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

PROIECT IDENTIFICAREA SISTEMELOR

Student: Juncan Horațiu Vasile

Coordonator: Prof. Dr. Ing. Petru Dobra

Grupa: 30133/1

Anul universitar

2023-2024

1. Obținerea datelor experimentale

Datele experimentale au fost obținute prin observarea semnalelor de intrare si ieșire cu ajutorul unui osciloscop si a unui circuit integrat care primește la intrare un sinus cu frecventa variabila si simulează comportarea unui sistem al cărui funcție de transfer nu are zerouri dar are in compoziția sa doi poli.

Aparatura utilizata:

- Osciloscop
- Circuit integrat

2. Identificarea neparametrică a sistemului prin fenomenul de rezonanță

Identificarea neparametrică a sistemului prin fenomenul de rezonanță este o metodă utilizată în ingineria sistemelor pentru a determina caracteristicile unui sistem fără a fi necesar să se cunoască o formulă matematică exactă a acestuia. În contextul identificării sistemelor, "neparametric" se referă la faptul că nu se folosesc parametri specifici ai unui model matematic, ci se analizează răspunsul sistemului la anumite stimulări sau perturbații.

Rezonanța este tendința unui sistem de a oscila cu o amplitudine mai mare la unele frecvențe decât la altele. Frecvențele la care amplitudinea este maximă se numesc frecvențe rezonante sau frecvențe de rezonanță. La aceste frecvențe chiar și forțe mici pot produce oscilații cu o amplitudine mare, deoarece sistemul acumulează energie cinetică, numită aici energie oscilantă.

Pentru început, am importat în Matlab fișierul Juncan.csv sub formă de matrice numerică (1000x4) unde prima coloană este timpul, a doua coloană este intrarea, a treia coloană este prima ieșire și a patra coloană este a doua ieșire.

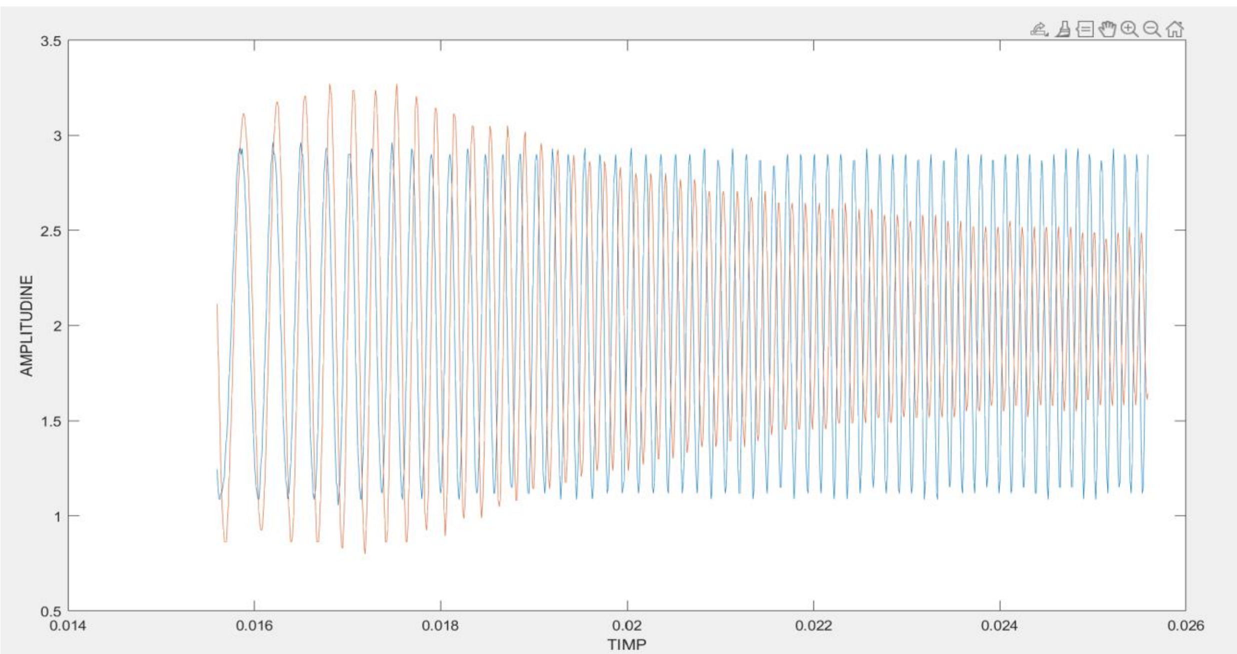

Fig.1: Date inițiale

Apar zgomote, precum și condiții inițiale nenule. Pentru a identifica sistemul prin fenomenul de rezonanță, avem nevoie de următorii parametrii:

- Factorul de proporționalitate K
- Factorul de amortizare ζ
- Pulsația naturală de oscilație ω_n

Astfel, rezultă funcția de transfer de ordinul 2:

$$H(s) = K\,\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

De pe grafic, avem nevoie de 4 indici consecutivi pentru calculul parametrilor: 2 de pe intrare și 2 de pe ieșire, unde amplitudinea este maximă.

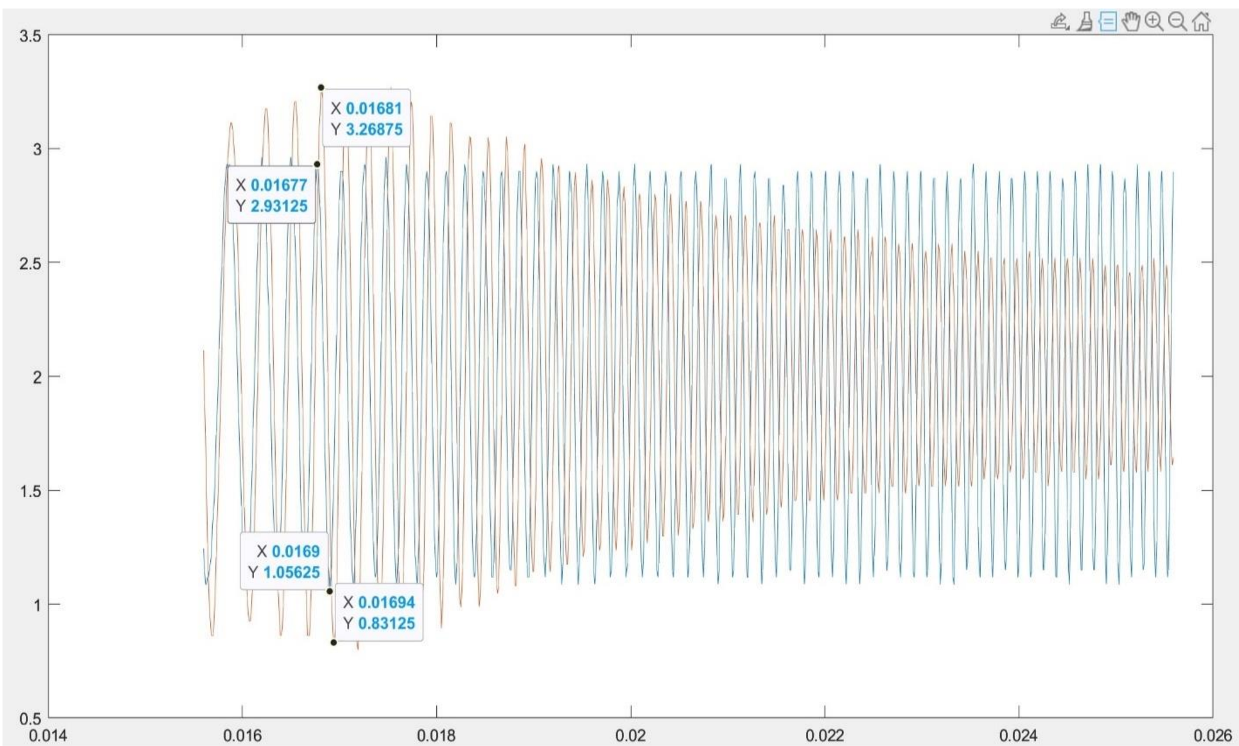

Fig.2: Identificarea indicilor

y_{max} (136), y_{min} (122), u_{max} (119), u_{min} (131) reprezintă datele exportate de pe grafic.

Pentru a calcula **factorul de amplificare** am folosit formula:

$$K = \frac{mean(y)}{mean(u)} = 1.0116$$

Pentru a calcula **amplificarea maximă** am folosit formula:

$$Mr = \frac{t(y_{max}) - t(y_{min})}{[t(u_{max}) - t(y_{min})] * K} = 1.3$$

După care am calculat **factorul de amortizare** utilizând formula:

$$\zeta = \frac{\sqrt{Mr - \sqrt{Mr^2 - 1}}}{2 * Mr} = 0{,}4249$$

Pentru a calcula **perioada de rezonanță** am folosit formula:

$$T_n = 2 * \left(t(y_{max}) - t(y_{\min)}\right) = 2.4e^{-04}$$

Pentru a calcula **pulsația de rezonanță** am avut nevoie de formula:

$$\omega_r = \frac{2 * \Pi}{T_n} = 2.6180e^{+04}$$

După care am aflat **pulsația naturală de oscilație** utilizând formula:

$$\omega_n = \frac{\omega_r}{\sqrt{1 - 2 * \zeta^2}} = 3.2751e^{+04}$$

Având toți parametrii necesari, a rezultat funcția de transfer de gradul 2:

$$H(s) = \frac{1.085e^{09}}{s^2 + 2.783e^{04}s + 1.073e^{09}}$$

Având în vedere faptul că sistemul pornește din condiții inițiale nenule, va trebui să facem simularea în condiții inițiale nenule. Pentru acest lucru vom trece în spațiul stărilor, deoarece doar aici putem introduce noi condițiile pe care le vrem noi. Vom avea nevoie de matricele:

$$A = \begin{matrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\zeta\omega_n \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1{,}073e+9 & -2{,}723e+4 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{matrix} 0 \\ K\omega_n^2 \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1{,}085e+9 \end{bmatrix}$$

$$C = [\,1 \quad 0\,]$$

$$D = 0.$$

Pentru simulare am folosit funcția lsim, unde am introdus condițiile inițiale nenule:

$$ysim = lsim(sys, u, t, \left[y(1); \frac{y(2) - y(1)}{t(2) - t(1)}\right])$$

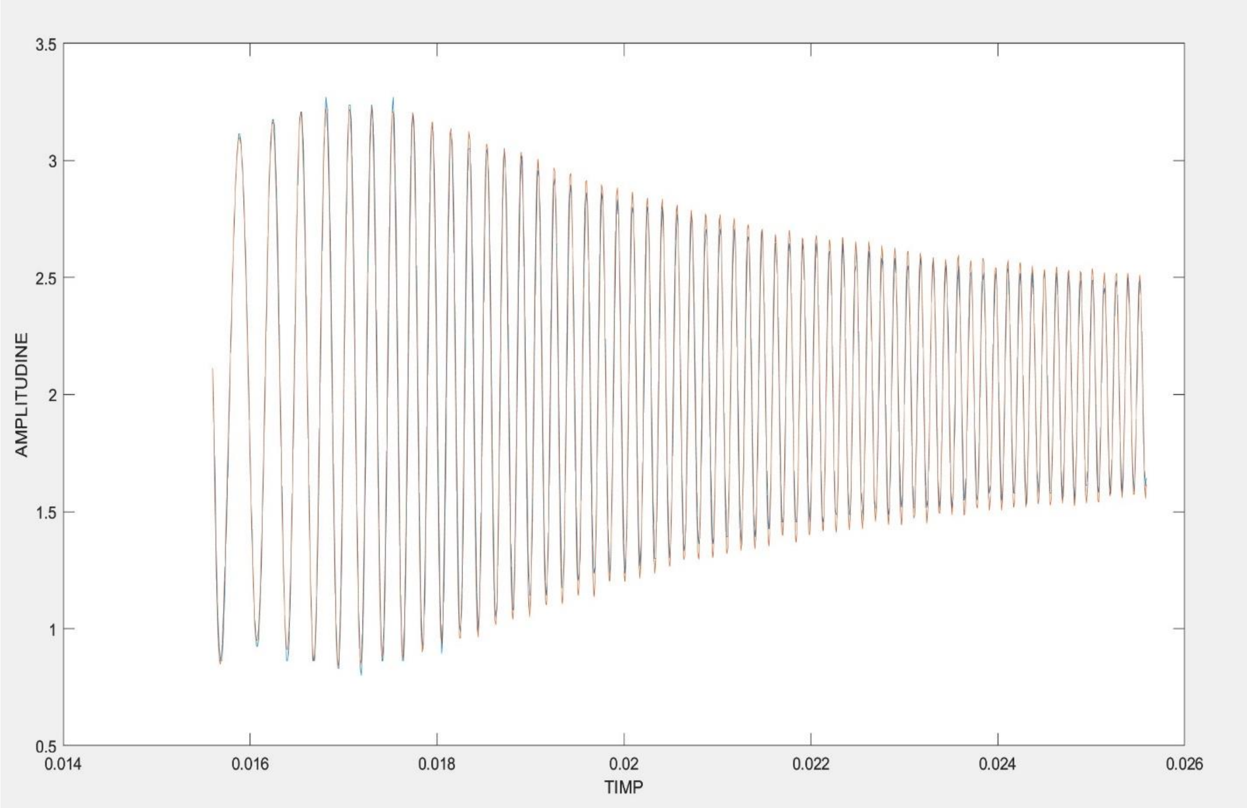

Fig.3: Datele simulate după identificare

Pentru validarea sistemului vom calcula eroarea medie pătratică

$$J = \frac{1}{sqrt(lenght(t))} * norm(y - ysim) = 0.0674$$

și eroarea medie pătratică normalizată

$$E_{mpn} = \frac{norm(y - ysim)}{norm(y - mean(y))} = 11.4538\ \%$$

3. Identificarea parametrică a sistemului

Identificarea parametrică a sistemului este o abordare în ingineria sistemelor prin care se încearcă estimarea și determinarea parametrilor unui model matematic care descrie comportamentul sistemului. Acest model poate fi ulterior folosit pentru a înțelege, controla sau simula sistemul în diverse aplicații.

Pornind de la structura generală de identificare care folosește minimizarea erorii de predicție, am impus 4 metode particulare: metoda celor mai mici pătrate recursive (implementată în rutina ARX), metoda celor mai mici pătrate extinsă (implementată în rutina ARMAX), metoda variabilelor instrumentale (implementată în rutina IV4 și IVX), și metoda erorii de ieșire (implementată în rutina OE). În cadrul acestui proiect, rezultatele cele mai bune au fost obținute prin metodele ARMAX și OE.

Pentru identificarea modelelor, am creat un set de date de identificare de tipul iddata.

3.1 Metoda celor mai mici pătrate extinsă (ARMAX)

Schema bloc a acestui model este:

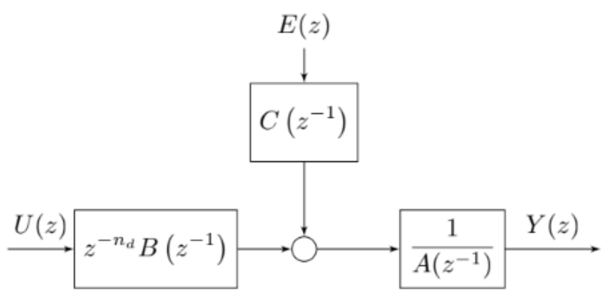

Fig.4: Structura corespunzătoare metodei ARMAX

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:

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \cdots + a_{n_A} z^{-n_A}$$

$$B(z^{-1}) = b_1 + b_2 z^{-1} + \cdots + b_{n_B} z^{-n_B+1}$$

$$C(z^{-1}) = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \cdots + c_{n_C} z^{-n_C}$$

Pentru identificarea modelului vom avea:

m_armax = armax(Data_id,[2 2 2 1]);

unde primele 3 cifre reprezintă gradul polinoamelor A, B și C, iar ultima cifră este numărul tacților de întârziere. Funcția de transfer obținută în discret este:

$$H_{armax}(z) = \frac{0.08897\,z\ -\ 0.004311}{z^2 -\ 1.689\,z\ +\ 0.7725}$$

Apoi, folosind funcțiile RESID și COMPARE, putem observa că testul de validare este trecut.

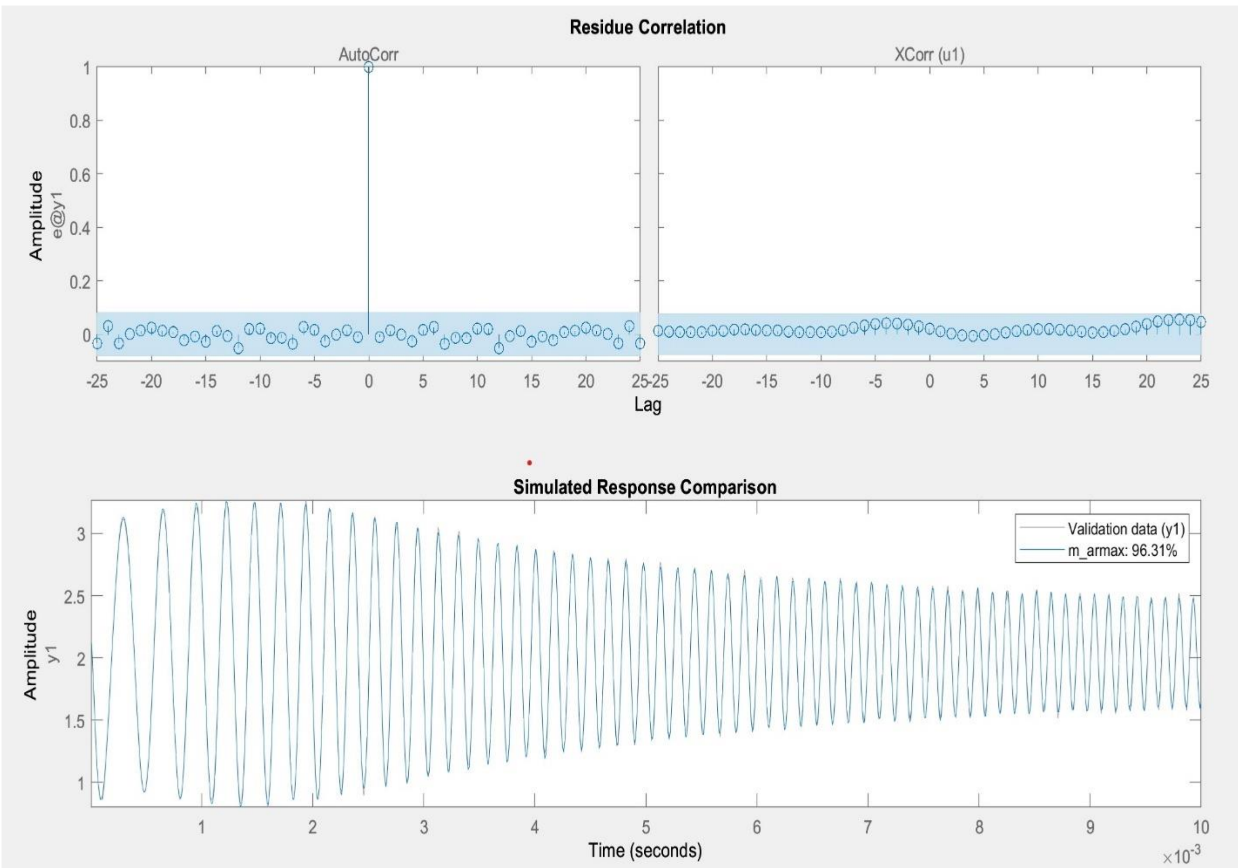

Fig.5: Validarea modelului prin metoda ARMAX

3.2 Metoda erorii la ieșire (OE)

Schema bloc a acestui model este:

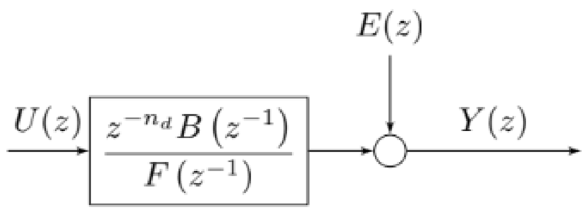

Fig.6: Structura corespunzătoare metodei OE

Modelul discret de tip *proces + perturbație* este:

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

unde:

$$F(z^{-1}) = 1 + f_1 z^{-1} + f_2 z^{-2} + \cdots + f_{n_F} z^{-n_F}$$

$$B(z^{-1}) = b_1 + b_2 z^{-1} + \cdots + b_{n_B} z^{-n_B+1}$$

Pentru identificarea modelului vom avea:

m_oe=oe(Data_id,[2 2 1]);

unde primele 2 cifre reprezintă gradul polinoamelor B și F, iar ultima cifră este numărul tacților de întârziere. Funcția de transfer obținută în discret este:

$$H_{oe}(z) = 0.08883\, z - 0.003935$$

Apoi, folosind funcțiile RESID și COMPARE, putem observa că testul de validare este trecut.

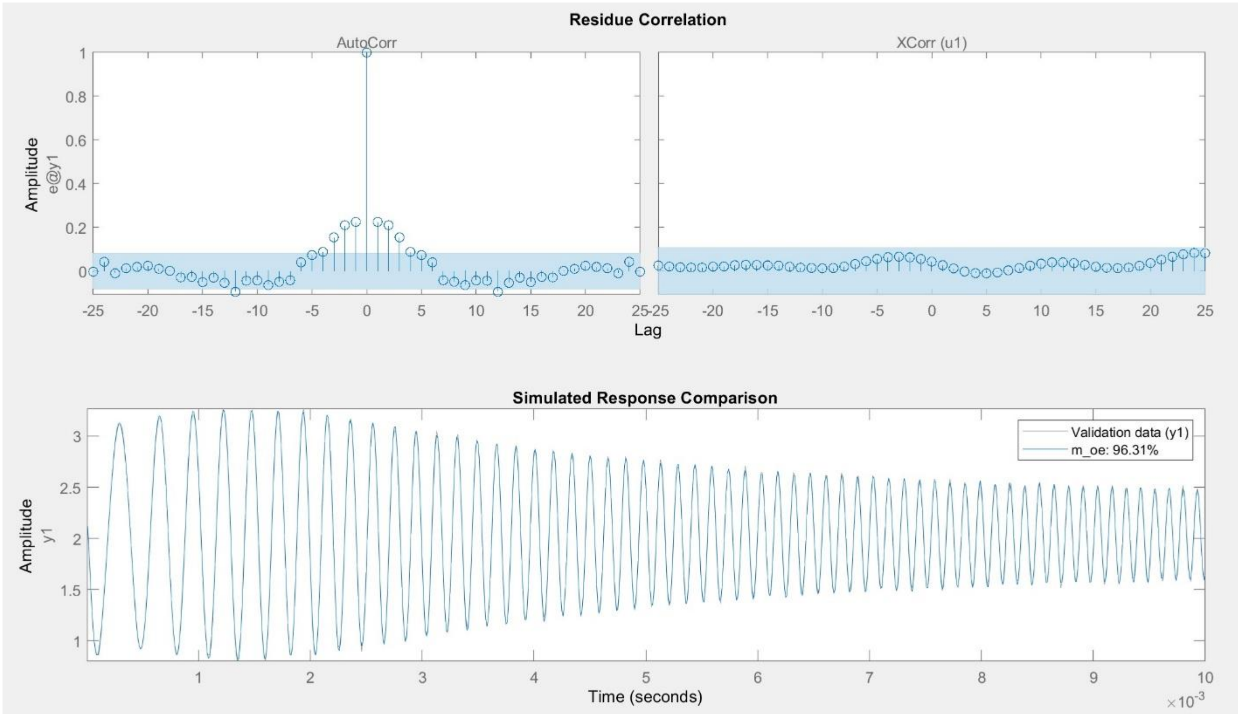

Fig.7: Validarea modelului prin metoda OE

3.Concluzie

În acest proiect, ne-am concentrat pe identificarea unui sistem de ordin II, fără zerouri, prin evaluarea răspunsului său la un semnal sinusoidal. Am utilizat atât abordări neparametrice, prin analizarea fenomenului de rezonanță, cât și metode parametrice, precum cele bazate pe cele mai mici pătrate extinse (ARMAX) și prin metoda erorii de ieșire (OE).

În concluzie, proiectul a evidențiat că atât metodele neparametrice, cât și cele parametrice, pot fi eficiente în identificarea sistemelor cu răspuns la semnal sinusoidal, fiecare metodă având propriile avantaje, dezavantaje și limitări.

4.Codul utilizat în matlab

```
clc;close all;clear;
load juncan.mat;

t = Juncan(:,1);
u = Juncan(:,2);
y = Juncan(:,3);
figure(1)
plot(t,u,t,y)

u_min = 131;
u_max = 119;
y_min = 136;
y_max = 122;

k = mean(y)/mean(u); % factorul de amplificare
Tn = 2*(t(u_min)-t(u_max)); % perioada de rezoanta

Mr = ((y(y_min)-y(y_max))/k)/((u(u_min)-u(u_max))/k); % modul de rezonanta,
amplificare maxima

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

wr =(2*pi)/Tn; % pulsatia de rezonanta

wn= wr/sqrt(1-2*zeta^2); % pulsatia naturala de oscilatie

num = k*wn^2;
den = [1,2*zeta*wn,wn^2];
```

```
H_con = tf(num,den)

A = [0,1; -wn^2,-2*zeta*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))/(t(2)-t(1))]);
figure(2)
plot(t,y,t,ysim)

J=1/sqrt(length(t))*norm(y-ysim) % eroarea medie patratica
empn1 =norm(y-ysim)/norm(y-mean(y))*100 % eroarea medie patratica normalizata

%% setul de date pentru metodele parametrice
Te = t(2)-t(1);

Data_id = iddata(y ,u ,Te);
Data_vd = iddata(y ,u ,Te);

%% metoda ARMAX - trecut

m_armax = armax(Data_id,[2 2 2 1])
figure(3);subplot(211);resid(Data_id,m_armax)
subplot(212);compare(Data_id,m_armax)

H_armax = tf(m_armax.B,m_armax.A,Te)

%% metoda OE - trecut

m_oe=oe(Data_id,[2 2 1])
figure(4);subplot(211);resid(Data_id,m_oe)
subplot(212);compare(Data_id,m_oe)

H_oe = tf(m_oe.B,m_oe.A,Te)

%% metoda ARX - esuat

m_arx = arx(Data_id,[2 2 1])
figure;resid(Data_id,m_arx)
figure;compare(Data_id,m_amax)

%% metoda IV - esuat

m_iv = iv4(Data_id,[1 1 1])
figure,resid(Data_id,m_iv)
figure,compare(Data_id,m_iv)
```

CUPRINS