

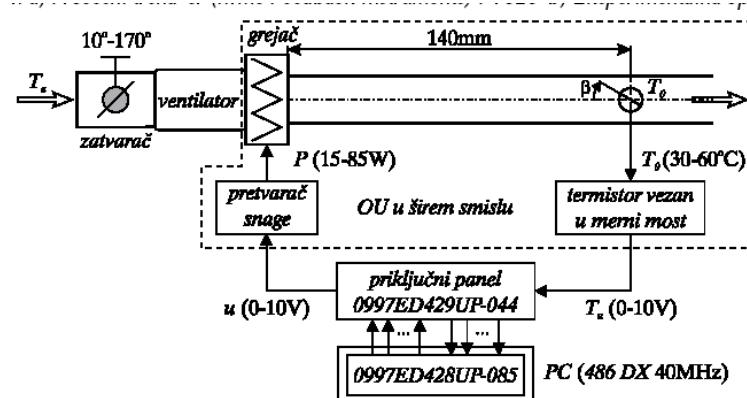
UNIVERZITET U KRAGUJEVCU
MAŠINSKI FAKULTET KRAGUJEVAC



DOMAĆI ZADATAK IZ PREDMETA
RAČUNARSKI PODRŽANO MERENJE I UPRAVLJANJE
TEMA: IDENTIFIKACIJA OBJEKTA UPRAVLJANJA

POSTAVKA ZADATKA

Objekat upravljanja je fizički model postrojenja za zagrevanje struje vazduha. Zapravo, radi se o procesnom trenažeru firme Feedback Instruments, PT 326, na kome i LOLA Institut iz Beograda testira efikasnost svojih kontrolera. Na takvom procesnom trenažeru testiran je i programabilni logički kontroler firme Informatika iz Beograda, INFO-73, na kome se za sada realizuju svi regulatori projektovani u ovoj firmi. Proces ima osobine u industriji često zastupljenog procesa sušenja materije njenim izlaganjem strujanju zagrejanog vazduha.



Proces se sastoji u zagrevanju vazduha u plastičnoj cevi do zadate vrednosti koja je u opsegu: od sobne temperature do 60°C . Snaga na rešetkastom grejaču (otpornosti 120Ω) se kontroliše tiristorskim blokom, promenom faznog ugla. Promena izlaznog

naponskog signala kontrolera u opsegu od OV do +10V utiče na promenu faznog ugla od 136° do 40° , što odgovara promeni snage grejača od 15W do 85W. Količina toplote stvorena na grejaču prelazi na vazduh, pri čemu toplotni protok zavisi od temperature grejača i protoka fluida kroz cev (razmena količine toplote u jedinici vremena raste sa porastom temperature grejača i porastom protoka vazduha, i suprotno).

Vežu računara sa procesom obezbeđuje I/O modul ED428-UP sa pripadajućim priključnim panelom ED429-UP, pri čemu je obezbeđena A/D i D/A konverzija sa 12-bitnom rezolucijom. Upravljački softver je razvijen u Borlandovom C++ prevodiocu (verzija 3.1). U toku izvršenja programa na monitoru su date sve bitne informacije, uključujući i tekuće vrednosti procesnih promenljivih. Svaka eksperimentalna proba je praćena snimanjem bitnih sekvenci podataka sa izabranom periodom odabiranja od 0.11 s.

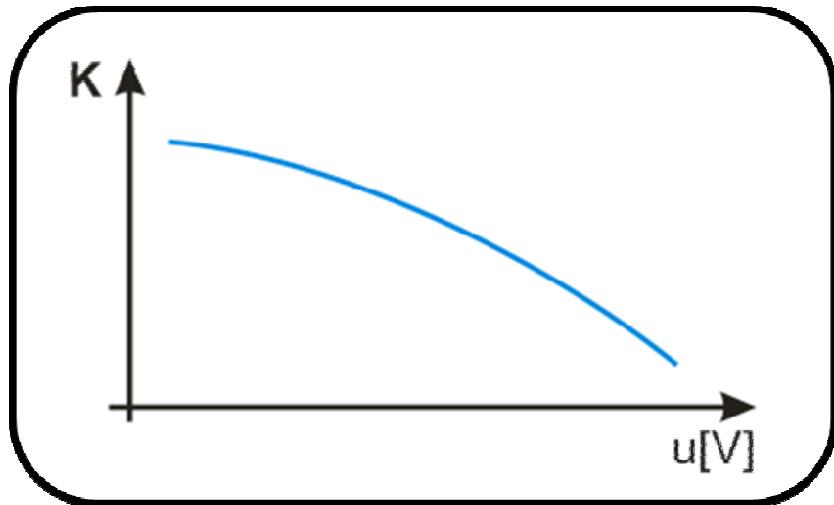
Dominantni poremećaji:

- promena ambijentalne temperature
- promena protoka vazduha u cevi
- parametarski poremećaji

Detaljnije:

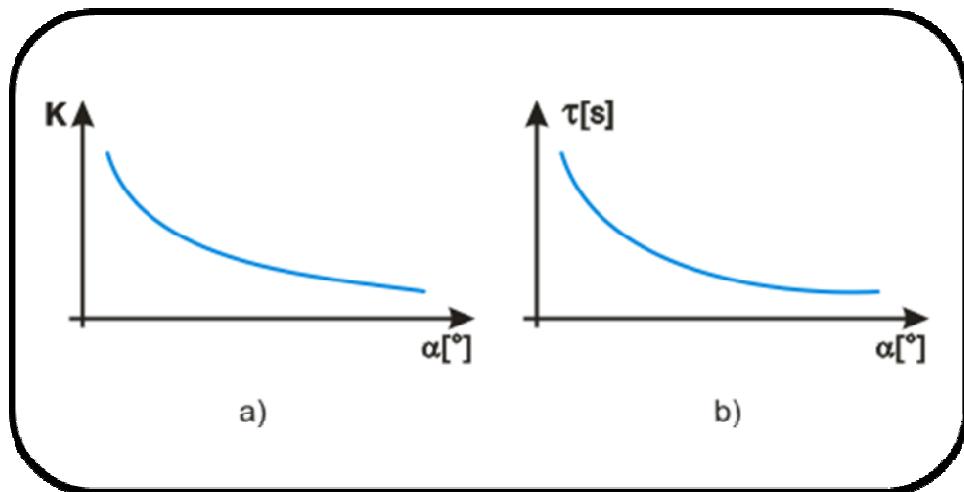
Ventilator pokreće asinhroni motor, direktno vezan na gradsku mrežu. On usisava vazduh temperature ambijenta T_a kroz otvor promenljive veličine i potiskuje ga preko otpornog grejača u cev. Pošto je brzina obrtanja osovine motora konstantna, ostvareni protok vazduha Q zavisi samo od položaja zatvarača na ulazu u ventilator. Zatvarač je izrađen kao segmentni i njegovo kretanje je ograničeno na opseg $\alpha \in [10^\circ, 170^\circ]$. *Promene protoka vazduha i ambijentalne temperature T_a su poremećaji koji deluju na proces.* Moguće varijacije mrežnog napona takođe imaju uticaja na rad sistema. Promenom mrežnog napona menja se broj obrtaja asinhronog motora, a samim tim i protok vazduha kroz cev, što se manifestuje kao poremećaj u sistemu. Cev i vazduh koji kroz nju protiče su u međusobnoj termodinamičkoj interakciji. U izvesnim intervalima cev se zagreva od strane vazduha, i suprotno - zagrejana cev greje vazduh (što zavisi od prethodno akumulirane količine toplote u cevi i tekućih procesnih promenljivih). Dinamika ovog poremećaja je nepoznata i različita je pri zagrevanju i hlađenju. Osim ovih poremećaja postoji niz drugih uticaja čije bi efekte lakše mogli opisati šumom koji deluje na proces. To su turbulencije vazduha u cevi, ograničena rezolucija A/D i D/A konverzije, neidealno napravljen ventilator, zazori i oscilacije u mehaničkim sklopovima, itd. Može se doći do zaključka da, što je protok vazduha manji, uticaj šumova je veći. Objekat upravljanja pripada klasi industrijskih procesa čije se dinamičko ponašanje u okolini radne tačke može dobro aproksimirati funkcijom prenosa prvog reda.

Statičke karakteristike "sušare" su izrazito nelinearne. Statičko pojačanje se značajno menja u zavisnosti od radne tačke procesa. Promena statičkog pojačanja u funkciji upravljačke veličine pri konstantnom protoku vazduha (Q) i konstantnoj temperaturi ambijenta (T_a) je okvirno prikazana na sledećem grafiku:



Slika 14 – Promena statičkog pojačanja u f – ji upravljačke promenljive

Vremenska konstanta procesa (T) i vreme čistog kašnjenja (τ) se ne manjaju značajno sa promenom radne tačke. Promene protoka vazduha, odnosno pozicije ulaznog zatvarača, bitno utiču na promenu statičkog pojačanja procesa (K) i transportnog kašnjenja (τ). Vrednost transportnog kašnjenja (τ) je direktno proporcionalna udaljenosti senzora od grejača, a obrnuto proporcionalna protoku vazduha u cevi (Q).



Slika 15 – Promena parametara u funkciji pozicije zatvarača

Opisani objekat upravljanja je nelinearan i nestacionaran. Pored opisanih nelinearnosti je jasno da su u sistemu moguće i nelinearnosti tipa zasićenja. Takođe,

karakteristike procesa nisu iste pri zagrevanju i hlađenju struje vazduha (prisutan je histerezis).

Uslovi identifikacije objekta upravljanja

Upravljački signal u [V] se generiše u računaru, a naponski signal T_u [V] predstavlja izlazni signal ili upravljanu promenljivu. Da bi se rešio problem identifikacije objekta upravljanja, u opštem slučaju, neophodno je imati na raspolaganju:

- ulazne izlazne podatke o objektu,
- klasu modela objekta ili model objekta i
- kriterijum za ocenu dobre modela u odnosu na eksperimentalne podatke.

Na opisanoj eksperimentalnoj opremi sprovodi se eksperiment nad objektom upravljanja u otvorenoj povratnoj sprezi. *Generiše se odskočni test signal i snima se vremenski odziv, kao i ulazna sekvenca.* U opštem slučaju, radna tačka se bira na osnovu postojećih apriornih informacija i poznatih statičkih karakteristika objekta. U bliskoj okolini radne tačke statička kriva može biti linearizovana, te se dinamičko ponašanje procesa može opisati linearnom diferencijalnom jednačinom. Nezavisna promenljiva diferencijalne jednačine je odstupanje upravljačke veličine od vrednosti upravljanja koja definiše radnu tačku, a zavisna predstavlja odstupanje izlaza procesa od vrednosti koju je imao u radnoj tački. U našem slučaju, izabrana je nominalna upravljačka promenljiva: $u_{nom}=5V$, dok njoj pripadajuća vrednost izlaza predstavlja nominalnu izlaznu promenljivu T_{nom} . Pri tom, ambijentalna temperatura je na nivou sobne i njene promene su zanemarljive, zatvarač ventilatora je pozicioniran na $\alpha=50^\circ$, dok je $\beta=30^\circ$. Pre početka svake eksperimentalne probe vodi se računa da se proces ustali u okolini nominalne radne tačke. ***Generisana upravljačka sekvenca menja vrednost od 5V na 6V u jedanaestoj sekundi od početka eksperimenta.***

Snimljena izlazna sekvenca umanjena za nominalnu vrednost izlaza (T_{unom}) i njoj odgovarajući jedinični upravljački signal (menja vrednost od OV na 1V) jesu relevantne sekвенце podataka u procesu identifikacije. Dobijeni vremenski odziv je tipičan za široku klasu sporih industrijskih procesa, te nema dileme da se ponašanje objekta upravljanja u okolini radne tačke može opisati funkcijom prenosa sa jednom ili više vremenskih konstanti i transportnim kašnjenjem. Broj vremenskih konstanti, odnosno red sistema, kod termodinamičkih procesa odgovara postojećem broju toplotnih kapaciteta (grejač, vazduh u cevi, cev, termistor, itd.). Proces kod koga se snaga predata grejaču troši na zagrevanje rešetke grejača, odakle dolazi do prelaza toplote (konvekcija) na fluid koji kroz nju protiče, može biti matematički modeliran funkcijom prenosa drugog reda. Ukoliko bi u obzir bio uzet i toplotni kapacitet zidova "sušare", došio bi se do modela trećeg reda koji je bliži stvarnoj situaciji od modela koji ne uzima u obzir akumulaciju toplote od strane cevi. Međutim, obično se teži izboru modela objekta upravljanja koji

ima minimalan broj parametara. Najjednostavnija moguća struktura modela objekta upravljanja za posmatrani tip procesa je sistem sa jednom vremenskom konstantom.

Na osnovu snimljenih sekvenci podataka sprovodi se parametarska identifikacija modela. Može se smatrati da je sistem identifikovan onda kada se odstupanja između realnog sistema i modela svedu na prihvatljiv nivo. Koji je to prihvatljiv nivo zavisi od objekta i aplikacije u svakom konkretnom slučaju. U našem slučaju, verifikaciju modela izvršiti vizuelnim poređenjem (može i statističkim) odskočnog odziva identifikovanog modela i realnog objekta upravljanja.

ZADATAK

Izvršiti parametarsku identifikaciju opisanog objekta upravljanja. - Radi se o (tipičnom) sporom industrijskom procesu čiji model može biti opisan funkcijom prenosa

$$W^o(s) = \frac{L(T_u(t) - T_{unom})}{L(u(t) - u_o)} = \frac{Y(s)}{U_m(s)} = \frac{Ke^{-\alpha s}}{Ts + 1}, \text{ ili}$$

$$W^0(s) = \frac{L(T_u(t) - T_{unom})}{L(u(t) - u_o)} = \frac{Y(s)}{U_m(s)} = \frac{Ke^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

Prema gore opisanoj proceduri – već su izvršene sukcesivne eksperimentalne probe; i sekvene

ulazno-izlaznih podataka su snimljene u fajlovima ident_.m. Svaki student na raspolaganju ima po 3 fajla, što znači po tri seta ulazno izlaznih podataka o procesu (koja su formirana sukcesivno, pod približno istim uslovima, u roku manjem od 10 minuta). U prvoj koloni ident_.m smešteni su podaci koji čine niz ulaza, a u drugoj podaci koji čine niz izlaza. Perioda odabiranja je 0.11s. Dešava se promena ulaza sa 5V na 6V, i prati se promena izlaza.

DEFINICIJE IDENTIFIKACIJE, SISTEMA I NORMALIZACIJE

Identifikacija sistema predstavlja skup raznih postupaka koji u različitim uslovima rešavaju problem postavljanja matematičkog modela nekog dinamičkog sistema, na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka sa realnog objekta zasnovanih na merenju ulaza i izlaza. Drugim rečima, identifikacija sistema predstavlja eksperimentalan

postupak modeliranja objekta koji se postavlja u vidu funkcije diskretnog prenosa, i zasniva se na merenju ulaza i izlaza objekta u konačnom broju trenutaka. Izmereni signali se potom procesiraju u okviru algoritama obrade mernih podataka, čiji je cilj dovoljno tačna procena modela, tako da razlika između realnog objekta i njegovog matematičkog modela bude što je moguće manja. Ovo se postiže podešavanjem parametara datog modela, sve dok se njegov izlaz ne podudari što je moguće bolje sa izmerenim izlazom za istu pobudu. Identifikaciju još moguće vršiti u toku trajanja eksperimenta ili posle njegovog završetka. U našem slučaju identifikacija se vrši nakon obavljenog eksperimenta.

Pod terminom sistem podrazumevamo objekat upravljanja u kojem varijable različitih vrsta interaguju i proizvode opservabilne signale. Opsevrabilni signali koji su od interesa za nas, nazivaju se **izlazi**. Sistem je takođe pobuđivan eksternim signalima. Eksterni signali, koji mogu biti manipulisani, aplicirani, od strane čoveka ili nekog drugog elementa SAU zovu se **smetnje** i mogu biti podeljene u dve grupe – direktno merljive i one koje možemo tretirati samo kroz njihov uticaj na izlaz.

Funkcija prenosa identifikovanog modela opisano, sistem koji posmatramo je nelinearan i nestacionaran, i kao takav može biti linearizovan, odnosno opisan funkcijom prenosa samo u okolini radne tačke. Zbor toga se vrši normalizacija izmerenih podataka, tako da se od svake dobijene vrednosti oduzima nominalna vrednost (tj. ona koja odgovara radnoj tački).

TEORIJSKE POSTAVKE O UPOTREBI PARAMETARSKOG ARX MODELA U IDENTIFIKACIJI OBJEKTA UPRAVLJANJA

Skraćenica ARX u stvari predstavlja Auto Regresion eXternal
Funkcije prenosa ARX modela su oblika

$$G(q) = \frac{Y(q)}{U(q)} = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} \quad (1)$$

gde su A i B polinomi u funkciji operatora pomaka q^{-1}

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_n q^{-na}$$
$$B(q) = b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_nb q^{-nb+1}$$

na i nb predstavljaju stepene polinoma A i B dok nk predstavlja broj perioda odabiranja u vremenu kašnjenja

kada izraz 1 unakrsno izmnozimo dobijamo

$$A(q) \cdot Y(q) = B(q) \cdot U(q) \cdot q^{-nk}$$

kada u ovu jednačinu yamenimo izraze za A i B dobijamo izraz (2)

$$Y(k) + a_1 \cdot Y(k-1) + \dots + a_{na} \cdot Y(k-na) = b_1 \cdot U(k-nk) + b_2 \cdot U(k-nk+1) + \dots + b_{nb} \cdot U(k-nk-nb+1)$$

diskretizacija kontinualnog modela $G(s) = \frac{K}{T_1 s + 1} e^{-s\tau}$ se vrši na sledeći način Z

transformacijom

$$G(z) = Z[G_h(s)G(s)]$$

$$G(z) = Z \left[\frac{1 - e^{-s\tau}}{s} \frac{K}{T_1 s + 1} e^{-s\tau} \right]$$

$$G(z) = K z^{-d} (1 - z^{-1}) Z \left[\frac{\frac{1}{T_1}}{s(s + \frac{1}{T_1})} \right]$$

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = K z^{-d} \frac{1 - e^{\frac{T}{T_1}}}{z - e^{\frac{-T}{T_1}}} \text{ kada z zamenimo sa q dobijamo}$$

$$G(q^{-1}) = \frac{Y(q^{-1})}{U(q^{-1})} = K q^{-d} \frac{(1 - e^{\frac{T}{T_1}}) q^{-1}}{1 - e^{\frac{-T}{T_1}} q^{-1}} \text{ na kraju se dobija izraz (3) gde je } d = \frac{\tau}{T}$$

$$Y(k) - e^{\frac{T}{T_1}} \cdot Y(k-1) = K \cdot \left(1 - e^{\frac{T}{T_1}} \right) \cdot U(k-d-1) \quad (3)$$

ako uporedimo izraze (2) i (3) dobijamo izraze za a1 i b1

$$a_1 = -e^{\frac{T}{T_1}}$$

$$b_1 = K \cdot \left(1 - e^{\frac{T}{T_1}} \right)$$

Iz njih se dobijaju izrazi za T1 i K kao

$$T_1 = -\frac{T}{\ln(-a_1)}$$

$$K = \frac{b_1}{1 - e^{\frac{T}{T_1}}}$$

diskretizacija kontinualnog modela $G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-s\tau}$ se vrši na sledeći način Z transformacijom

$$G(z) = Z \left[\frac{1 - e^{-s\tau}}{s} \frac{K}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)} e^{-s\tau} \right]$$

$$G(z) = K z^{-d} (1 - z^{-1}) Z \left[\frac{\frac{1}{T_1 \cdot T_2}}{s \left(s + \frac{1}{T_1} \right) \left(s + \frac{1}{T_2} \right)} \right]$$

$$G(q^{-1}) = \frac{Y(q^{-1})}{U(q^{-1})} = K q^{-d} \frac{(b_1 q^{-1} + b_1 q^{-2})}{1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2}}$$

$$\begin{aligned} Y(k) - \left(e^{-\frac{T}{T_1}} + e^{-\frac{T}{T_2}} \right) \cdot Y(k-1) + e^{-\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)} \cdot Y(k-2) = \\ K \left(1 + \frac{\frac{1}{T_2} e^{-\frac{T}{T_1}} - \frac{1}{T_1} e^{-\frac{T}{T_2}}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right) \cdot U(k-1) + K \cdot \left(e^{-\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)T} + \frac{\frac{1}{T_2} e^{-\frac{T}{T_1}} - \frac{1}{T_1} e^{-\frac{T}{T_2}}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right) \cdot U(k-2) \end{aligned} \quad (4)$$

ako uporedimo izraze 2 i 4 dobijamo izraze za a_1, a_2, b_1, b_2 ,

$$a_1 = -(e^{-\frac{T}{T_1}} + e^{-\frac{T}{T_2}}) \quad a_2 = e^{-T(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2})}$$

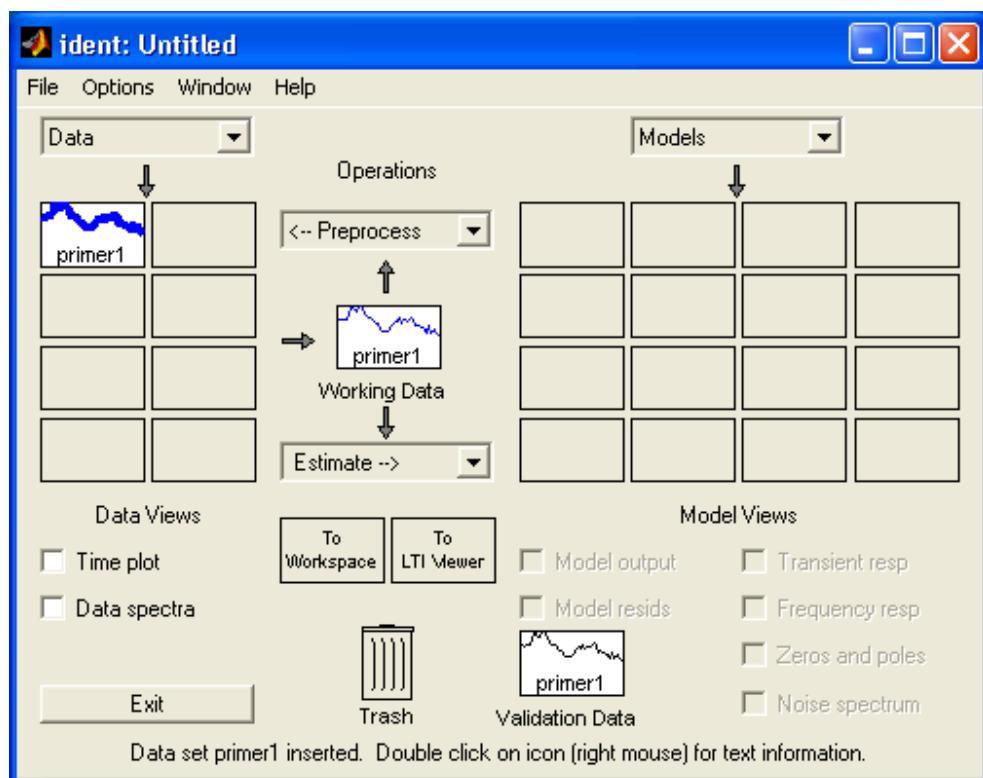
$$b_1 = \frac{T_1 - T_2 - T_1 e^{-\frac{T}{T_1}} + T_2 e^{-\frac{T}{T_2}}}{T_1 - T_2}$$

$$b_2 = \frac{(T_1 - T_2) e^{-T(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2})} - T_1 e^{-\frac{T}{T_2}} + T_2 e^{-\frac{T}{T_1}}}{T_1 - T_2}$$

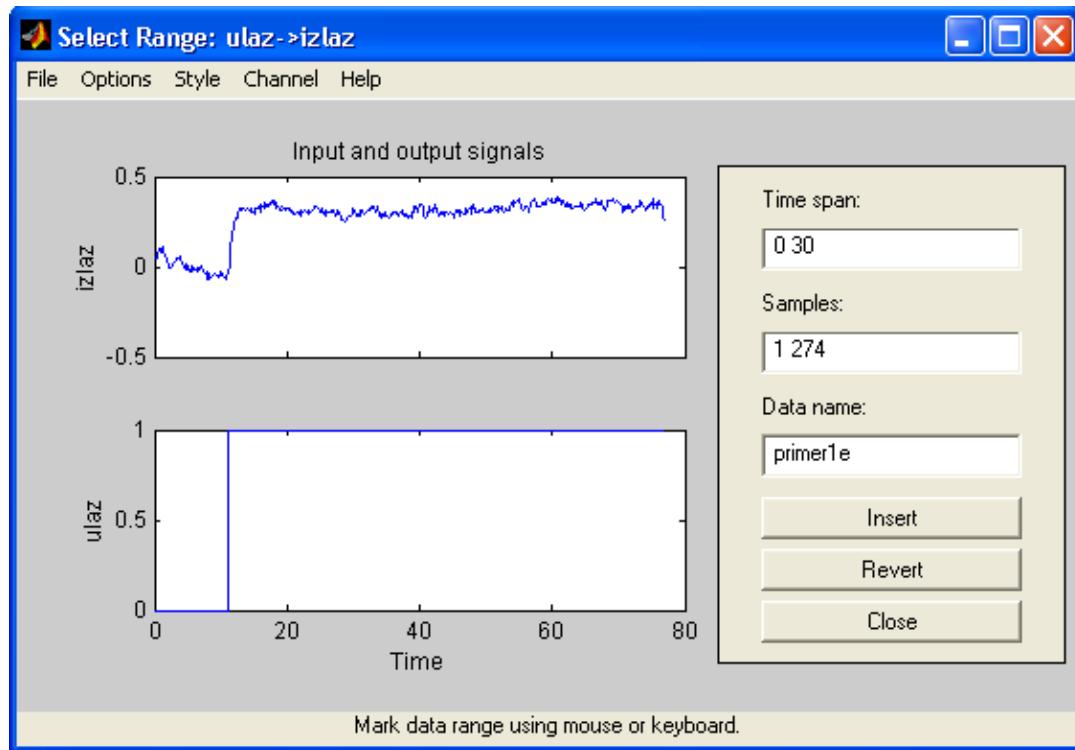
IDENTIFIKACIJA SISTEMA 1 I 2 REDA ARX METODOM

Nakon startovanja MATLABA i izbora foldera u kome se nalaze svi fajlovi potrebni za ovaj eksperiment vrši se učitavanje 1 seta podataka naredbom >>load ident1.m. Nakon toga vrši se normalizacija ulaznih i izlaznih podataka naredbom >>normalizacija nakon čega se izvršava program normalizacija čiji izvorni kod će kasnije biti dat.

Nakon toga pozivamo System Identification Toolbox kucanjem naredbe >>ident. Izgled glavnog prozora ident tool box-a dat je na slici:

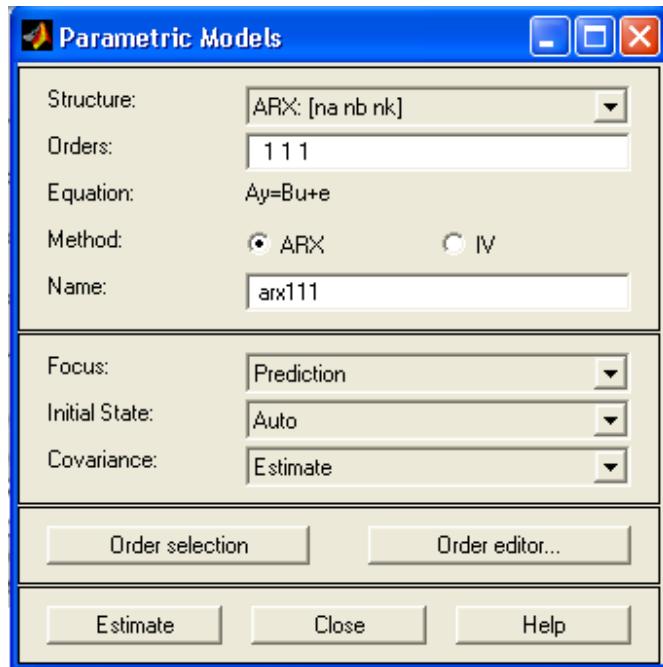


Izborom opcije Import iz padajućeg menija data dobijamo prozor za uno podataka kao na slici:

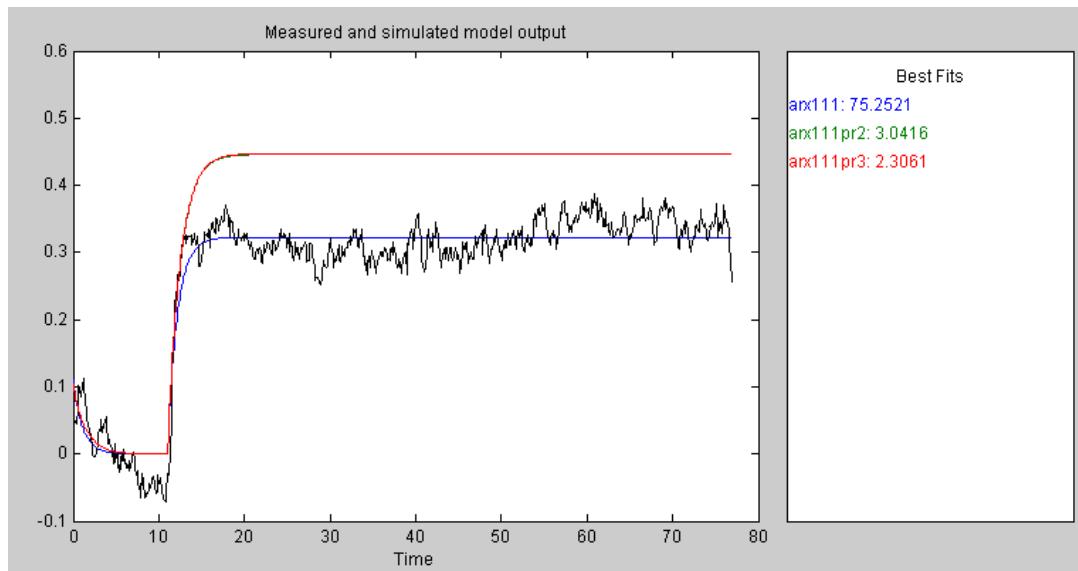


Zatim se vrši procena (estimacija) modela izborom opcije Parametric models iz padajućeg menija Estimate.

Zatim se vrši procena (estimacija) modela izborom opcije Parametric models iz padajućeg menija Estimate.



Na ovoj slici prikazan je slučaj kada je predpostavljeno da rešenje bude polinom prvog stepena. Međutim treba ovo uraditi i pod predpostavkom da je polinom drugog stepena, da bi se uporedila rešenja.



Na kraju (u ovom slučaju za experiment 1) krajnje rešenje je posle otkucane komande `pr1=zpk(d2c(arx111))` je:

Zero/pole/gain from input "ulaz" to output "izlaz":

0.28821

(s+0.8942)

u prozoru MATLABA se dobijaju funkcije prenosa oblika $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{W}{(s + w_1)}$

iz koje se dobija $K = \frac{W}{w_1}$ i $T_1 = \frac{1}{w_1}$ za prenosnu funkciju 1 reda

A za prenosnu funkciju 2 reda dobija se

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{W(s + x)}{(s + w_1)(s + w_2)}$$

iz koje se dobija $K = \frac{W \cdot x}{w_1 \cdot w_2}$ $T_1 = \frac{1}{w_1}$ $T_2 = \frac{1}{w_2}$

za funkciju prenosa 1 reda dobijaju se podaci

slučaj	K	T
1	0.322	1.161
2	0.42	1.028
3	0.482	1.512
prosek	0.407	1.233

funkcija prenosa 1 reda je $G(s) = \frac{0.407}{1 + 1.233s} e^{-11s}$

za funkciju prenosa 2 reda dobijaju se podaci

slučaj	K	T1	T2
1	0.318	0.042	0.943
2	0.419	0.026	0.878
3	0.481	0.027	1.351
prosek	0.406	0.032	1.035

funkcija prenosa 2 reda je $G(s) = \frac{0.406}{(1 + 0.032s)(1 + 1.035s)} e^{-11s}$

UPOTREBA METODE NAJMANJIH KVADRATA ZA IDENTIFIKACIJU SISTEMA 1 I 2 REDA UZ POMOĆ PROGRAMSKOG PAKETA MATLAB

Program za identifikaciju sistema 1 reda:

```
home
close all
clear all
clc

load ID40_1.m;
id= ID40_1
normalizacija

niz=length(id(:,1)); % duzina snimljenih sekvenci
% sekvanca vremena
for i=1:niz
t(i)=i*0.11;
end
% primana metode najmanjih kvadrata
k01=[0.32,10.2,0.11];
f1=inline('k(1)*(1-exp(-(t-k(2))/k(3)))','k','t');
[k,sumakv]=lsqcurvefit(f1,k01 ,ul,izl,[0 0],[inf inf]);
K=k(1);
Tau=k(2);
T=k(3);
s2=sumakv;
clc;
for j=1:niz
y2k(j)=K*(1-exp(-(t(j)-Tau))/T);
if y2k(j)<0;
y2k(j)=0;
end
end
figure(1)
plot(t,ul,'g',t,izl,'b',t,y2k,'r')
title('Identifikacija parametara susare (I REDA)')
legend('ulaz','izlaz','model')
```

```
xlabel('vreme [s]')
grid;
disp(' ');
disp(' Parametri sistema su: ');
disp(' ');
disp([' K = ',num2str(K)]);
disp([' T = ',num2str(T)]);
disp([' Tau = ',num2str(Tau)]);
pause, close all
```

Program za identifikaciju sistema 2 reda:

```
home
close all
clear all
clc

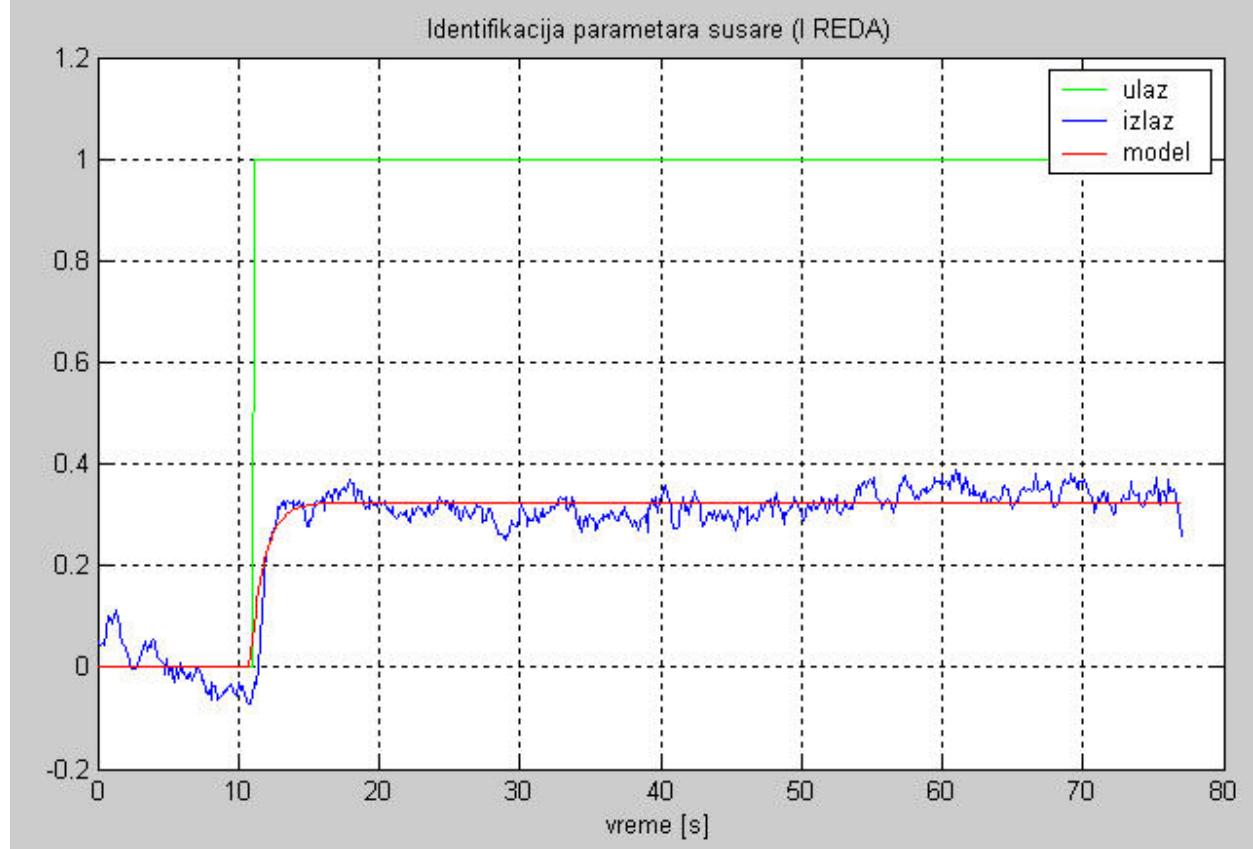
load ID40_1.m;
id= ID40_1

normalizacija

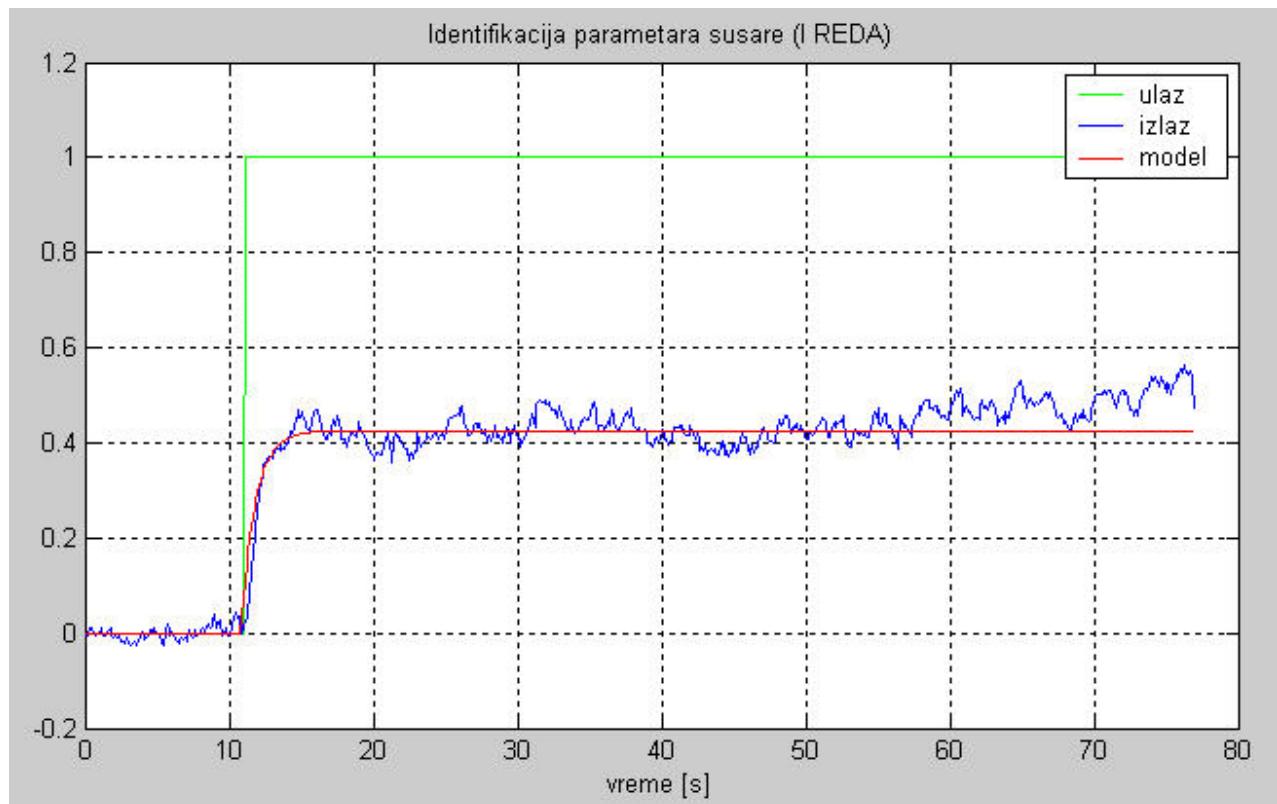
niz=length(id(:,1)); % duzina snimljenih sekvenci
% sekvenca vremena
for i=1:niz
t(i)=i*0.11;
end
% primana metode najmanjih kvadrata
k02=[0.32,10,0.058,0.65];
f2=inline('k(1)/(k(4)-k(3))*(k(4)*(1-exp(-(t-k(2))/k(4)))+k(3)*(1-exp(-(t-
k(2))/k(3))))','k','t');
[k,sumakv]=lsqcurvefit(f2,k02,ul,izl,[0 0],[inf inf]);
K=k(1);
Tau=k(2);
T1=k(3);
T2=k(4);
s22=sumakv;
clc
for j=1:niz
y22k(j)=K/(T2-T1)*(T2*(1-exp(-(t(j)-Tau))/T2)+T1*(1-exp(-(t(j)-Tau))/T1));
if y22k(j)<0;
y22k(j)=0;
end
```

```
end
figure(1)
plot(t,ul,'g',t,izl,'b',t,y22k,'r')
title('Identifikacija parametara susare (II REDA)')
legend('ulaz','izlaz','model')
xlabel('vreme [s]')
grid;
disp(' ');
disp(' Parametri sistema su: ');
disp(' ');
disp([' K = ',num2str(K)]);
disp([' T1 = ',num2str(T1)]);
disp([' T2 = ',num2str(T2)]);
disp([' Tau = ',num2str(Tau)]);
pause, close all
```

metodom najmanjih kvadrata se dobijaju dijagrami (za prvi eksperiment):



i



Krajnji rezultati dobijeni ovom metodom za sva tri experimenta za služaj da je rešenje polinom prvog i drugog stepena su:

za funkciju prenosa 1 reda dobijaju se podaci

slučaj	K	T	T
1	0.32403	0.50188	10.1232
2	0.42559	0.50198	10.1249
3	0.42559	0.50198	10.1249
prosek	0.31974	0.50198	10.12433

funkcija prenosa 1 reda je: $G(s) = \frac{0.31974}{1 + 0.50198} e^{-10.12433s}$

za funkciju prenosa 2 reda dobijaju se podaci

slučaj	K	T1	T2	T
1	0.32056	0.10715	0.64901	9.9991
2	0.32054	0.10714	0.64906	9.9992
3	0.32054	0.10715	0.64901	9.9992

prosek	0.32055	0.10715	0.64903	9.9992
--------	---------	---------	---------	--------

funkcija prenosa 2 reda je: $G(s) = \frac{0.32055}{(1 + 0.10715)(1 + 0.64903)} e^{-9.9992}$

ZAKLJUČAK

Ovaj objekat upravljanja pripada klasi industrijskih procesa čije se dinamičko ponašanje u okolini radne tačke može dobro aproksimirati funkcijom prenosa prvog reda. Upotrebom funkcije prenosa drugog reda ne dobijamo na kvalitetu identifikacije (ne smanjujemo grešku), tako da njena upotreba dovodi jedino do usložnjavanja procesa identifikacije.

DODATAK:

Tablice Laplasove, Z i modifikovane Z transformacije

$F(t)$	$F(s)$	$F(z)$	$F(z,m)$
$\sigma(t)$	1	1	0
$\sigma(t-kT)$	e^{-kTs}	z^{-k}	z^{-m-1-k}
$u(t)$	$\frac{1}{s}$	$\frac{z}{z-1}$	$\frac{1}{z-1}$
t	$\frac{1}{s^2}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$	$\frac{mT}{z-1} + \frac{T}{(z-1)^2}$
$\frac{t^2}{2!}$	$\frac{1}{s^3}$	$\frac{T^2 z(z+1)}{2!(z-1)^3}$	$\frac{T^2}{2!} \frac{m^2}{z-1} + \frac{2m+1}{(z-1)^2} + \frac{2}{(z-1)^3}$
$\frac{t^k}{k!}$	$\frac{1}{s^{k+1}}$	$\lim_{a \rightarrow 0} \frac{(-1)^k}{k!} \frac{\partial^k}{\partial a^k} \left(\frac{z}{z - e^{-aT}} \right)$	$\lim_{a \rightarrow 0} \frac{(-1)^k}{k!} \frac{\partial^k}{\partial a^k} \left(\frac{e^{-axT}}{z - e^{-aT}} \right)$
$a^{t/T}$	$\frac{1}{s - \frac{1}{T} \log a}$	$\frac{z}{z-a}$	$\frac{a^m}{z-a}$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$	$\frac{z}{z-e^{-aT}}$	$\frac{e^{-amT}}{z-e^{-aT}}$

te^{-az}	$\frac{1}{(s+a)^2}$	$\frac{Tze^{-az}}{(z-e^{-az})^2}$	$\frac{Te^{-azT} [e^{-azT} + m(z - e^{-azT})]}{(z - e^{-azT})^2}$
$\frac{t^k e^{-az}}{k!}$	$\frac{1}{(s+a)^{k+1}}$	$\frac{(-1)^k}{k!} \frac{\partial^k}{\partial a^k} \left(\frac{z}{z - e^{-az}} \right)$	$\frac{(-1)^k}{k!} \frac{\partial^k}{\partial a^k} \left(\frac{e^{-azT}}{z - e^{-azT}} \right)$
$1 - e^{-az}$	$\frac{a}{s(s+a)}$	$\frac{z(1 - e^{-az})}{(z-1)(z - e^{-az})}$	$\frac{1}{z-1} - \frac{e^{-azT}}{z - e^{-azT}}$
$t - \frac{1 - e^{-az}}{a}$	$\frac{a}{s^2(s+a)}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{z(1 - e^{-az})}{a(z-1)(z - e^{-az})}$	$\frac{T}{(z-1)^2} + \frac{mT - \frac{1}{a}}{z-1} + \frac{e^{-azT}}{a(z - e^{-azT})}$
$\sin bt$	$\frac{b}{s^2 + b^2}$	$\frac{z \sin bT}{z^2 - 2z \cos bT + 1}$	$\frac{z \sin mbT + \sin((1-m)bT)}{z^2 - 2z \cos bT + 1}$
$\cos bt$	$\frac{s}{s^2 + b^2}$	$\frac{z(z - \cos bT)}{z^2 - 2z \cos bT + 1}$	$\frac{z \cos mbT + \cos((1-m)bT)}{z^2 - 2z \cos bT + 1}$
$\sinh bt$	$\frac{b}{s^2 - b^2}$	$\frac{z \sinh bT}{z^2 - 2z \cosh bT + 1}$	$\frac{z \sinh mbT + \sinh((1-m)bT)}{z^2 - 2z \cosh bT + 1}$
$\cosh bt$	$\frac{s}{s^2 - b^2}$	$\frac{z(z - \cosh bT)}{z^2 - 2z \cosh bT + 1}$	$\frac{z \cosh mbT + \cosh((1-m)bT)}{z^2 - 2z \cosh bT + 1}$

LITERATURA:

Đorević, Nenad, *Identifikacija objekta i sistema upravljanja*, Mašinski Fakultet Kragujevac, Kragujevac, 2004.

www.vets.edu.yu - tablice

