4	143,894	±0,107	
80,4	144,971	±0,108	
82,4	145,717	±0,108	

**Tablica 4.8.** Rezultati mjerenja Pt100 sondom prilikom hlađenja vode

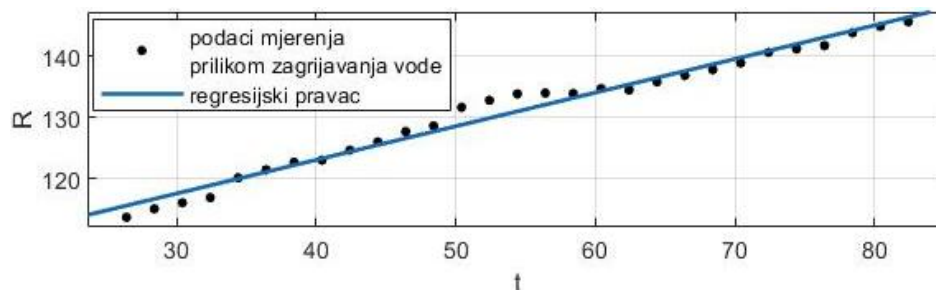
Pt100 sonda			
t [° C]	R [Ω]	Pogreške mjerenja [Ω]	Domet
26,4	/	/	300 Ω
28,4	/	/	
30,4	117,665	±0,094	
32,4	118,994	±0,095	
34,4	120,001	±0,095	
36,4	120,751	±0,095	
38,4	121,795	±0,096	
40,4	122,838	±0,096	
42,4	123,905	±0,097	
44,4	125,007	±0,098	
46,4	125,982	±0,098	
48,4	127,179	±0,099	
50,4	128,632	±0,099	
52,4	129,475	±0,1	
54,4	130,142	±0,1	
56,4	130,982	±0,101	
58,4	131,559	±0,101	
60,4	131,268	±0,101	

62,4	132,396	$\pm 0,101$
64,4	133,56	$\pm 0,102$
66,4	134,656	$\pm 0,102$
68,4	135,914	$\pm 0,103$
70,4	136,942	$\pm 0,104$
72,4	138,228	$\pm 0,104$
74,4	139,831	$\pm 0,105$
76,4	141,257	$\pm 0,106$
78,4	141,726	$\pm 0,106$
80,4	144,435	$\pm 0,107$
82,4	146,334	$\pm 0,108$

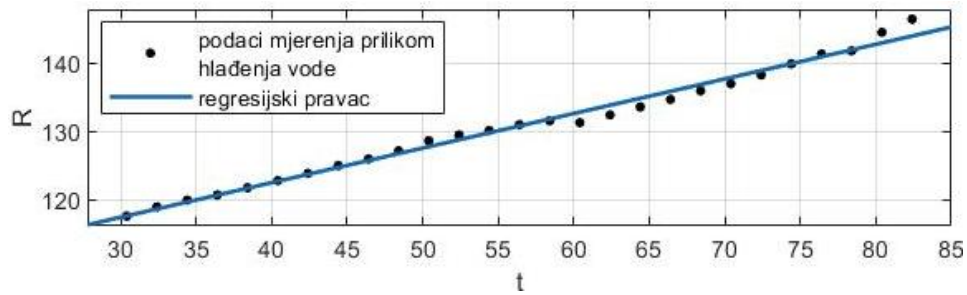
Pomoću dobivenih vrijednosti mjerenja crtaju se statičke prijenosne funkcije Pt100 sonde u programskom paketu MATLAB.



**Slika 4.10.** Statičke prijenosne funkcije Pt100 sonde prilikom zagrijavanja i hlađenja vode



**Slika 4.11.** Primjena regresijskog pravca na statičku prijenosnu funkciju Pt100 sonde prilikom zagrijavanja vode



**Slika 4.12.** Primjena regresijskog pravca na statičku prijenosnu funkciju Pt100 sonde prilikom hlađenja vode

**Tablica 4.9.** Jednadžbe pravaca i koeficijenti pravaca koji prikazuju statičke prijenosne funkcije Pt100 sonde, te njihovi intervali pouzdanosti

Pt100 sonda		
Promjena temperature	Zagrijavanje vode	Hlađenje vode
Jednadžba pravca	$y = 0,5513x + 101$	$y = 0,5053x + 102,4$
Koeficijent smjera „k“	0,5513	0,5053
Interval pouzdanosti „k“	< 0,5196 , 0,583 >	< 0,4807 , 0,5262 >
Odsječak na y-osi „l“	101	102,4
Interval pouzdanosti „l“	< 99,23 , 102,8 >	< 101,1 , 103,7 >

#### 4.4. Suotpornik

Prilikom mjerenja suotpornikom mjerna oprema koja se koristi sastoji se od:

Otpor sa panela (5 W, 0.1  $\Omega$ )

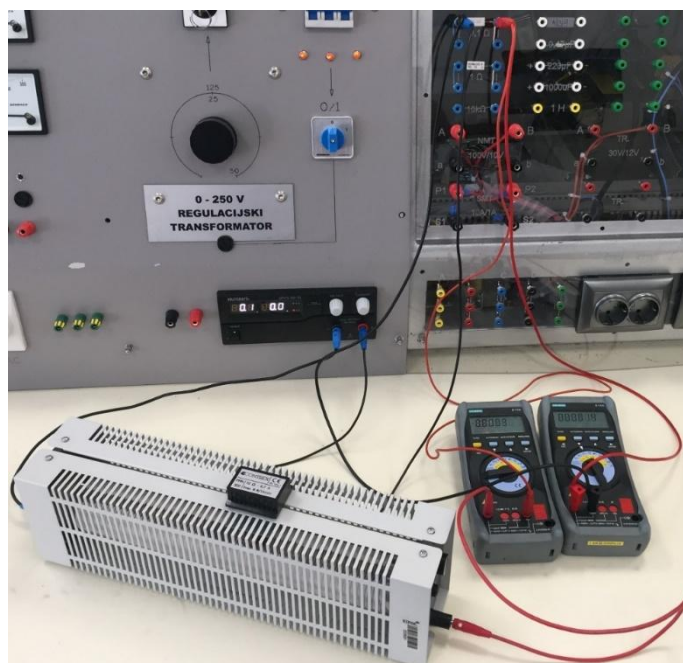
Klizni otpornik (10  $\Omega$ , 5.7 A)

Instrument – Siemens B1105 (univerzalni, ampermetar)

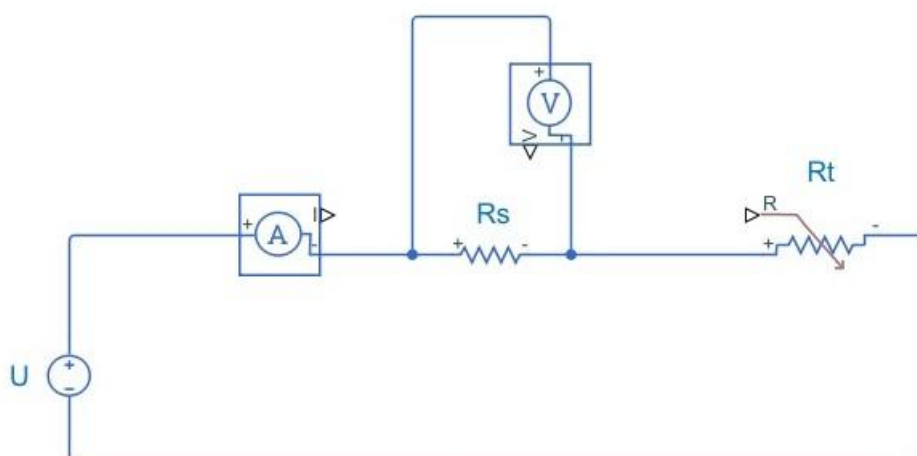
Instrument – Siemens B1105 (univerzalni, voltmetar)

Izvor – Voltcraft DPPS-60-10

Mjerni postav koji se koristi prilikom mjerenja suotpornikom se sastavi tako da se serijski na izvor Voltcraft DPPS-60-10 priključi klizni otpornik (10  $\Omega$ , 5.7 A). Serijski sa kliznim otpornikom se spoji univerzalni instrument Siemens B1105 koji se koristi kao ampermetar. Serijski sa ampermetrom se spoji otpor sa panela (5 W, 0.1  $\Omega$ ), te se na kraju sve priključi na drugi priključak izvora. Paralelno sa otporom sa panela (5 W, 0.1  $\Omega$ ) se spoji univerzalni instrument Siemens B1105 koji se koristi kao voltmetar. Klizač na kliznom otporniku se pomakne na neku neodređenu (nepoznatu) vrijednost.



**Slika 4.13.** Mjerni postav prilikom mjerenja suotpornikom



**Slika 4.14.** Shema korištenog mjernog postava prilikom mjerenja suotpornikom

U nastavku će se odrediti statička prijenosna funkcija (eng. calibration curve) suotpornika pri čemu će biti određena statička prijenosna funkcija suotpornika na temelju koje se može odrediti mjerena vrijednost otpornosti suotpornika, te će biti uspoređena s nazivnom vrijednosti. Mjerenje suotpornikom se provodi u četiri dijela gdje se u svakom dijelu provodi 30 mjerenja, te se očitavaju vrijednosti ukupne struje u krugu i pada napona na otporniku sa instrumenata. Mjerenja se provode mijenjanjem strujnog ograničenja tako da se za svako mjerenje podiže strujno ograničenje za 0,2 A. U prvom dijelu se podiže napon izvora mijenjanjem strujnog ograničenja od 0 V do 60 V. U drugom dijelu se spušta napon od 60 V do 0 V. Za treći i četvrti dio mjerenja se zamijene priključnice na izvoru kako bi se dobio negativan napon. Nakon toga se opet provodi mjerenje mijenjanjem strujnog ograničenja u dva koraka: od 0 V do -60 V i od -60 V do 0 V. Dobivene vrijednosti prilikom mjerenja se zapisuju u tablicu. Pogreške



instrumenata prilikom mjerenja suotpornikom se računaju koristeći izraze (1-10), (1-12), (1-13), (1-14) i (1-15) koji su preuzeti iz literature [9].

$$\text{Pogreške mjerenja napona: } 300 \text{ mV: } G = \pm(0,02\% \text{ m. v.} + 0,010\% \text{ dom.} + 5) \quad (1-12)$$

$$\text{Pogreške mjerenja struje: } 300 \text{ mA: } G = \pm(0,1\% \text{ m. v.} + 0,01\% \text{ dom.} + 5) \quad (1-13)$$

$$3 \text{ A: } G = \pm(0,2\% \text{ m. v.} + 0,05\% \text{ dom.} + 5) \quad (1-14)$$

$$10 \text{ A: } G = \pm(0,2\% \text{ m. v.} + 0,05\% \text{ dom.} + 5) \quad (1-15)$$

**Tablica 4.10.** Rezultati mjerenja suotpornikom prilikom mijenjanja napona od 0 V do 60 V

Suotpornik (0/60 V)						
Strujno ograničenje [A]	U [mV]	Pogreške mjerenja [mV]	Domet	I [A]	Pogreške mjerenja [A]	Domet
0,2	21,461	$\pm 0,034$	300 mV	0,2068	$\pm 2,418 \cdot 10^{-4}$	300 mA
0,4	42,126	$\pm 0,038$		0,406	$\pm 2,362 \cdot 10^{-3}$	3 A
0,6	62,855	$\pm 0,043$		0,6064	$\pm 2,763 \cdot 10^{-3}$	
0,8	83,363	$\pm 0,047$		0,8022	$\pm 3,154 \cdot 10^{-3}$	
1	104,118	$\pm 0,051$		1,0014	$\pm 3,552 \cdot 10^{-3}$	
1,2	125,003	$\pm 0,055$		1,2012	$\pm 3,952 \cdot 10^{-3}$	
1,4	145,885	$\pm 0,059$		1,4002	$\pm 4,35 \cdot 10^{-3}$	
1,6	167,02	$\pm 0,063$		1,6012	$\pm 4,752 \cdot 10^{-3}$	
1,8	188,05	$\pm 0,068$		1,8006	$\pm 5,152 \cdot 10^{-3}$	
2	209,21	$\pm 0,072$		1,9997	$\pm 5,55 \cdot 10^{-3}$	
2,2	230,231	$\pm 0,076$		2,1993	$\pm 5,95 \cdot 10^{-3}$	
2,4	251,46	$\pm 0,08$		2,3988	$\pm 6,35 \cdot 10^{-3}$	
2,6	272,548	$\pm 0,085$		2,5983	$\pm 6,75 \cdot 10^{-3}$	
2,8	294,07	$\pm 0,089$		2,7977	$\pm 7,15 \cdot 10^{-3}$	
3	315,59	$\pm 0,213$		2,9976	$\pm 7,55 \cdot 10^{-3}$	
3,2	337,07	$\pm 0,218$	3,198	$\pm 11,563 \cdot 10^{-3}$		
3,4	358,74	$\pm 0,222$	3,396	$\pm 11,959 \cdot 10^{-3}$		
3,6	380,92	$\pm 0,226$	3,596	$\pm 12,359 \cdot 10^{-3}$		
3,8	402,89	$\pm 0,231$	3,795	$\pm 12,757 \cdot 10^{-3}$		
4	425,24	$\pm 0,235$	3,997	$\pm 13,161 \cdot 10^{-3}$		
4,2	448,08	$\pm 0,24$	4,197	$\pm 13,561 \cdot 10^{-3}$		
4,4	470,65	$\pm 0,244$	4,397	$\pm 13,961 \cdot 10^{-3}$		
4,6	493,58	$\pm 0,249$	4,597	$\pm 14,361 \cdot 10^{-3}$		
4,8	517,63	$\pm 0,254$	4,796	$\pm 14,759 \cdot 10^{-3}$		
5	540,95	$\pm 0,258$	4,997	$\pm 15,161 \cdot 10^{-3}$		
5,2	564,64	$\pm 0,263$	5,197	$\pm 15,561 \cdot 10^{-3}$		
5,4	588,52	$\pm 0,268$	5,396	$\pm 15,959 \cdot 10^{-3}$		
5,6	613,52	$\pm 0,273$	5,597	$\pm 16,361 \cdot 10^{-3}$		

5,8	637,99	$\pm 0,278$		5,794	$\pm 16,755 * 10^{-3}$	
6	652,55	$\pm 0,281$		5,894	$\pm 16,955 * 10^{-3}$	

**Tablica 4.11.** Rezultati mjerenja suotpornikom prilikom mijenjanja napona od 60 V do 0 V

Suotpornik (60/0 V)						
Strujno ograničenje [A]	U [mV]	Pogreške mjerenja [mV]	Domet	I [A]	Pogreške mjerenja [A]	Domet
0,2	22,481	$\pm 0,035$	300 mV	0,2149	$\pm 2,499 * 10^{-4}$	300 mA
0,4	53,699	$\pm 0,041$		0,413	$\pm 2,376 * 10^{-3}$	3 A
0,6	64,268	$\pm 0,043$		0,6115	$\pm 2,773 * 10^{-3}$	
0,8	85,086	$\pm 0,047$		0,8073	$\pm 3,1646 * 10^{-3}$	
1	106,238	$\pm 0,051$		1,005	$\pm 3,56 * 10^{-3}$	
1,2	127,549	$\pm 0,056$		1,2045	$\pm 3,959 * 10^{-3}$	
1,4	148,95	$\pm 0,06$		1,4034	$\pm 4,3568 * 10^{-3}$	
1,6	170,81	$\pm 0,064$		1,6038	$\pm 4,7576 * 10^{-3}$	
1,8	192,193	$\pm 0,068$		1,8028	$\pm 5,1556 * 10^{-3}$	
2	214,294	$\pm 0,073$		2,002	$\pm 5,554 * 10^{-3}$	
2,2	236,6	$\pm 0,077$		2,2011	$\pm 5,9522 * 10^{-3}$	
2,4	258,334	$\pm 0,082$		2,4002	$\pm 6,3504 * 10^{-3}$	
2,6	280,93	$\pm 0,086$		2,5992	$\pm 6,7484 * 10^{-3}$	
2,8	302,82	$\pm 0,211$		2,7987	$\pm 7,1474 * 10^{-3}$	
3	325,75	$\pm 0,215$	2,998	$\pm 7,546 * 10^{-3}$	10 A	
3,2	347,88	$\pm 0,22$	3,198	$\pm 11,563 * 10^{-3}$		
3,4	370,96	$\pm 0,224$	3,397	$\pm 11,961 * 10^{-3}$		
3,6	393,97	$\pm 0,229$	3,597	$\pm 12,361 * 10^{-3}$		
3,8	417,23	$\pm 0,234$	3,797	$\pm 12,761 * 10^{-3}$		
4	440,72	$\pm 0,238$	3,998	$\pm 13,163 * 10^{-3}$		
4,2	463,45	$\pm 0,243$	4,197	$\pm 13,561 * 10^{-3}$		
4,4	486,92	$\pm 0,247$	4,397	$\pm 13,961 * 10^{-3}$		
4,6	510,05	$\pm 0,252$	4,597	$\pm 14,361 * 10^{-3}$		
4,8	533,52	$\pm 0,257$	4,797	$\pm 14,761 * 10^{-3}$		
5	556,32	$\pm 0,261$	4,998	$\pm 15,163 * 10^{-3}$		
5,2	579,46	$\pm 0,266$	5,198	$\pm 15,563 * 10^{-3}$		
5,4	602,25	$\pm 0,271$	5,397	$\pm 15,961 * 10^{-3}$		
5,6	624,96	$\pm 0,275$	5,598	$\pm 16,363 * 10^{-3}$		
5,8	637,74	$\pm 0,278$	5,887	$\pm 16,941 * 10^{-3}$		
6	655,58	$\pm 0,281$	5,896	$\pm 16,959 * 10^{-3}$		

**Tablica 4.12.** Rezultati mjerenja suotpornikom prilikom mijenjanja napona od 0 V do -60 V

Suotpornik (0/-60 V)						
----------------------	--	--	--	--	--	--

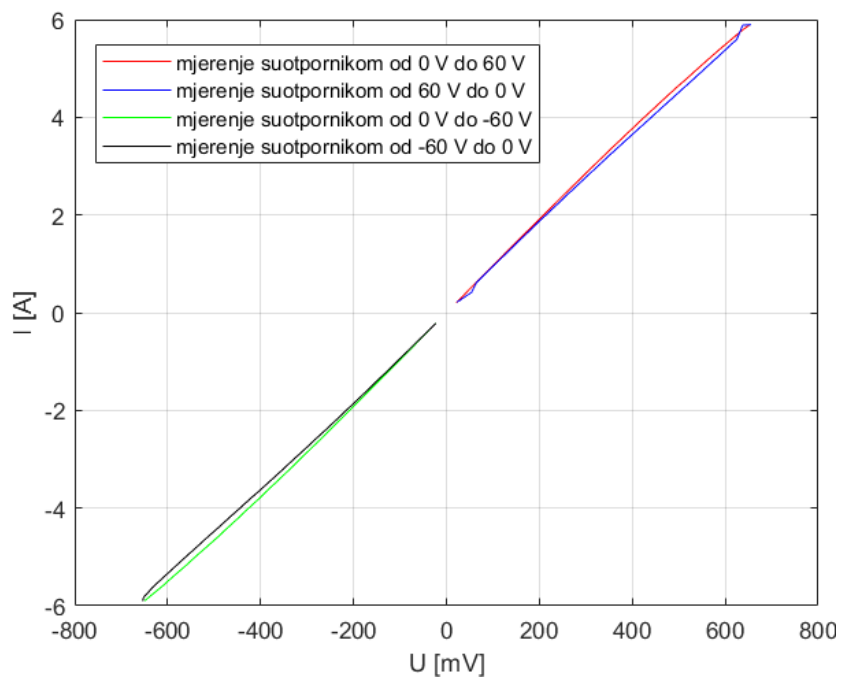
Strujno ograničenje [A]	U [mV]	Pogreške mjerenja [mV]	Domet	I [A]	Pogreške mjerenja [A]	Domet
0,2	-22,125	±0,034	300 mV	-0,2138	±2,488 * 10 <sup>-4</sup>	300 mA
0,4	-42,785	±0,039		-0,4122	±2,3744 * 10 <sup>-3</sup>	3 A
0,6	-63,428	±0,043		-0,6113	±2,7726 * 10 <sup>-3</sup>	
0,8	-83,861	±0,047		-0,8087	±3,1674 * 10 <sup>-3</sup>	
1	-104,541	±0,051		-1,0072	±3,5644 * 10 <sup>-3</sup>	
1,2	-125,173	±0,055		-1,2064	±3,9628 * 10 <sup>-3</sup>	
1,4	-145,971	±0,059		-1,4053	±4,3606 * 10 <sup>-3</sup>	
1,6	-166,896	±0,063		-1,6062	±4,7624 * 10 <sup>-3</sup>	
1,8	-187,887	±0,068		-1,805	±5,16 * 10 <sup>-3</sup>	
2	-208,742	±0,072		-2,0045	±5,559 * 10 <sup>-3</sup>	
2,2	-229,876	±0,076		-2,2036	±5,9572 * 10 <sup>-3</sup>	
2,4	-250,95	±0,08		-2,403	±6,356 * 10 <sup>-3</sup>	
2,6	-272,455	±0,085		-2,6019	±6,7538 * 10 <sup>-3</sup>	
2,8	-293,666	±0,089		-2,8017	±7,1534 * 10 <sup>-3</sup>	
3	-315,43	±0,213	3 V	-3,0011	±11,169 * 10 <sup>-3</sup>	
3,2	-336,69	±0,217		-3,201	±11,569 * 10 <sup>-3</sup>	
3,4	-358,6	±0,222		-3,399	±11,965 * 10 <sup>-3</sup>	
3,6	-380,56	±0,226		-3,597	±12,361 * 10 <sup>-3</sup>	
3,8	-402,23	±0,231		-3,797	±12,761 * 10 <sup>-3</sup>	
4	-425,33	±0,235		-3,999	±13,165 * 10 <sup>-3</sup>	
4,2	-447,24	±0,240		-4,197	±13,561 * 10 <sup>-3</sup>	
4,4	-470,19	±0,244		-4,397	±13,961 * 10 <sup>-3</sup>	
4,6	-492,51	±0,249		-4,597	±14,361 * 10 <sup>-3</sup>	
4,8	-516,22	±0,253		-4,796	±14,759 * 10 <sup>-3</sup>	
5	-540,37	±0,258		-4,997	±15,161 * 10 <sup>-3</sup>	
5,2	-563,13	±0,263		-5,197	±15,561 * 10 <sup>-3</sup>	
5,4	-587,62	±0,268		-5,396	±15,959 * 10 <sup>-3</sup>	
5,6	-611,04	±0,272		-5,597	±16,361 * 10 <sup>-3</sup>	
5,8	-636,5	±0,277	-5,795	±16,757 * 10 <sup>-3</sup>		
6	-649,29	±0,28	-5,898	±16,963 * 10 <sup>-3</sup>		

Tablica 4.13. Rezultati mjerenja suotpornikom prilikom mijenjanja napona od -60 V do 0 V

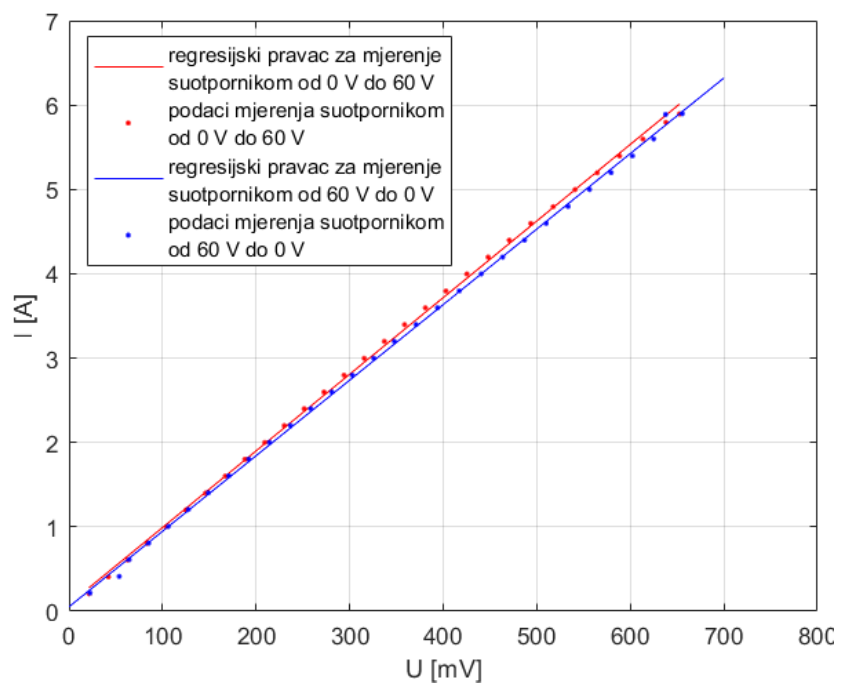
Suotpornik (-60/0 V)						
Strujno ograničenje [A]	U [mV]	Pogreške mjerenja [mV]	Domet	I [A]	Pogreške mjerenja [A]	Domet
0,2	-22,685	±0,035		-0,2145	±2,495 * 10 <sup>-4</sup>	300 mA
0,4	-43,647	±0,039		-0,4121	±2,3742 * 10 <sup>-3</sup>	
0,6	-64,802	±0,043		-0,6104	±2,7708 * 10 <sup>-3</sup>	

0,8	-85,779	$\pm 0,047$	300 mV	-0,8077	$\pm 3,1654 * 10^{-3}$	3 A
1	-107,195	$\pm 0,051$		-1,0062	$\pm 3,5624 * 10^{-3}$	
1,2	-128,539	$\pm 0,056$		-1,2055	$\pm 3,961 * 10^{-3}$	
1,4	-150,171	$\pm 0,06$		-1,4034	$\pm 4,3568 * 10^{-3}$	
1,6	-171,879	$\pm 0,064$		-1,6045	$\pm 4,759 * 10^{-3}$	
1,8	-193,747	$\pm 0,069$		-1,8035	$\pm 5,157 * 10^{-3}$	
2	-215,927	$\pm 0,073$		-2,002	$\pm 5,554 * 10^{-3}$	
2,2	-237,813	$\pm 0,078$		-2,2011	$\pm 5,9522 * 10^{-3}$	
2,4	-260,11	$\pm 0,082$		-2,4003	$\pm 6,3506 * 10^{-3}$	
2,6	-283,01	$\pm 0,087$		-2,5996	$\pm 6,7492 * 10^{-3}$	
2,8	-305,43	$\pm 0,211$	3 V	-2,8	$\pm 7,15 * 10^{-3}$	10 A
3	-328,44	$\pm 0,216$		-2,998	$\pm 7,546 * 10^{-3}$	
3,2	-350,86	$\pm 0,22$		-3,197	$\pm 11,561 * 10^{-3}$	
3,4	-373,76	$\pm 0,225$		-3,397	$\pm 11,961 * 10^{-3}$	
3,6	-408,47	$\pm 0,232$		-3,696	$\pm 12,559 * 10^{-3}$	
3,8	-420,82	$\pm 0,234$		-3,795	$\pm 12,757 * 10^{-3}$	
4	-443,9	$\pm 0,239$		-3,997	$\pm 13,161 * 10^{-3}$	
4,2	-467,67	$\pm 0,244$		-4,197	$\pm 13,561 * 10^{-3}$	
4,4	-490,56	$\pm 0,248$		-4,397	$\pm 13,961 * 10^{-3}$	
4,6	-514,28	$\pm 0,253$		-4,595	$\pm 14,357 * 10^{-3}$	
4,8	-537,27	$\pm 0,258$		-4,796	$\pm 14,759 * 10^{-3}$	
5	-560,88	$\pm 0,262$		-4,996	$\pm 15,159 * 10^{-3}$	
5,2	-583,74	$\pm 0,267$		-5,196	$\pm 15,559 * 10^{-3}$	
5,4	-606,78	$\pm 0,271$		-5,397	$\pm 15,961 * 10^{-3}$	
5,6	-629,44	$\pm 0,276$	-5,597	$\pm 16,361 * 10^{-3}$		
5,8	-651,56	$\pm 0,28$	-5,823	$\pm 16,813 * 10^{-3}$		
6	-653,33	$\pm 0,281$	-5,898	$\pm 16,963 * 10^{-3}$		

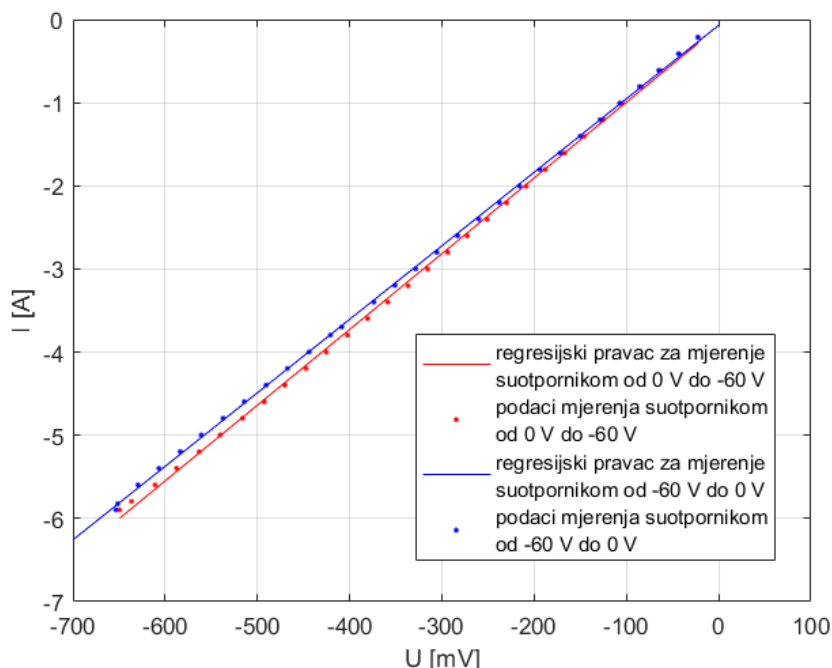
Nakon što se unesu rezultati mjerenja u tablice isti se koriste kako bi se u programskom paketu MATLAB nacrtale statičke prijenosne funkcije prilikom mjerenja suotpornikom.



**Slika 4.15.** Statičke prijenosne funkcije prilikom mjerenja suotpornikom od 0 V do 60 V, od 60 V do 0 V, od 0 V do -60 V i od -60 V do 0 V



**Slika 4.16.** Podaci mjerenja suotpornikom od 0 V do 60 V i od 60 V do 0 V te primjena regresijskog pravca na mjerne podatke



**Slika 4.17.** Podaci mjerenja suotpornikom od 0 V do -60 V i od -60 V do 0 V te primjena regresijskog pravca na mjerne podatke

**Tablica 4.14.** Jednadžbe pravaca i koeficijenti pravaca koji prikazuju statičke prijenosne funkcije suotpornika, te njihovi intervali pouzdanosti

Suotpornik		
Promjena napona	0 V do 60 V	60 V do 0 V
Jednadžba pravca	$y = 9,082 * 10^{-3}x + 0,08443$	$y = 8,953 * 10^{-3}x + 0,05312$
Koeficijent smjera „k“	$9,082 * 10^{-3}$	$8,953 * 10^{-3}$
Interval pouzdanosti	$< 8,987 * 10^{-3}, 9,177 * 10^{-3} >$	$< 8,87 * 10^{-3}, 9,037 * 10^{-3} >$
Odsječak na y-osi „l“	0,08443	0,05312
Interval pouzdanosti	$< 0,04813, 0,1207 >$	$< 0,02046, 0,08578 >$

**Tablica 4.15.** Jednadžbe pravaca i koeficijenti pravaca koji prikazuju statičke prijenosne funkcije suotpornika, te njihovi intervali pouzdanosti

Suotpornik		
Promjena napona	0 V do -60 V	-60 V do 0 V
Jednadžba pravca	$y = 9,107 * 10^{-3}x - 0,0836$	$y = 8,84 * 10^{-3}x - 0,06847$
Koeficijent smjera „k“	$9,107 * 10^{-3}$	$8,84 * 10^{-3}$
Interval pouzdanosti	$< 9,017 * 10^{-3}, 9,197 * 10^{-3} >$	$< 8,786 * 10^{-3}, 8,894 * 10^{-3} >$
Odsječak na y-osi „l“	-0,0836	-0,06847
Interval pouzdanosti	$< -0,118, -0,04918 >$	$< -0,08981, -0,04713 >$

## 5. ZAKLJUČAK

Mjerni pretvornici su komponente koje pretvaraju mjerenu veličinu (brzinu, silu, tlak...) u električni signal i tako nam olakšavaju mjerenje vrijednosti tih veličina. Razlikujemo aktivne i pasivne pretvornike. Aktivni pretvornici ne trebaju napajanje zato što fizikalnim efektima pretvaraju određenu energiju u električnu, dok pasivni pretvornici za svoj rad trebaju napajanje. Mjerne pretvornike najčešće opisujemo njihovim prijenosnim funkcijama, pa prema tome razlikujemo statičke i dinamičke prijenosne funkcije mjernih pretvornika. Statičke prijenosne funkcije se ne mijenjaju s vremenom, dok su dinamičke prijenosne funkcije rezultat dinamičke analize pri kojoj se ispituju vremenske promjene izlaznih veličina.

U ovom završnom radu promatraju se statičke prijenosne funkcije mjernih pretvornika koje se crtaju u programskom paketu MATLAB pomoću dobivenih rezultata mjerenje u laboratoriju. Na osnovi nacrtanih statičkih prijenosnih funkcija korištenih mjernih pretvornika zaključuje se da samo fotootpornik ima nelinearnu statičku prijenosnu funkciju dok ostali korišteni mjerni pretvornici imaju linearne ili približno linearne statičke prijenosne funkcije. Dobivene statičke prijenosne funkcije pokazuju kako kod pojedinih mjernih pretvornika dolazi do pogrešaka, tj. kako one odstupaju od idealnog slučaja (linearna statička prijenosna funkcija). Tako na osnovi statičkih prijenosnih funkcija suotpornika i diferencijalnog transformatora zaključuje se da dolazi do pojave statičkih prijenosnih funkcija s histerezom čime se može zaključiti da izlazna veličina nije ovisna samo o ulaznoj veličini nego i o samom sustavu, te se također može zaključiti da dolazi do promjene osjetljivosti na ulaznu veličinu, tj. dolazi do promjene nagiba statičke prijenosne funkcije (klizanje nagiba ili pogreška pojačanja). Kod fotootpornika i pt100 sonde dobiva se nelinearnost statičke prijenosne funkcije odnosno odnos ulazne i izlazne veličine nema idealan linearni odnos nego nelinearan. Također na osnovi dobivenih podataka mjerenja u mjernom laboratoriju može se zaključiti kako su sva provedena mjerenja za korištene mjerne pretvornike (diferencijalni transformator, fotootpornik, pt100 sonda i suotpornik) unutar intervala pogrešaka koje je deklarirao proizvođač mjerne opreme. To znači da su sva mjerenja provedena ispravno, te da svi mjerni pretvornici ispravno rade.

## LITERATURA

- [1] D.C., Montgomery, „Applied Statistics and Probability for Engineers“, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2003.
- [2] R., Malarić, „Mjerenja u tehnološkim procesima“, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2015.
- [3] Tehničko veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel, „Procesna mjerenja (podloge za vježbe), Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb
- [4] N. Bolf, „Mjerna i regulacijska tehnika – mjerenje razine, 1.dio“, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu
- [5] Wikipedija, „Pretvornik pomaka“, dostupno na:  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Pretvornik\\_pomaka](https://hr.wikipedia.org/wiki/Pretvornik_pomaka) [01.08.2021.]
- [6] M. Cifrek, T. Pribanić, „Mjerni pretvornici – prilog predavanjima“, Fakultet elektrotehnike i računarstva, ZESOI, 2002.
- [7] Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, „Predlošci za laboratorijske vježbe iz Osnova mjerenja LV15: Mjerni pretvornici“, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2019.
- [8] STED – Statistički edukativni portal, „Statističko zaključivanje: Jednostavna linearna regresija“, STED, dostupno na: <https://stedy.hr/statisticko-zakljucivanje/jednostavna-linearna-regresija> [9.3.2021.]
- [9] sigrok, „Siemens B1105“, sigrok, 2016., dostupno na:  
[https://sigrok.org/wiki/Siemens\\_B1105](https://sigrok.org/wiki/Siemens_B1105) [29.4.2021.]
- [10] V., Bego, „Mjerenja u elektrotehnici“, Tehnička knjiga Zagreb, Zagreb, 1979.



## SAŽETAK

Izradom ovog završnog rada upoznaje se sa principom rada nekih mjernih pretvornika kao što su diferencijalni transformator, pt100 sonda, fotootpornik i suotpornik, te se pri tome promatra pretvorbu pomaka, temperature, intenziteta svjetlosti u električni signal i pretvorbu struje u napon. Nakon provedenih mjerenja u laboratoriju pomoću dobivenih rezultata mjerenja u programskom paketu MATLAB crtaju se statičke prijenosne funkcije za sve korištene mjerne pretvornike. Primjenom statističkih metoda određuju se kvaliteta regresije i varijanca parametara u programskom paketu MATLAB, te se ti podatci koriste za određivanje pogreške prilikom mjerenja određenim mjernim pretvornikom.

**Ključne riječi:** diferencijalni transformator, pt100 sonda, fotootpornik, suotpornik, regresija, MATLAB

### **Application of regression when determining static transfer functions of measuring transducers**

## ABSTRACT

This final paper introduces the principle of operation of some measuring transducers such as differential transformer, pt100 probe, photoresistor and co-resistor, and observes the conversion of displacement, temperature, light intensity into an electrical signal and the conversion of current into voltage. After the performed measurements in the laboratory, the static transfer functions for all used measuring transducers are drawn using the obtained measurement results in the MATLAB software package. The application of statistical methods determines the quality of regression and the variance of parameters in the MATLAB software package, and these data are used to determine the error when measuring with a specific measuring transducer.

**Key words:** differential transformer, pt100 probe, photoresistor, shunt resistor, regression, MATLAB

## **ŽIVOTOPIS**

Marin Sertić rođen je 30.08.1999. godine u Bjelovaru. Završio je II. Osnovnu školu Bjelovar nakon čega upisuje Tehničku školu Bjelovar. Završetkom Tehničke škole Bjelovar stječe zvanje tehničar za računalstvo, te nakon toga upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Trenutno pohađa 3. godinu sveučilišnog preddiplomskog studija elektrotehnika i informacijska tehnologija, smjer elektroenergetika.

# PRILOZI

## POPIS SLIKA

### Mjerni pretvornici:

<b>Slika 2.1.</b> Diferencijalni transformator .....	3
<b>Slika 2.2.</b> Fotootpornik .....	4
<b>Slika 2.3.</b> Pt100 sonda.....	4
<b>Slika 2.4.</b> Suotpornik.....	5

### Linearna regresija:

<b>Slika 3.1.</b> Izgled prozora za primjenu regresije na željene funkcije .....	8
<b>Slika 3.2.</b> Izgled prozora za spremanje regresije u Workspace.....	8
<b>Slika 3.3.</b> Prikaz izračuna 95% intervala pouzdanosti u MATLAB-u .....	9

### Mjerni postav i rezultati mjerenja:

<b>Slika 4.1.</b> Mjerni postav prilikom mjerenja diferencijalnim transformatorom .....	10
<b>Slika 4.2.</b> Statičke prijenosne funkcije diferencijalnog transformatora prilikom pomicanja feromagnetske jezgre ulijevo i udesno.....	12
<b>Slika 4.3.</b> Primjena regresijskog pravca na statičku prijenosnu funkciju diferencijalnog transformatora prilikom pomicanja feromagnetske jezgre ulijevo .....	12
<b>Slika 4.4.</b> Primjena regresijskog pravca na statičku prijenosnu funkciju diferencijalnog transformatora prilikom pomicanja feromagnetske jezgre udesno .....	12
<b>Slika 4.5.</b> Mjerni postav prilikom mjerenja fotootpornikom .....	13
<b>Slika 4.6.</b> Statičke prijenosne funkcije fotootpornika prilikom udaljavanja i približavanja žarulje fotootporniku .....	15
<b>Slika 4.7.</b> Primjena regresije višeg stupnja na statičku prijenosnu funkciju fotootpornika prilikom udaljavanja žarulje od fotootpornika .....	15
<b>Slika 4.8.</b> Primjena regresije višeg stupnja na statičku prijenosnu funkciju fotootpornika prilikom približavanja žarulje fotootporniku .....	16
<b>Slika 4.9.</b> Mjerni postav prilikom mjerenja Pt100 sondom .....	17
<b>Slika 4.10.</b> Statičke prijenosne funkcije Pt100 sonde prilikom zagrijavanja i hlađenja vode.....	19
<b>Slika 4.11.</b> Primjena linearne regresije na statičku prijenosnu funkciju Pt100 sonde prilikom zagrijavanja vode .....	19
<b>Slika 4.12.</b> Primjena linearne regresije na statičku prijenosnu funkciju Pt100 sonde prilikom hlađenja vode .....	20
<b>Slika 4.13.</b> Mjerni postav prilikom mjerenja suotpornikom .....	21
<b>Slika 4.14.</b> Shema korištenog mjernog postava prilikom mjerenja suotpornikom .....	21
<b>Slika 4.15.</b> Statičke prijenosne funkcije prilikom mjerenja suotpornikom od 0 V do 60 V, od 60 V do 0 V, od 0 V do -60 V i od -60 V do 0 V.....	26
<b>Slika 4.16.</b> Podaci mjerenja suotpornikom od 0 V do 60 V i od 60 V do 0 V te primjena regresijskog pravca na mjerne podatke.....	26
<b>Slika 4.17.</b> Podaci mjerenja suotpornikom od 0 V do -60 V i od -60 V do 0 V te primjena regresijskog pravca na mjerne podatke.....	27

## POPIS TABLICA

### Mjerni postav i rezultati mjerenja

<b>Tablica 4.1.</b> Rezultati mjerenja pri pomicanju feromagnetske jezgre udesno .....	11
<b>Tablica 4.2.</b> Rezultati mjerenja pri pomicanju feromagnetske jezgre ulijevo .....	11
<b>Tablica 4.3.</b> Jednadžbe pravaca i koeficijenti pravaca koji prikazuju statičke prijenosne funkcije diferencijalnog transformatora, te njihovi intervali pouzdanosti.....	13
<b>Tablica 4.4.</b> Rezultati mjerenja fotootpornikom prilikom udaljavanja žarulje od fotootpornika .....	14
<b>Tablica 4.5.</b> Rezultati mjerenja fotootpornikom prilikom približavanja žarulje fotootporniku .....	14
<b>Tablica 4.6.</b> Jednadžbe krivulja i koeficijenti krivulja koji prikazuju statičke prijenosne funkcije fotootpornika, te njihovi intervali pouzdanosti .....	16
<b>Tablica 4.7.</b> Rezultati mjerenja Pt100 sondom prilikom zagrijavanja vode .....	17
<b>Tablica 4.8.</b> Rezultati mjerenja Pt100 sondom prilikom hlađenja vode.....	18
<b>Tablica 4.9.</b> Jednadžbe pravaca i koeficijenti pravaca koji prikazuju statičke prijenosne funkcije Pt100 sonde, te njihovi intervali pouzdanosti .....	20
<b>Tablica 4.10.</b> Rezultati mjerenja suotpornikom prilikom mijenjanja napona od 0 V do 60 V .....	22
<b>Tablica 4.11.</b> Rezultati mjerenja suotpornikom prilikom mijenjanja napona od 60 V do 0 V.....	23
<b>Tablica 4.12.</b> Rezultati mjerenja suotpornikom prilikom mijenjanja napona od 0 V do -60 V.....	23
<b>Tablica 4.13.</b> Rezultati mjerenja suotpornikom prilikom mijenjanja napona od -60 V do 0 V.....	24
<b>Tablica 4.14.</b> Jednadžbe pravaca i koeficijenti pravaca koji prikazuju statičke prijenosne funkcije suotpornika, te njihovi intervali pouzdanosti .....	27
<b>Tablica 4.15.</b> Jednadžbe pravaca i koeficijenti pravaca koji prikazuju statičke prijenosne funkcije suotpornika, te njihovi intervali pouzdanosti .....	27