Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Facultatea de Automatică și Calculatoare Secția de Automatică și Informatică Aplicată

Proiect Identificarea Sistemelor

Profesor coordonator:
Prof.univ.dr.ing. Petru Dobra

Student:
Molnár Zsolt
Grupa: 30133

Anul universitar
2023-2024

Cuprins

1. Generarea și vizualizarea semnalelor .... 2.
1.1 Achiziția datelor experimentale .... 2.
1.2 Procesarea datelor .... 2.
2. Identificarea neparametrice .... 3.
2.1 Identificarea sistemului de ordinul 2 .... 3.
2.2 Validare și simulare .... 6.
2.3 Codul din matlab: .... 7.
3. Identificarea parametrice a sistemului .... 8.
3.1 Metoda Celor Mai Mici Pătrate Extinsă (ARMAX)...... 8.
3.2 Metoda erorii de ieșire (OE)..10.
4. Concluzie ....12.

Capitolul 1

Generarea și vizualizarea semnalelor

1.1 Achiziția datelor experimentale

Folosim un circuit electric pentru a genera semnalele. Cu ajutorul unui osciloscp se vizualizează semnalul de intrare și de ieșire al sistemului; se salvează datele la pendrive.

1.2 Procesarea datelor

În Matlab vom importa fișierul cu date experimentale de pe pendrive (Molnar.csv), pentru a identifica un sistem de ordin II utilizând metode parametrice și neparametrice.

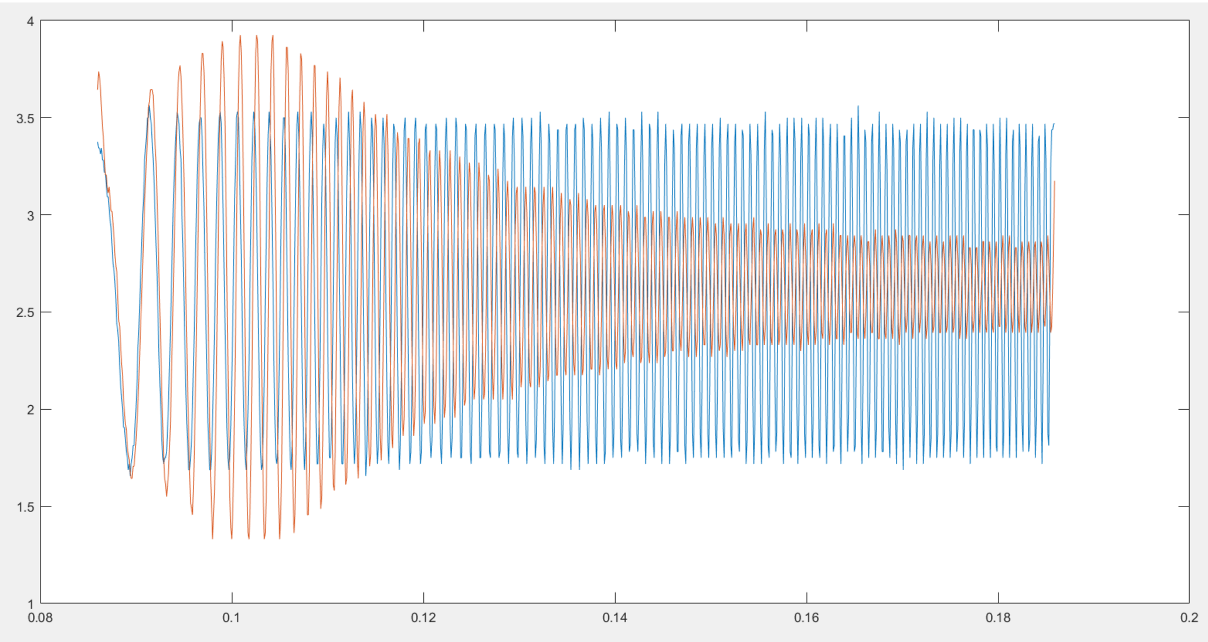


Figura 1.1: Semnalele intrare și ieșire

Din **Figura 1** se vede, că avem semnal sinusoidal la intrare, și un sistem de ordinul 2. Astfel încât folosim metoda de identificare cu poli complex-conjugați pentru identificarea prin metoda neparametrică.

Capitolul 2

Identificarea neparametrice

<u>2.1 Identificarea sistemului de ordinul 2 cu poli complex-conjugați</u>

V-om selecta idicii, o parte din semnalul de intrare (u) și o parte de pe semnalul de iesire (y). Se observa in figura de mai jos:

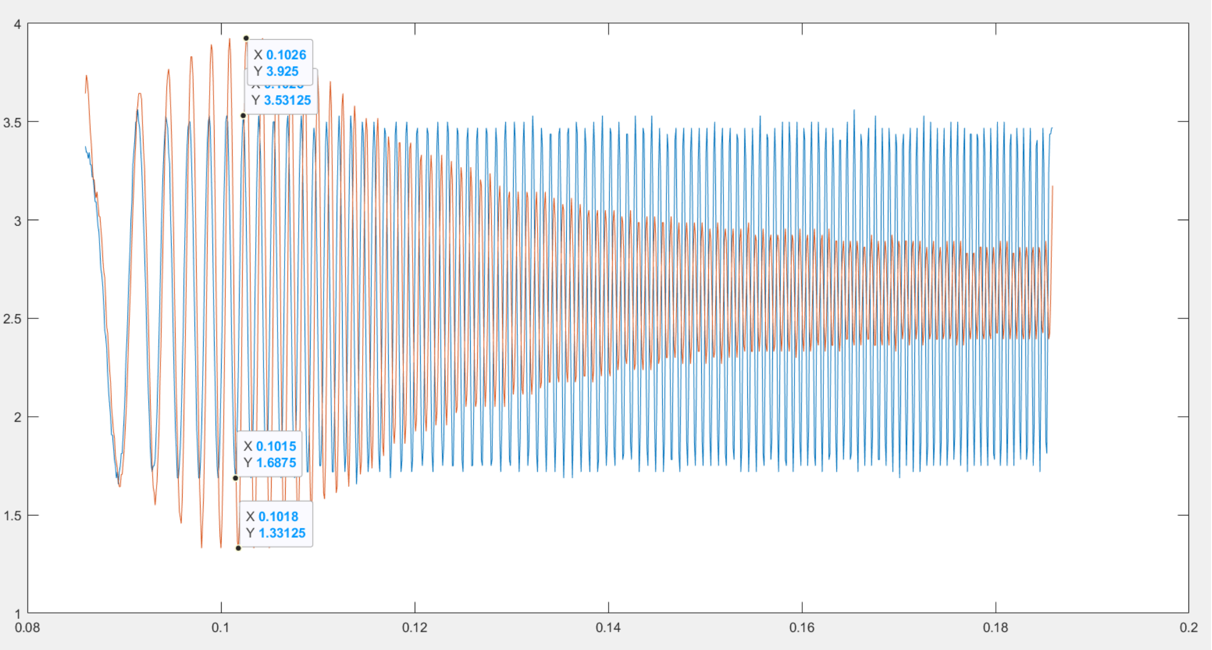


Figura 2.1: Alegerea indicii

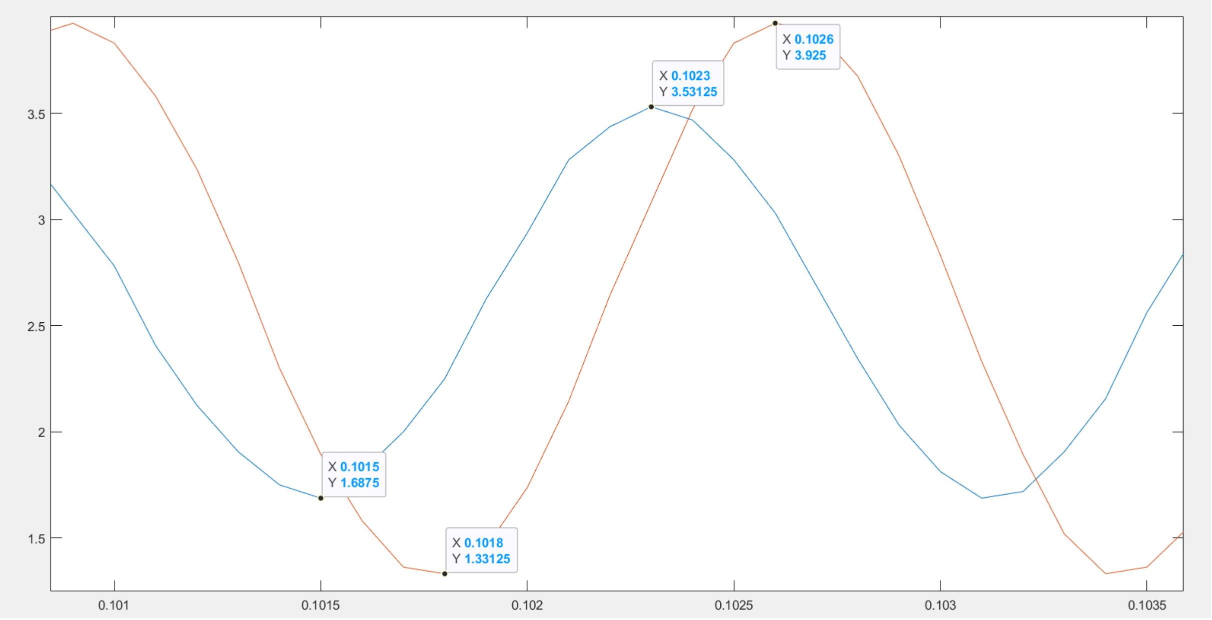


Figura 2.1a

Vom avea nevoie de indicii care reprezintă momentele de timp asociate semnalului de ieşire, respectiv semnalului de intrare la rezonanță. Alegem din zona cu cel mai mare amplitudine al ieșirii. După exportarea datelor, vom avea *i1=156 și i2=164* pentru semnalul de intrare, *i3=159 și i4=167* pentru semnalul de ieșire.

Funcția de transfer

Pentru a determina funcția de transfer de ordinul 2, folosim formula:

$$H(s) = \frac{K \cdot \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}, \quad 0 \leq \zeta < 1.$$

Parametrii pe care trebuie calculate sunt:

- K - factorul de proporționalitate
- ω_n - pulsația naturală de oscilație
- ζ - factorul de amortizare

Factorul de proporționalitate

K este dat de diferența dintre valoarea medie semnalului de intrare măsurat şi valoarea minimă a semnalului de intrare măsurat raportat la diferența dintre valoarea maximă a semnalului de intrare măsurat şi valoarea medie a semnalului de intrare măsurat.

$$K = \frac{mean(y)}{mean(u)}$$

K = 1.0076

Factorul de amortizare

ζ trebuie calculată cu formula:

$$\zeta = \sqrt{\frac{\mathrm{MR} - \sqrt{\mathrm{MR}^2 - 1}}{2 \cdot \mathrm{MR}}}$$

ζ=0.3816

Unde MR este modulul la rezonanță.

Formula Mr este: $$Mr = \frac{y(i4)-y(i3)}{u(i2)-u(i1)} * \frac{1}{K}$$ Mr = 1.4175

După care putem calcula ζ.

Pulsația naturală de oscilație

Pentru a calcula ω_n folosim formula:

$$\omega_n = \frac{\omega_r}{\sqrt{1-2*\zeta^2}}$$ ω_n = 4664,7 [rad/sec]

Unde ω_r este pulsația la rezonanța, care se calculează astfel:

$$\omega_r = \frac{2*\Pi}{T_r}$$ ω_r = 3927 [rad/sec]

Unde T_r este perioada de rezonanță care se calculează astfel:

Tr = 2*(t(i4)-t(i3)) Tr = 0.0016 [sec]

Având parametrii calculate putem determina funcția de transfer:

$$H(s) = \frac{2.192e07}{s^2 + 3560\,s + 2.176e07}$$

2.2 Validare și simulare

Pentru a valida şi a simula modelului din condiții inițiale nenule este necesar modelul de tip spațiul stărilor.
Pe baza formei canonice observabile dedusă din funcția de transfer se obțin matricele:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\zeta\omega_n \end{pmatrix} \qquad B = \begin{pmatrix} 0 \\ k\omega_n^2 \end{pmatrix} \qquad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} \qquad D = (0).$$

Pentru validarea sistemului vom calcula eroarea medie pătratică J, și eroarea medie pătratică normalizată E_{mpn}:

$$J = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}(y_k - y_k^C)^2} \qquad E_{mpn} = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^{N}(y_k - y_k^C)^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{N} y_k^2}}$$

J = 0.0656 $\qquad E_{mpn}$ = 0.1291 (12,91%)

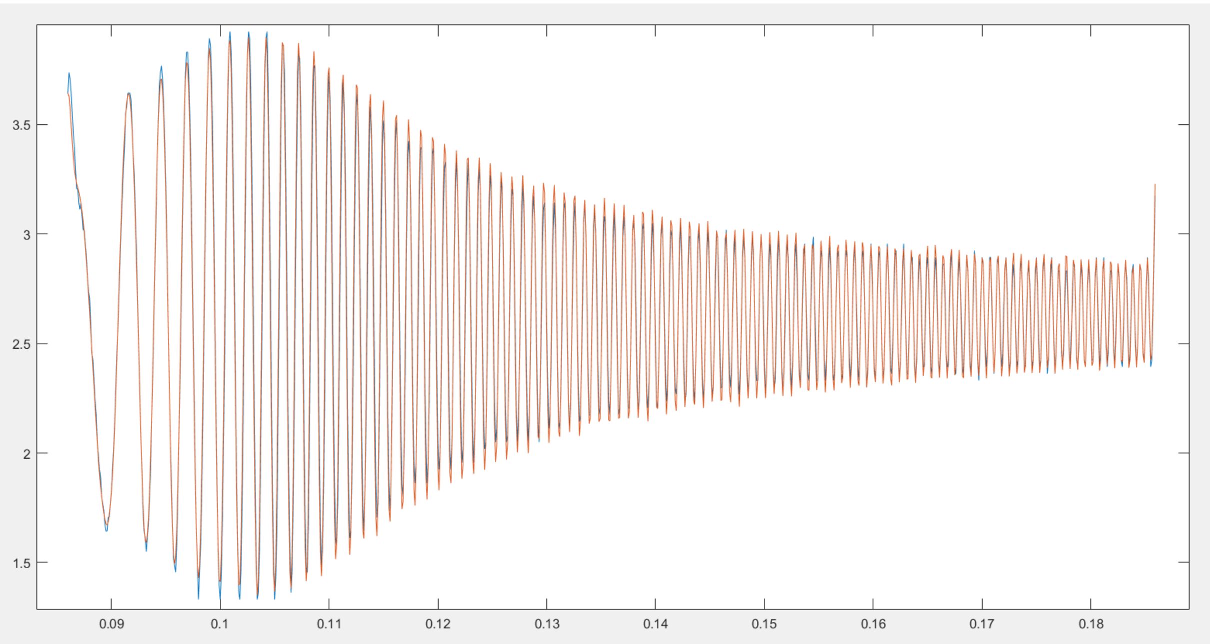


Figura 2.2 Semnalul y simulat suprapus pe semnalul y măsurat

2.3 Codul din matlab:

```
t = Molnar(:,1);
u = Molnar(:,2);
y = Molnar(:,3);
%x = Molnar(:,4);
figure; plot(t,u,t,y);

i1=156; %u jos
i2=164; %u sus

i3=159; %y jos
i4=167; %y sus

k = mean(y)/mean(u);                %factorul de proportionalitate
Mr = (y(i4)-y(i3))/((u(i2)-u(i1))/k);   %modulul de rezonanta

tita = sqrt((Mr-sqrt(Mr^2-1))/2/Mr);    %factorul de amortizare

Tr = 2*(t(i4)-t(i3));                   %Perioada de rezonanta
wr = 2*pi/Tr;

wn = wr/sqrt(1-2*tita^2);               %Pulsația la rezonanță

H=(tf(k*wn^2,[1 2*tita*wn wn^2]));      %Functia de transfer
%[num, den] = tfdata(H,'v');

%validarea datelor folosind spatiul starilor
A=[0,1;-wn^2,-2*tita*wn];
B=[0;k*wn^2];
C=[1,0];
D=0;

sys=ss(A,B,C,D);
ysim=lsim(sys,u,t,[y(1),(y(2)-y(1))/(Tr/2)]);
figure
plot(t,y,t,ysim)

J=norm(y-ysim)/sqrt(length(y));         %eroarea medie patratica
Empn=norm(y-ysim)/norm(y-mean(y));      %eroarea medie patratica
normalizata
```

Capitolul 3

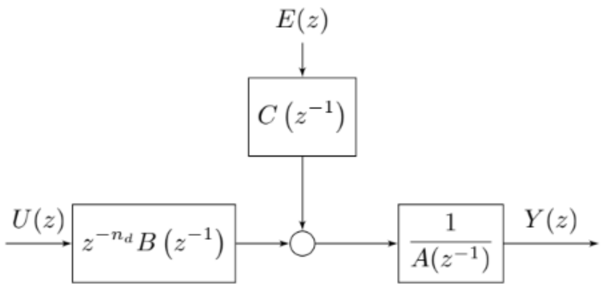
Identificarea parametrice a sistemului

Există patru metode pentru identificarea parametrică a sistemului:

- Metoda Celor Mai Mici Pătrate Recursive (ARX)
- Metoda Celor Mai Mici Pătrate Extinsă (ARMAX)
- Metoda Variabilelor Instrumentale (IV)
- Metoda Erorii de Ieșire (OE)

Cele mai bune rezultate a fost obținute cu metodele alineate de mai sus (ARMAX și OE). Din cauza aceasta vom folosi aceste două metode în continuare.

3.1 Metoda Celor Mai Mici Pătrate Extinsă (ARMAX)



Schema de bloc MCMMPE

Modelul discret de tip proces + perturbație este:

$$A(z^{-1})Y(z) = z^{-n_d}B(z^{-1})U(z) + C(z^{-1})E(z)$$

unde:

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \cdots + a_{n_A} z^{-n_A}$$
$$B(z^{-1}) = b_1 + b_2 z^{-1} + \cdots + b_{n_B} z^{-n_B+1}$$
$$C(z^{-1}) = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \cdots + c_{n_C} z^{-n_C}$$

n_A,n_B,n_C – reprezintă gradul polinoamelor A,B respectiv C

E(z) – este perturbația

Validarea prin autocorelație

Modelul ARMAX trebuie să fie validat prin autocorelație. În Matlab folosim funcția Resid pentru aceasta, și funcția Compare pentru a vizualiza semnalul simulat cu ARMAX.

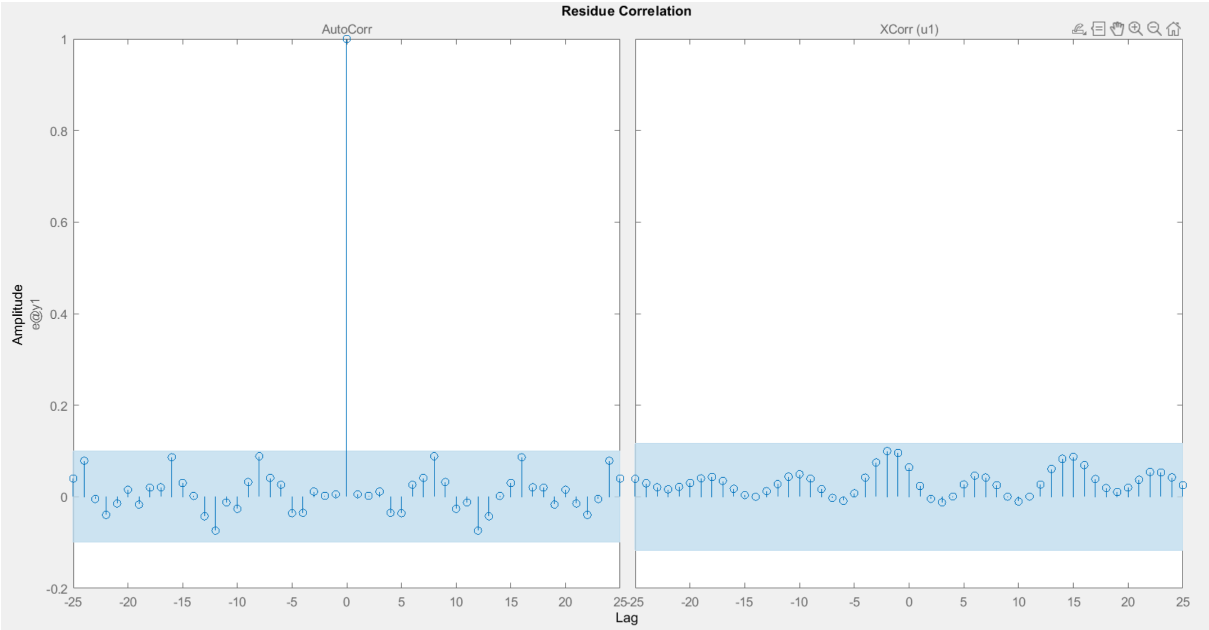


Figura 3.1 Validarea prin autocorelație

Pe Figura 3.1 se vede că semnalul a trecut testul de autocorelație.

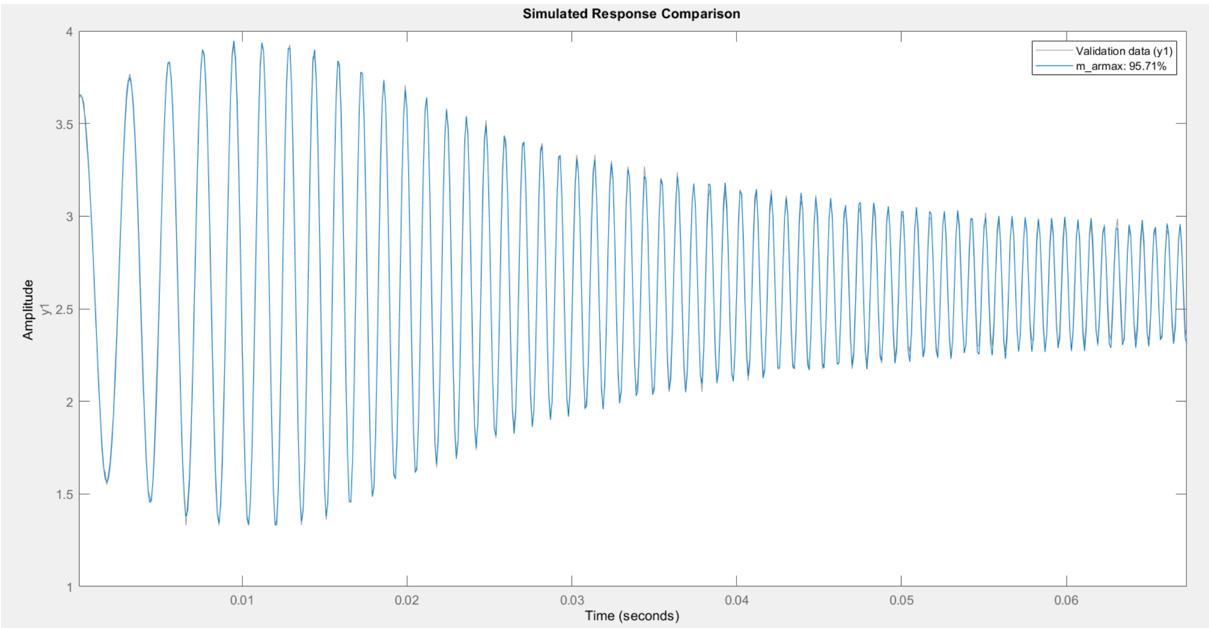
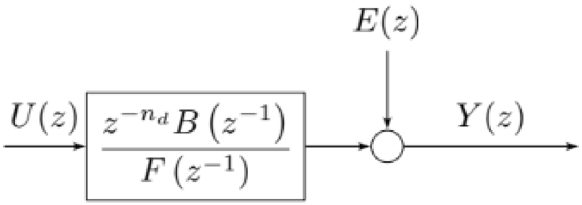


Figura 3.2 Semnalul simulat cu metoda ARMAX

După care semnalul a trecut prin validarea și a fost simulat cu succes (cu eroare de 4.29%), putem scrie funcția de transfer obținut prin discretizare:

$$H_{armax}(z) = \frac{0.1674z\hat{} - 1 \; - \; 0.007256 \, z\hat{} - 2}{1 \; - \; 1.559 \, z^{-1} + \; 0.7183 \, z\hat{} - 2}$$

3.2 Metoda erorii de ieșire (OE)



Schema de bloc OE

Modelul discret de tip proces + perturbație este:

$$Y(z) = \frac{z^{-n_d} B(z^{-1})}{F(z^{-1})} U(z) + E(z)$$

unde:

$$F(z^{-1}) = 1 + \; f_1 z^{-1} + \; f_2 z^{-2} + \cdots + \; f_{n_F} z^{-n_F}$$
$$B(z^{-1}) = b_1 + \; b_2 z^{-1} + \cdots + \; b_{n_B} z^{-n_B+1}$$

n_A,n_F - gradul polinoamelor A, respectiv F
n_d – tacților de întârziere

Validarea prin autocorelație

Modelul OE trebuie să fie validat prin Cross-Coleration (XCorr). În Matlab folosim funcția Resid pentru aceasta, și funcția Compare pentru a vizualiza semnalul simulat cu OE.

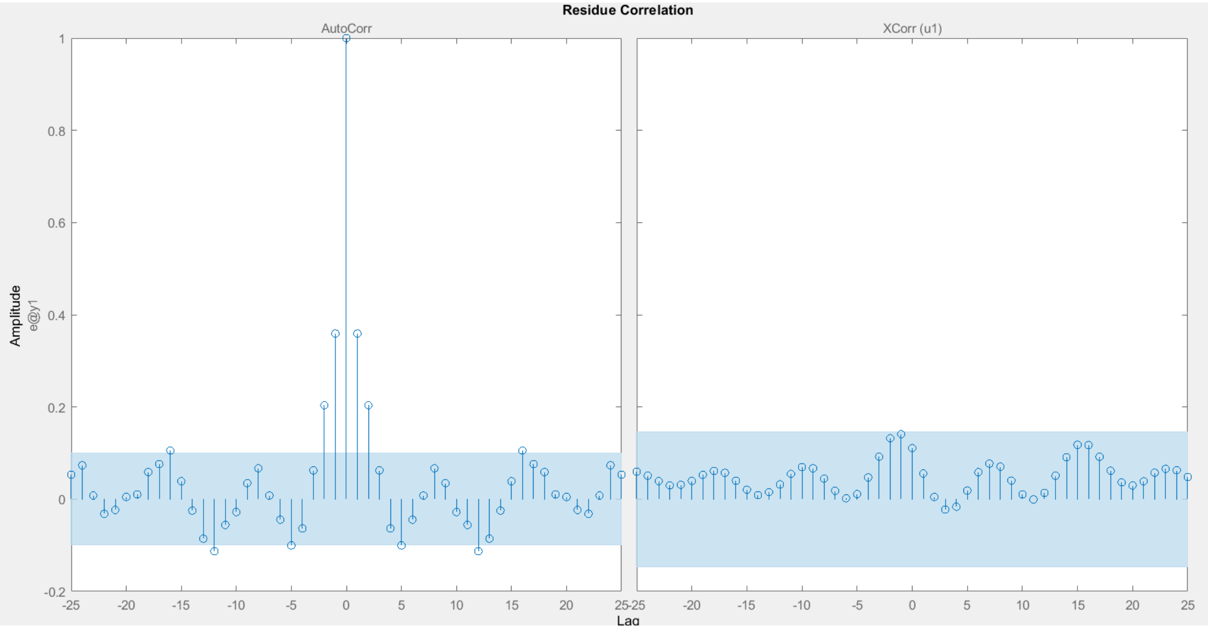


Figura 3.3 Validarea prin XCorr

Pe Figura 3.3 se vede că semnalul a trecut testul de Cross-Correlation.

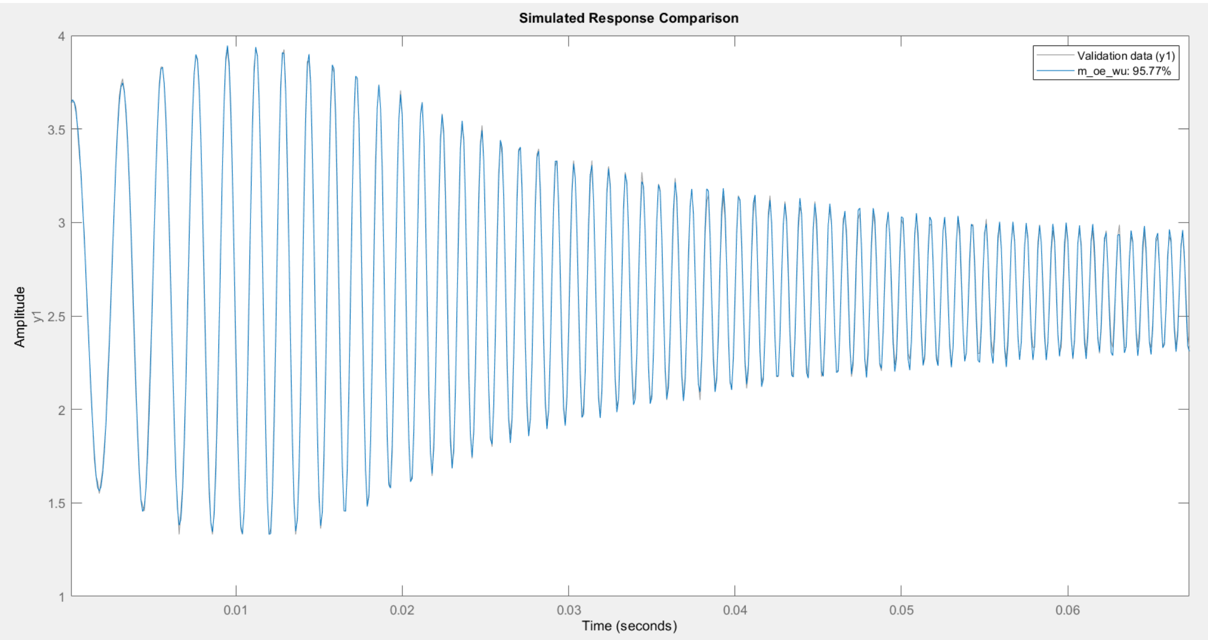


Figura 3.4 Semnalul simulat cu metoda OE

După care semnalul a trecut prin validarea și a fost simulat cu succes (cu eroare de 4.23%), putem scrie funcția de transfer obținut prin discretizare:

$$H_{oe}(z) = \frac{0.09598\,z \,+\, 0.08517}{z\text{^}2 \,-\, 1.521\,z \,+\, 0.7005}$$

<u>Codul din Matlab pentru metode parametrice</u>

```
%Metoda 2
t = Molnar(:,1);
u = Molnar(:,2);
y = Molnar(:,3);
figure; plot(t,u,t,y); shg


i5 = 53;   %inceputul u
i6 = 709;  %sfarsitul u
i7 = 56;   %inceputul y
i8 = 728;  %sfarsitul y

Te = t(2)-t(1);     %timpul esantioanelor
data_id=iddata(y(i5:i6),u(i5:i6),Te);
data_vd=iddata(y(i7:i8),u(i7:i8),Te);


%% identificare cu ARMAX
m_armax = armax(data_id,[2,2,2,1]); %nA,nB,nC,nd

%gradul de suprapunere
figure; compare(data_vd,m_armax); shg

% validarea statistica
figure; resid(data_vd,m_armax)

H_armax = tf(m_armax.B,m_armax.A,Te,'variable','z^-1');
%-------------------------------------------------------------
%% identificare cu OE
m_oe_wu = oe(data_id,[2 2 1]); %nB,nF,nd

%gradul de suprapunere
figure; resid(data_vd,m_oe_wu)

% validarea statistica
figure; compare(data_vd,m_oe_wu)

H_oe = c2d(H,Te,'zoh');
```

Concluzie

În concluzie, în proiectul a fost folosite o metodă neparametrice, care este pentru sistemul de ordinul 2 cu poli complex-conjugați prin analiza fenomenului de rezonanță; și doi metode parametrice precum Metoda Celor Mai Mici Pătrate Extinsă și Metoda Erorii de Ieșire.

Funcțiile de transferi obținute sunt:

<u>Metode Neparametrice:</u>

$$H(s) = \frac{2.192e07}{s\hat{}2 \; + \; 3560\, s \; + \; 2.176e07}$$

<u>Metode Parametrice:</u>

<u>MCMMPE:</u>

$$H_{armax}(z) = \frac{0.1674z\hat{} - 1 \; - \; 0.007256\, z\hat{} - 2}{1 \; - \; 1.559\, z^{-1} + \; 0.7183\, z\hat{} - 2}$$

<u>OE:</u>

$$H_{oe}(z) = \frac{0.09598\, z \; + \; 0.08517}{z\hat{}2 \; - \; 1.521\, z \; + \; 0.7005}$$