

1. Laboratorijska vježba

Mjerenje temperature u sustavima automatizacije

Svrha ove laboratorijske vježbe je upoznati studente sa različitim tipovima senzora temperature koji se danas koriste u sustavima automatskog upravljanja. Osnovni cilj je uvidjeti prednosti i mane pojedinih senzora i načina mjerenja, te procesom identifikacije matematički modelirati korištene senzore.

1 Priprema

Mjerni pretvornici su, promatrani sa stanovišta teorije automatskog upravljanja, elementi prijenosa. Karakteristike prijenosa mjernih pretvornika bitna su za njihovu primjenu u sustavima automatskog upravljanja. Točnost mjerenja određena je statičkim karakteristikama pretvornika, a njihove dinamičke karakteristike utječu na kvalitetu ponašanja sustava automatskog upravljanja (stabilnost, brzina odziva upravljane veličine). Dinamičke karakteristike prijenosa mjernih pretvornika podrazumijevaju način na koji izlazni signal iz mjernog pretvornika slijedi vremenski promjenjivi ulazni signal, tj. način na koji promatrano u vremenu, prenosi promjene mjerene veličine.

Današnji mjerni pretvornici temperature mijenjaju svoj otpor ili daju određeni naponski signal pod utjecajem temperature. Tehničke dokumentacije mjernih pretvornika definiraju relacije pretvorbe izlaza pretvornika u promatranu veličinu temperature u jedinicama $[K]$ ili $[^{\circ}C]$. Tehničke dokumentacije definiraju diskretne uzorke pretvorbe mjerene veličine u temperaturu te je zadatak projektanta odrediti odgovarajući način pretvorbe mjerenja prema zahtjevima sustava. Često korišteni način dobivanja relacije pretvorbe je interpolacija točaka polinomima proizvoljnog reda. U slučajevima izrazito linearnih senzora moguće je koristiti polinome prvog stupnja bez značajnog smanjenja preciznosti.

Dinamičke karakteristike određuju se na temelju prijelazne i prijenosne funkcije. Matematički opis prijenosne funkcije mjernog detektora je rješenje diferencijalne jednadžbe općeg oblika:

$$b_0 x_u(t) = a_1 \dot{x}_i(t) + a_0 x_i(t) \quad (1)$$

$$K x_u(t) = T_1 \dot{x}_i(t) + x_i(t) \quad (2)$$

uz $x_u(t) = S(t)$, $K = \frac{b_0}{a_0}$, $T_1 = \frac{a_1}{a_0}$

Prijenosna funkcija dobiva se empirijskim mjerenjem izlaznog signala iz mjernog pretvornika nakon skokovite promjene mjerene veličine. Skokovita funkcija ulaza je jedan od osnovnih test signala koji se primjenjuju na elemente sustava automatskog upravljanja. U uvodu ukratko se opisuje aproksimativni postupak određivanja prijenosne funkcije prvog reda s mrtvim vremenom. Ovakav postupak na jednostavan način može aproksimirati sustave prvog i drugog reda s mrtvim vremenom te se u praksi pokazao zadovoljavajućim. Na Slici 1 prikazan je aproksimativni postupak određivanja prijenosne funkcije mjernog pretvornika na temelju mjerenja skokovitog ulaznog signala.

Grafičkom analizom vremenskog odziva izlaznog signala iz pretvornika određuju se njegove dinamičke karakteristike. Presjecište tangente na izmjerenu krivulju u točki infleksije s osi apscisa i konačnom vrijednosti funkcije prijelaza $\frac{x_i(t)}{x_u(t)}|_{t=\infty}$ određuje karakteristične dinamičke parametre elementa:

- *Pojačanje sustava* $K = \frac{x_i(t)}{x_u(t)}|_{t=\infty}$
- *Mrtvo vrijeme* T_m
- *Vremensku konstantu* T_1

Prijenosna funkcija linearnog sustava ili elementa definirana je kao odnos Laplaceove transformacije ulaznog signala (pobude), uz pretpostavku da su svi početni uvjeti jednaki nuli. Zapis prijenosne funkcije prvog reda u standardnom zapisu s Laplaceovim operatorom $s = j\omega$ glasi:

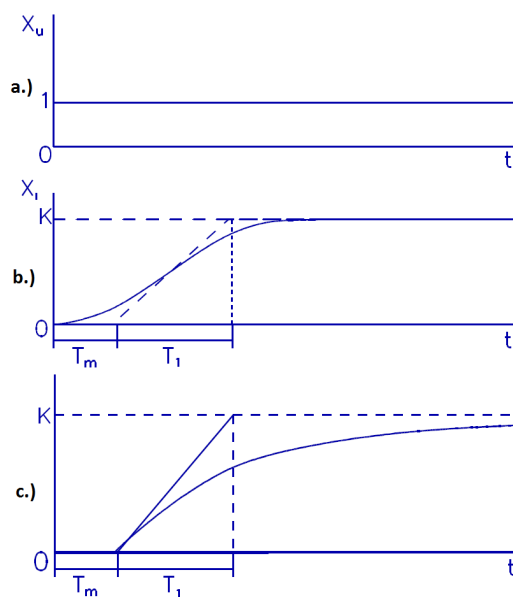
$$G(s) = \frac{K}{1 + T_1 s} e^{-T_m s} \quad (3)$$

gdje je $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$. Prijenosna funkcija ne ovisi o obliku i značajkama ulaznog signala već

ovisi o strukturi samog sustava i vrijednostima njegovih parametara. Prijenosna funkcija opisuje dinamičko ponašanje elementa ili sustava algebarskim jednadžbama po parametru s . Najviša potencija po s u nazivniku izraza za prijenosnu funkciju određuje red sustava. Ovaj proces prvog reda u većini slučajeva dovoljno dobro opisuje stvarno vladanje sustava. No, međutim prilikom identifikacije kompleksnijih mjernih pretvornika potrebno je dodatnu dinamiku opisati uvođenjem dodatnih nedominantnih vremenskih konstanti sustava T_2 i T_3 :

$$G(s) = \frac{K}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)(1 + T_3 s)} e^{-T_m s} \quad (4)$$

Vremenske konstante definiraju polove u prijenosnoj funkciji koje u najvećoj mjeri određuju ponašanje sustava. U slučaju definiranja sustava preko vremenskih konstanti polovi prijenosne funkcije su realni i iznose $p_i = -\frac{1}{T_i}$. Na taj način moguće je dobro opisati sustave bez nadvišenja kakvim se ponašanjem odlikuju temperaturni mjerni pretvornici.



Slika 1: Aproximativni postupak određivanja prijenosne funkcije

1.1 Pripremni zadatak

Kao pripremu za laboratorijsku vježbu studenti su dužni proučiti predavanja i tekst laboratorijske vježbe te riješiti sljedeće pripremne zadatke, čija je rješenja potrebno donijeti prilikom odrađivanja laboratorijske vježbe:

Potrebno je proučiti tehničke dokumentacije senzora koji se koriste na laboratorijskoj vježbi [1, 2, 3, 4, 5] te izvesti polinomske relacije pretvorbe temperature za otporničke:

$$T [^{\circ}C] = f(R) [\Omega] = \sum_{i=0}^{p_{max}} a_i R^i \quad (5)$$

i naponske senzore:

$$T [^{\circ}C] = f(U) [V] = \sum_{i=0}^{p_{max}} a_i U^i \quad (6)$$

1. U prvom slučaju potrebno je odrediti koeficijente $a_0 \dots a_{p_{max}}$ da bi se dobilo što bolje slaganje tehničkih podataka s interpoliranom funkcijom na području temperatura od 0 do 150 °C. Pokušajte pronaći minimalni red polinoma koji još uvijek dobro opisuje točke u tehničkoj dokumentaciji. Maksimalni red polinoma ne smije prelaziti $p_{max} \leq 11$.
2. U drugom slučaju potrebno je pretpostaviti afino ponašanje odziva senzora te je potrebno pronaći koeficijente a_0 i a_1 koji najbliže opisuju krivulju senzora na području temperature od 0 do 150 °C.

U oba slučaja izračunajte srednju pogrešku interpolacije u odnosu na tipične (engl. Typical) vrijednosti u poznatim točkama iz tehničke dokumentacije na području od 0 do 150 °C

Napomene:

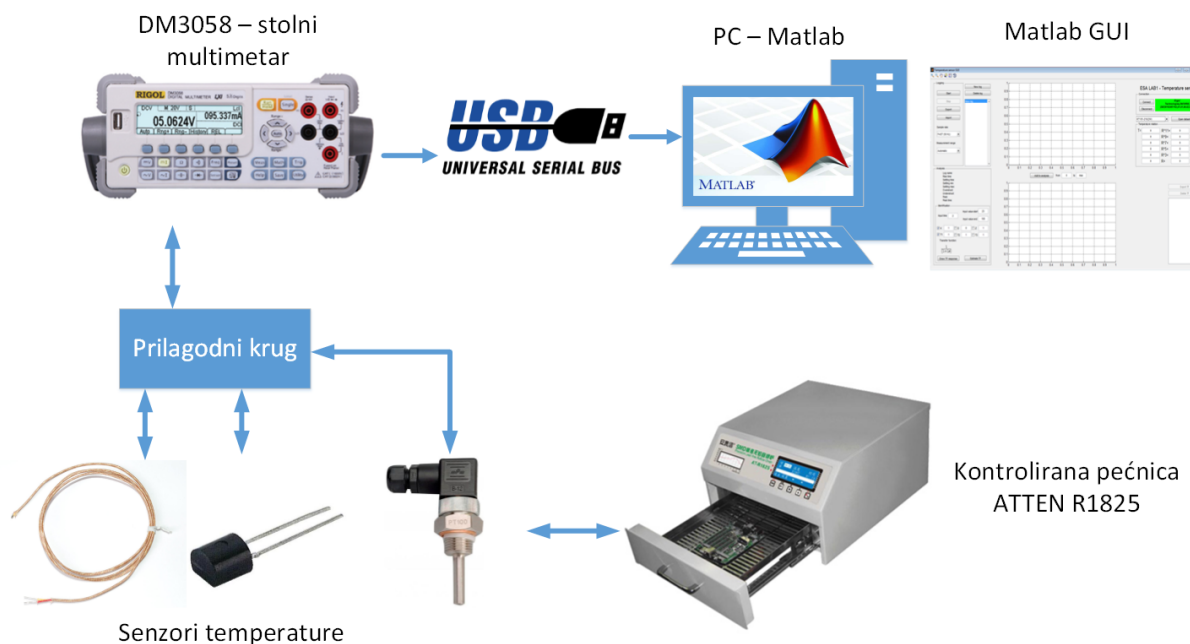
- *Za izradu pripremnog zadatka koristite programski paket Matlab. Proučite Matlab funkcije **polifit** i **polyval**.*
- *Ukoliko senzor već ima linearno ponašanje prema tehničkoj dokumentaciji, nije potrebno tražiti polinom višeg reda.*
- *Predpostavite da točke "typical" u tehničkoj dokumentaciji nekih senzora opisuju stvarno vladanje. Ovakvo ponašanje moguće je postići pravilnim umjeravanjem senzora.*
- *Izračunati koeficijenti polinoma koriste se pri izvodenju laboratorijske vježbe, stoga ih je potrebno jasno navesti u pripremi.*

2 Opis opreme

U sljedećem poglavlju opisana je oprema i programska podrška koja se koristi pri izvođenju laboratorijske vježbe. Ovu cjelinu potrebno je prethodno detaljno proučiti.

2.1 Mjerni uređaji i senzori

U ovoj laboratorijskoj vježbi koriste se sljedeći elementi prikazani na Slici 2:



Slika 2: Konceptualna shema opreme na laboratorijskoj vježbi

- *Mjerni instrument RIGOL DM3058*
 - Precizni multimetar
 - USB veza sa računalom
 - 5.5 znamenki preciznosti
 - Dvožično i četverožično mjerenje otpora
- *Precizna pećnica ATTEN R1825*
 - Precizno upravljanje temperaturom za lemljenje elektroničkih pločica
 - 1.2 kW snage
 - Podesivost 50 do 300 °C
 - Kontrola temperature do $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- *Naponski i otpornički temperaturni senzori*
 - Otpornički termometar KTY81/210 s pozitivnim temperaturnim koeficijentom [1]
 - Naponski termometar LM35 [2]

- Otpornički termometar NTCLE100E3102GB0 s negativnim temperaturnim koeficijentom [3]
- Industrijski PT100 otpornički termometar [4]
- Termoelement tip K [5]
- *Računalo s Matlab programskom podrškom*
 - Crtanje i spremanje odziva
 - Pretvorba mjerene vrijednosti u temperaturu
 - Identifikacija sustava na temelju mjerenja

Digitalni multimetar RIGOL DM3068 služi kao jedinica za prikupljanje podataka sa senzora. Uređaj omogućuje različita mjerenja struje, napona ili otpora. Uređaj omogućuje uzimanje mjerenja različitim brzinama (2, 20 ili 50 [Hz]) s preciznosti od 5.5 znamenki na rasponu od primjerice 0-200 [mV]. Glavna prednost ovog uređaja je mogućnost povezivanja sa računalom i integracija s Matlab programskom podrškom. Uređaj s računalom komunicira koristeći *SCPI* komande i *NI – VISA driver*-e te se na taj način može integrirati u različite programske alate, kao što su *Matlab* ili *Lab VIEW*.

U ovoj laboratorijskoj vježbi koriste se temperaturni senzori s naponskim izlazom te s promjenjivim otporom. Senzori se povezuju s uređajem na različite načine, koji ovise o tipu senzora i željenom načinu mjerenja. Pri mjerenju otporničkih senzora moguće je izvoditi dvožično ili četverožično mjerenje. Prednost četverožičnog mjerenja otpora je eliminacija utjecaja otpora žica između senzora i mjernog uređaja, čiji utjecaj može biti značajan ukoliko je senzor dislociran u sustavu upravljanja. U slučaju četverožičnog mjerenja dvije žice koriste se kao pogonske za stvaranje pada napona na otporu. Druge dvije žice koriste se za mjerenje te imaju visoku ulaznu impedanciju, čime se eliminira utjecaj otpora žica. Nedostatak ovog pristupa je skuplje ožičenje. Koncept ovog mjerenja spomenut je na predavanju, a više je informacija dostupno na [6].

Mjerenje napona je olakšano činjenicom da ulazna impedancija uređaja iznosi $\geq 10 [G\Omega]$ čime je uređaj izrazito neosjetljiv na otpor ožičenja. Točan način spajanja pojedinog senzora na uređaj bit će objašnjen na laboratorijskoj vježbi.

Pećnica ATTEN R1825 u okviru ove vježbe služi za stvaranje okruženja s preciznom konstantnom temperaturom. Konstrukcija pećnice smanjuje rizik od povrede prilikom korištenja, no pri njezinom korištenju treba biti oprezan i držati se sljedećih **sigurnosnih uputa**:

- Prilikom rada na laboratorijskoj vježbi, temperatura u pećnici bit će namještena na 120 °C kako bi se stvorilo okruženje za testiranje rada senzora.
- Pećnica se otvara i zatvara samo pomoću ručke na prednjoj strani.
- Nakon završetka mjerenja senzor je poprimio temperaturu od 120 °C te ga je potrebno izvaditi samo držanjem za žicu na koju je senzor spojen. Pri tome nemojte dirati vrući senzor.
- Senzor je nakon vađenja iz pećnice potrebno pustiti da se ohladi na temperaturu prostorije.
- Ne smiju se dirati metalni dijelovi prilikom otvaranja pećnice zbog visoke temperature.

2.2 Programska podrška

Kako bi se pokrenula programska podrška treba pozicionirati *Matlab workspace* na lokaciju sa datotekama za vježbu. Upisom funkcije "gui" pokreće se prozor za izvođenje laboratorijske vježbe prikazan na Slici 3. Sam prozor može se podijeliti na više karakterističnih segmenata koji su označeni pravokutnicima različitih boja.

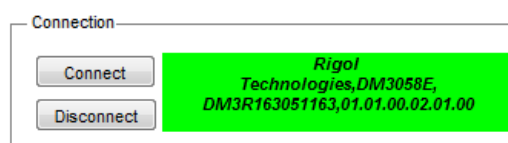
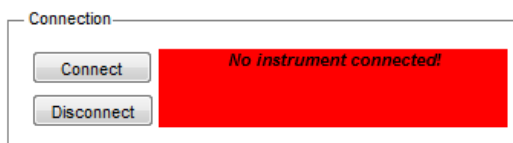


Slika 3: Upravljačka petlja položaja zgloba s robusnim i adaptivnim svojstvima.

- *Tamno plava* - Prozor za povezivanje s mjernim uređajem
- *Žuta* – Prozor za odabir tipa mjerenja i unos parametara pretvorbe temperature
- *Svijetlo plava* – Prozor za prikaz mjerenja i pretvorbe temperature u stvarnom vremenu
- *Crna* – Prozor za pokretanje i spremanje mjerenja, te odabir dodatnih opcija mjerenja
- *Crvena*– Prozor za prikaz grafa analize
- *Narančasta* – Prozor za odabir opcija analize

Da bi se računalo povezalo s instrumentom potrebno je osigurati vezu preko USB-a s računalom te pritisnuti tipku "Connect". U slučaju uspješnog povezivanja, crveni prozor mijenja boju te se ispisuju informacije o uređaju kao što je prikazano na Slikama 4 i 5.

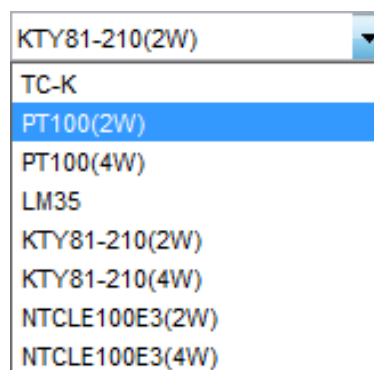
Tek u slučaju uspješnog povezivanja student može nastaviti s radom na ostalim funkcionalnostima programa. U padajućem izborniku ispod prozora za povezivanje, odabire se tip mjerenja uređaja kao što je to prikazano na Slici 6. U ovisnosti o odabranom tipu senzora uređaj mjeri napon ili otpor samog senzora. Kako bi se istražio utjecaj otpora veza na mjerenje otporničkih senzora, uređaj može vršiti dvožično ili četverožično mjerenje otpora (ovi koncepti su obrađeni na predavanju). Sadržaj padajućeg izbornika za odabir senzora glasi:



Slika 4: Prikaz prije povezivanja s uređajem Slika 5: Prikaz poslije povezivanja s uređajem

- $TC-K$ – mjerenje napona senzora termoelementa
- $PT100(2W)$ – dvožično mjerenje otpora PT100 sonde
- $PT100(4W)$ – četverožično mjerenje otpora PT100 sonde
- $LM35$ – mjerenje napona LM35 senzora
- $KTY81-210(2W)$ – dvožično mjerenje otpora KTY81 sonde
- $KTY81-210(4W)$ – četverožično mjerenje otpora KTY81 sonde
- $NTCLE100E3(2W)$ – dvožično mjerenje otpora NTCLE sonde
- $NTCLE100E3(4W)$ – četverožično mjerenje otpora NTCLE sonde

Odabirom određenog senzora moguće je otvoriti informacije o senzoru u *.pdf* formatu pritiskom na tipku "Open datasheet". Temperaturni senzori pretvaraju fizikalnu veličinu temperature u oblik pogodan za mjerenje na elektroničkim uređajima, kao primjerice napon ili otpor. Kako bi se sa mjerenjem fizikalne karakteristike senzora temperature (napona ili otpora) dobila stvarna temperatura potrebno je izvoditi pretvorbu mjerene vrijednosti. Kako se karakteristike temperaturnih senzora dobro opisuju polinomima tako je studentu omogućen unos polinoma maksimalno 11-og reda u prozorima prikazanim na Slikama 7 i 8. Na taj način moguće je vrlo precizno definirati pretvorbu temperature, čak i za izrazito nelinearne elemente.



Slika 6: Odabir tipa senzora

Temperature relation

T=	<input type="text" value="0"/>	R^11+	<input type="text" value="0"/>	R^10+
	<input type="text" value="0"/>	R^9+	<input type="text" value="0"/>	R^8+
	<input type="text" value="0"/>	R^7+	<input type="text" value="0"/>	R^6+
	<input type="text" value="0"/>	R^5+	<input type="text" value="0"/>	R^4+
	<input type="text" value="0"/>	R^3+	<input type="text" value="0"/>	R^2+
	<input type="text" value="0"/>	R+	<input type="text" value="0"/>	

Slika 7: Unos koeficijenata za pretvorbu otpora u temperaturu

Temperature relation

T=	<input type="text" value="0"/>	U^11+	<input type="text" value="0"/>	U^10+
	<input type="text" value="0"/>	U^9+	<input type="text" value="0"/>	U^8+
	<input type="text" value="0"/>	U^7+	<input type="text" value="0"/>	U^6+
	<input type="text" value="0"/>	U^5+	<input type="text" value="0"/>	U^4+
	<input type="text" value="0"/>	U^3+	<input type="text" value="0"/>	U^2+
	<input type="text" value="0"/>	U+	<input type="text" value="0"/>	

Slika 8: Unos koeficijenata za pretvorbu napona u temperaturu

Nakon unosa svih parametara i tipa mjerenja, prikupljanje mjerenja pokreće se pritiskom tipke "Start" u prozoru "Logging". Pokretanje mjerenja omogućeno je samo ako je računalo spojeno na uređaj. U meniju "Sample rate" odabire se brzina uzimanja mjerenja. Pri maksimalnoj brzini od 50 [Hz] gubi se dio preciznosti mjerenja. U meniju "Measurement range" korisnik odabire raspon mjerenja. Preporuča se odabrati "Automatic" raspon mjerenja. Sve karakteristike mjerenja spremaju se u "Logove" čija je lista prikazana na Slici 9. Za mjerenje novog tipa senzora preporuča se otvoriti novi Log pritiskom na tipku "New log" kako bi informacije o pojedinom mjerenju bile sačuvane. U bilo kojem trenutku korisnik može otvoriti pojedini log pritiskom na njegovo ime u listi čime program automatski učitava sva mjerenja i parametre odabrane u tom trenutku.

Korisnik pritiskom na tipku "Export" sprema sve informacije o mjerenju u *Matlab workspace* u karakterističnu strukturu s idućim informacijama:

- *Name* – Ime loga
- *Data1* – Vektor mjerenja izlaza senzora
- *Data2* – Vektor pretvorene temperature
- *Time* – Vektor vremenskih trenutaka
- *Poly* – Struktura koeficijenata odabranog polinoma
- *ChosenMeasurement* – Indeks odabranog mjerenja
- *ChosenMeasurementName* – Ime odabranog mjerenja

Logging

Start

Stop

Export

Import

Sample rate:

FAST (50 Hz)

Measurement range:

Automatic

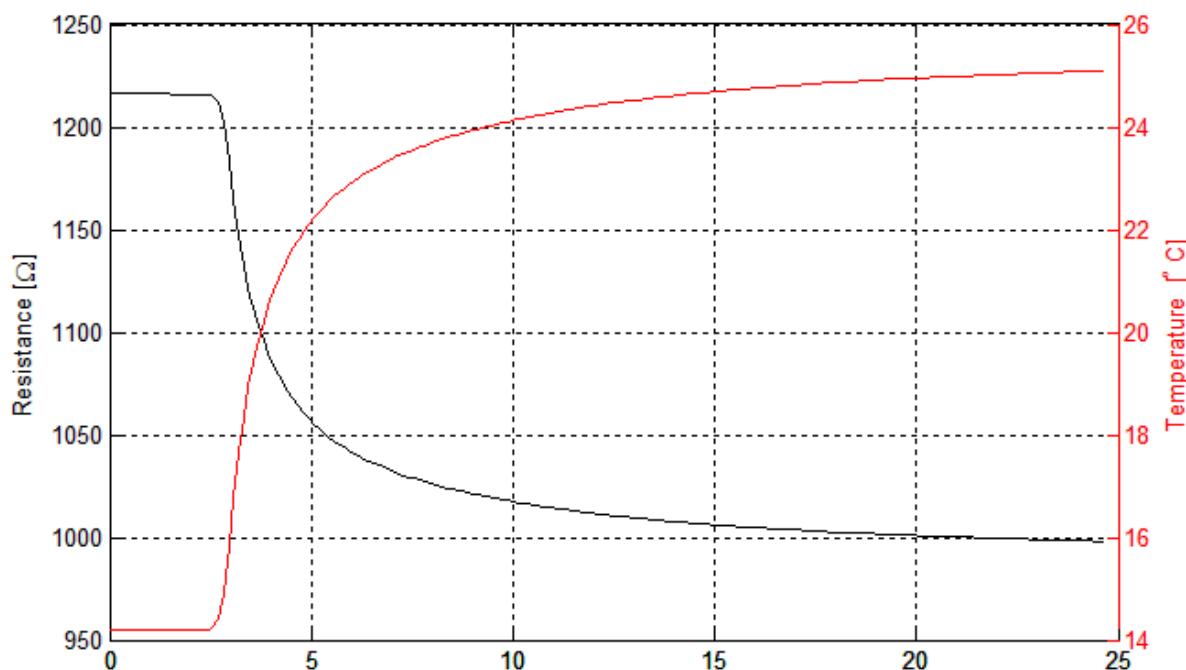
New log

Delete log

New log

Slika 9: Prozor za pokretanje, podešavanje i primanje mjerenja

Nakon snimanja potpune prijelazne pojave, mjerenje se zaustavlja pritiskom na tipku "Stop". Prikaz karakterističnog mjerenja sa KTY senzora je prikazano na Slici 10. Mjerenje treba izvoditi do trenutka dobivanja stacionarnog stanja kako bi se kasnija analiza pojednostavila.

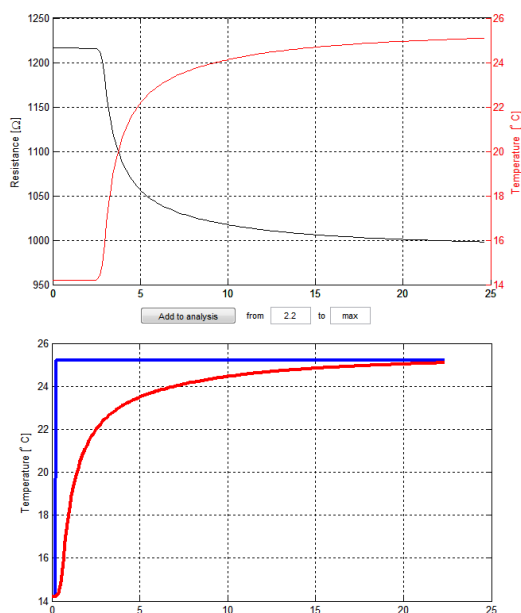


Slika 10: Primjer mjerenja otpora senzora

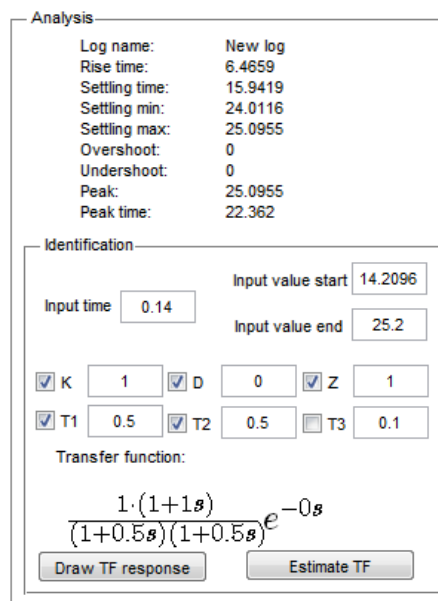
Pokretanje analize dobivenih mjerenja započinje pritiskom na tipku "Add to analysis" te prethodnim odabirom vremenskog raspona koji se stavlja na analizu. Zatim se u prozoru za analizu pojavljuje mjerenje temperature s crvenom bojom na grafu za analizu. Uz mjerenje temperature program postavlja i pretpostavljeni "Step" ulazni signal koji je nacrtan plavom bojom kao što se vidi na Slici 11. Primjer postavljanja prethodnog mjerenja u prozor za analizu je prikazan na Slici 12. U prozoru "Analysis" odmah se ispisuju informacije o signalu, kao što je vrijeme porasta (engl. Rise time), maksimum (engl. Peak), vrijeme maksimuma (engl. Peak time) itd.

Program za izvođenje ove laboratorijske vježbe ima mogućnost identifikacije sustava traženjem matematičkih prijenosnih funkcija prvog, drugog i trećeg reda s realnim polovima, nulom i mrtvim vremenom. Cilj identifikacije je odrediti matematički model sustava koji što bolje opisuje ponašanje stvarnog sustava na temelju izmjerenih vrijednosti. Na temelju provođenja ručne identifikacije moguće je primjetiti vezu između vremenskih konstanti i konstrukcijskih karakteristika senzora. Prije početka identifikacije korisnik mora namjestiti parametre ulaznog "Step" signala jer te informacije nisu dostupne programskoj podršci. Inicijalno crtanje ulaznog signala rezultat je pretpostavke programske podrške, te ju je potrebno korigirati. To znači da je potrebno namjestiti sljedeće parametre:

- *Input time* – Trenutak "Step"-a
- *Input value start* – Početna vrijednost
- *Input value end* – Krajnja vrijednost



Slika 11: Dodavanje mjerenja na analizu

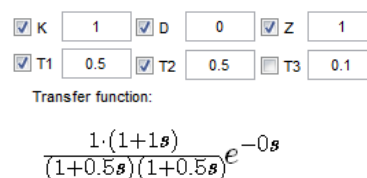


Slika 12: Prikaz prozora za analizu

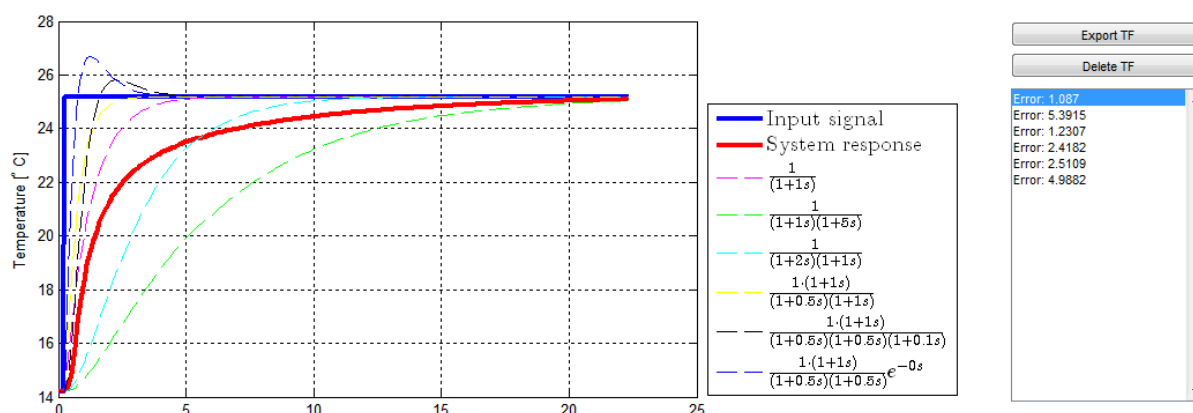
Parametar "Input time" je potrebno postaviti na vrijeme u kojem se zamjećuje prvi porast temperature, odnosno trenutak kada je senzor ubačen u pećnicu. U provedbi ove laboratorijske vježbe početna vrijednost označava sobnu temperaturu, dok krajnja vrijednost označava temperaturu unutar pećnice. Proces identifikacije provodi se u prozoru "Identification". Korisnik može postavljati sljedeće parametre prijenosnih funkcija:

- K – Pojačanje sustava
- T_1 – Vremenska konstanta 1
- T_2 – Vremenska konstanta 2
- T_3 – Vremenska konstanta 3
- D – Iznos mrtvog vremena
- Z – Vrijednost nule sustava

U istom prozoru pojavljuje se prikaz trenutno odabrane prijenosne funkcije kao što je to prikazano na Slici 13. Pritiskom na tipku "Draw TF response", na grafu za analizu se paralelno sa mjerenim signalom iscrtava i odziv prijenosne funkcije. Prikaz nekoliko estimiranih odziva vidljiv je na Slici 14. Korisnik u istom trenutku može prikazati maksimalno šest odziva prijenosnih funkcija. Korisnik može dobiti informaciju o slaganju odziva modela sa stvarnim modelom u listi pored prikaza. Nakon pronalaženja zadovoljavajućeg modela, isti je moguće spremiti u *workspace* pritiskom na tipku "Export TF". Prijenosna funkcija biti će tad postavljena u Matlab workspace u standardnom *tf* strukturnom zapisu.



Slika 13: Prozor za unos parametara modela



Slika 14: Prikaz mjerenja senzora te odziva matematičkih modela

3 Izvođenje laboratorijske vježbe

Vježba se izvodi u grupama po tri studenta. Prije početka mjerenja s određenim senzorom odabiru se izračunati parametri od studenta u grupi koja ima najmanju izračunatu srednju vrijednost pogreške pretvorbe u pripremi. Studenti u grupi moraju zapisati ime osobe sa čijim parametrima se provodi mjerenje. Ostali članovi grupe te parametre preuzimaju, te ih koriste prilikom pisanja izvještaja. Kroz izvođenje laboratorijske vježbe redovito spremajte podatke nakon svakog mjerenja te vodite evidenciju radi potrebe pisanja izvještaja.

3.1 Postupak snimanja mjerenja

Za svaki senzor provodit će se dva tipa mjerenja: mjerenje s linearnom relacijom pretvorbe, te s relacijom pretvorbe višeg reda. Mjerenje treba provoditi u sljedećim koracima:

- 1) Uz pomoć asistenta spojiti senzor koji se želi trenutno koristiti i odabrati taj tip mjerenja u aplikaciji
- 2) Otvoriti novi log pritiskom na tipku "New log" i dati mu prepoznatljivo ime
- 3) Unijeti parametre polinoma pretvorbe temperature (prvog ili višeg reda)
- 4) Započeti postupak mjerenja pritiskom na tipku "Start"
- 5) Ostaviti senzor na sobnoj temperaturi i pričekati dok se mjerenje ne ustali
- 6) Ubaciti senzor u pećnicu koja je postavljena na poznatu temperaturu od 120 °C
- 7) Sačekati dok se mjerenje senzora ne ustali u novom okruženju
- 8) Zaustaviti postupak mjerenja pritiskom na tipku "Stop"
- 9) Spremiti podatke o provedenom mjerenju pritiskom na tipku "Export"

Iznimno, u slučaju mjerenja PT100 senzora potrebno je provoditi mjerenje hlađenja senzora u vodi nakon vađenja iz pećnice. Prije početka mjerenja potrebno je otvoriti novi LOG pod

nazivom "PT100 voda". Dobiveni rezultat je nužan za pisanje izvještaja. Kod drugih senzora se ne provodi ovo mjerenje jer kontakti senzora nisu izolirani od utjecaja vode, te može doći do krivog mjerenja zbog smanjenog otpora u vodi.

3.2 Postupak analize mjerenja

Nakon provođenja postupka prikupljanja mjerenja i spremanja podataka, može se krenuti na njihovu analizu. Analizu je potrebno provoditi samo u slučajevima kada se koristi funkcija pretvorbe mjerenja višeg reda. Analiza se provodi u sljedećim koracima:

- 1) Odaberite raspon vremena snimljenog signala koji se želi prebaciti na analizu te pritisnite tipku "Add to analysis". Potrebno je obuhvatiti dio signala prije stavljanja u pećnicu, te do ulaska u stacionarno stanje.
- 2) Namjestite parametre ulaznog signala "Input time", "Input values start" i "Input value end" kako bi ulazni signal odgovarao trenutku ubacivanja senzora u pećnicu kako bi početna i krajnja vrijednost odgovarale odzivu.
- 3) Intuitivno namještajte parametre prijenosne funkcije kako bi dobili što bolje slaganje sa stvarnim sustavom. Krenite od pokušaja dobivanja što boljeg PT_1 sustava pa postepeno prelazite na sustave višeg reda.
- 4) Kroz postupak identifikacije zaključivanjem pokušajte dobiti što bolje slaganje sa stvarnim mjerenjem a najlošije rezultate brišite s prikaza.
- 5) Kada ste zadovoljni s dobivenom prijenosnom funkcijom, pritiskom na tipku "Export TF" spremite je za potrebe pisanja izvještaja.

4 Upute za pisanje izvještaja

U izvještaj treba priložiti sljedeće rezultate za svako provedeno mjerenje:

- I) Navedite korištenu relaciju pretvorbe temperature $T [^{\circ}C] = f(R) [\Omega]$ ili $T [^{\circ}C] = f(U) [V]$ s polinomom prvog i višeg reda.
- II) Grafički prikazite mjerenja fizikalne veličine otpora R ili napona U s paralelnim prikazom izračunate temperature za slučaj polinoma prvog i višeg reda.
- III) Komentirajte razlike u mjerenju. Da li je linearizacija značajnije utjecala na mjerenje? Komentirajte opravdanost linearizacije promatranog tipa senzora.
- IV) U slučaju dvožičnog i četverožičnog mjerenja istog tipa senzora komentirajte razliku. Je li četverožično mjerenje napravilo znatnu razliku i ako jeste, pokušajte objasniti zašto? Komentirajte opravdanost korištenja četverožičnog mjerenja za promatrani senzor.
- V) Navedite ulazne podatke u procesu identifikacije mjerenja (podaci u prozoru "Analysis") s polinomom višeg reda, te priložite sliku ulaznog signala i mjerenog signala.
- VI) Prikazite paralelni prikaz odziva stvarnog sustava i identificiranog modela s najboljim slaganjem (najmanjom pogreškom koju ste uspjeli dobiti). Komentirajte uspješnost identifikacije.
- VII) Pokušajte objasniti strukturu i parametre dobivene prijenosne funkcije s obzirom na konstrukcijske karakteristike senzora (iznos vremenskih konstanti T_1, T_2, T_3 , predznak pojačanja K , mrtvo vrijeme D itd.).
- VIII) U slučaju PT100 senzora usporedite odzive grijanja senzora u pećnici i hlađenja senzora u vodi. Primjećujete li razliku i ako da, objasnite zašto?

Prilikom pisanja izvještaja treba obratiti pažnju na sljedeće točke:

- I) Na početku izvještaja navedite ime studenta iz vaše grupe čiji su parametri korišteni kroz rad na vježbi.
- II) Izvještaj se predaje u *.pdf* formatu na mail "edin.koco@fer.hr". Rok predaje bit će objavljen na stranici predmeta.
- III) Za pisanje izvještaja koristite predložak dostupan na stranici predmeta.
- IV) Naknadnu analizu snimljenih rezultata provodite na osobnom računalu iz podataka spremjenih tijekom laboratorijske vježbe.
- V) Izvještaj se piše samostalno.
- VI) Obratite pažnju na tehničku ispravnost izvještaja (označavanje osi grafova, numeriranje jednadžbi itd.).

Literatura

- [1] KTY81 Datasheet, NXP, http://www.nxp.com/documents/data_sheet/KTY81_SER.pdf, Dec. 2014.
- [2] LM35 Datasheet, Texas Instruments, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
- [3] NTCLE100E3102GB0 Datasheet, Vishay Semiconductor, <http://dsp.rice.edu/sites/dsp.rice.edu/files/ntcle100.pdf>, 2 Dec. 2014.
- [4] PT100 Datasheet, Siemens, www.siemens.com/bt/file?soi=20052.
- [5] Thermoelement Type K Datasheet, Omega, http://www.pyromation.com/Downloads/Data/emfk_c.pdf.
- [6] RTD measurement techniques, Omega, <http://www.omega.com/temperature/z/pdf/z033-035.pdf>.