UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE

SPECIALIZAREA: AUTOMATICĂ ȘI INFORMATICĂ APLICATĂ

PROIECT - IDENTIFICAREA SISTEMELOR

Profesor coordonator:

Prof. Dr. Ing. Dobra Petru

Student:

Ungureanu Valentin-Stefan

Grupa 30132

Cuprins

1. Cerintele primite pentru realizarea proiectului

I. Identificați unul dintre sisteme primite (sistemul de ordin al II-lea fără zero sau cu zero) din fișierul cu format “.csv” la ora de proiect, exploatând fenomenul de rezonanță. (determinarea perioadei de rezonanță, raportul de amplitudinilor, factorul de proporționalitate, factorul de amortizare și pulsația naturala; de aici să se afle și funcția de transfer a sistemului în rezonanță, dar și eroarea medie pătratică normalizată).

II. Estimați răspunsul în frecvență a unuia dintre sisteme (determinarea pulsațiilor cu ajutorul perioadelor semnalului sistemului, pulsații care ne vor ajuta în prelucrarea modulului și a defazajului; caracteristica de modul și cea de fază).

III. Realizați identificarea parametrică – 2 modele:
- Model 1: validat prin albirea erorii de predicție față de datele măsurate la intrare și la ieșire (testul bazat pe autocorelație);
- Model 2: validat prin decorelarea erorii de predicție față de datele măsurate la intrare și la ieșire (testul de intercorelație).

2. Prezentarea setului de date achiziționat și scopul proiectului

Pentru realizarea proiectului, se va utiliza setul de date din fișierul „scope_53.csv”. Obiectivul proiectului constă în determinarea modelului dinamic al unui sistem de ordinul II. Activitatea presupune aplicarea metodelor neparametrice pentru analiza fenomenului de rezonanță, alături de utilizarea metodelor parametrice, precum metoda celor mai mici pătrate extinsă (ARMAX), metoda erorii de ieșire (OE) și estimarea răspunsului sistemului în frecvență.

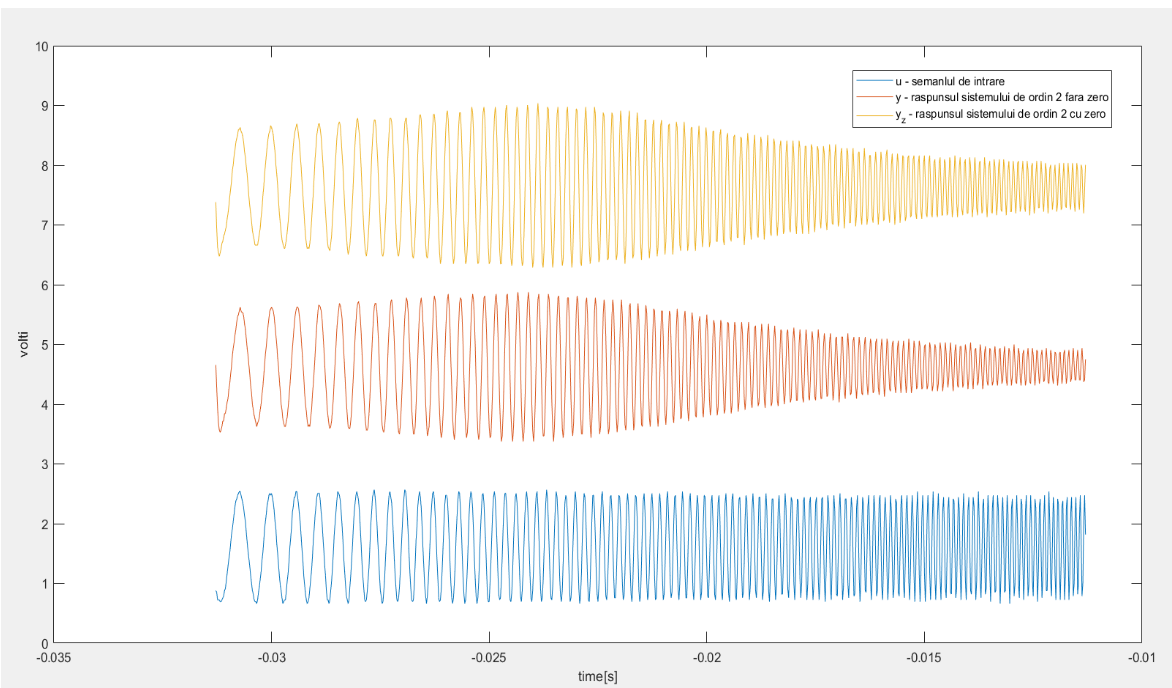

Figura 1. Datele primite pentru identificare

3. Identificarea neparametrică pentru sistemul de ordin II fără zero

Analiza fenomenului de rezonanță se va efectua utilizând semnalul de ieșire lipsit de componenta zero. Frecvențele de rezonanță vor fi localizate în punctele unde amplitudinea înregistrează valorile maxime. Din informațiile prezentate în Figura 2, s-a identificat modulul la rezonanță, care va fi folosit pentru determinarea factorului de amortizare. În etapa următoare, vor fi calculate factorul de proporționalitate, perioada corespunzătoare rezonanței, pulsația specifică rezonanței și pulsația naturală a oscilațiilor.

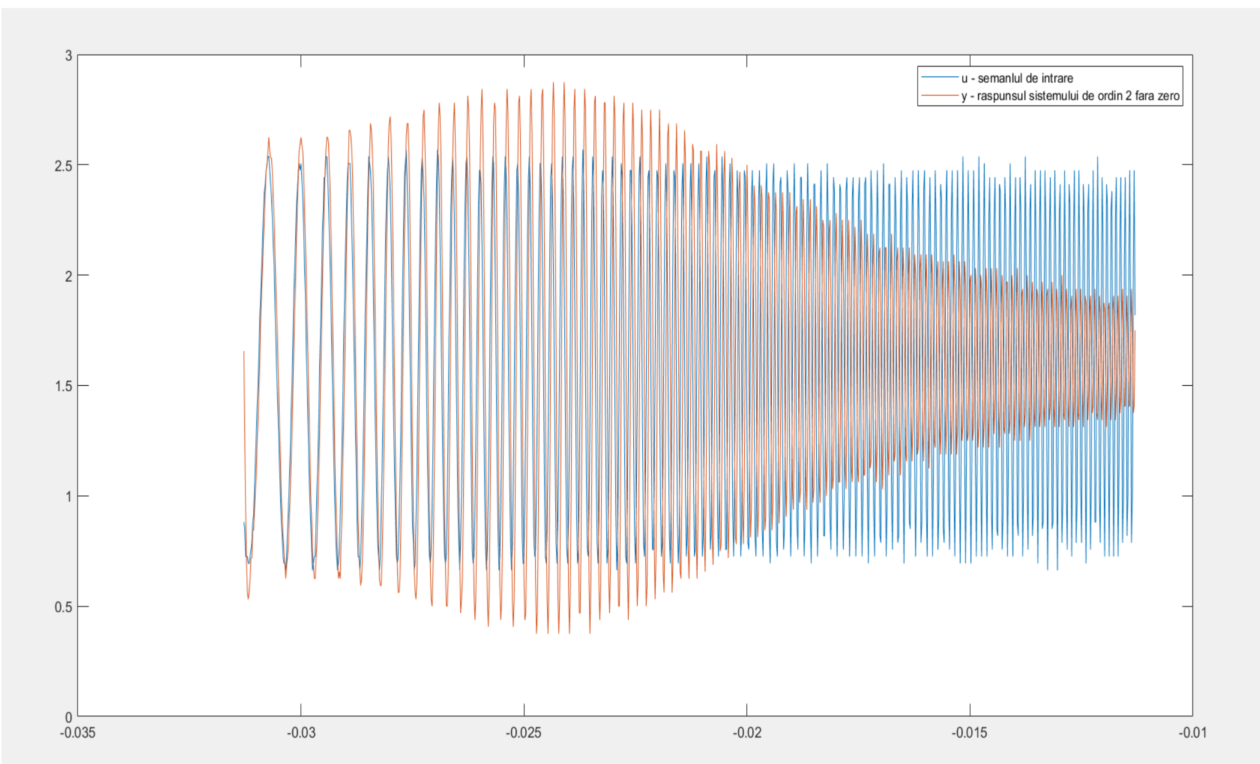

Figura 2. Reprezentarea grafică a datelor de intrare si a datelor de iesire a sistemului fara zero

Forma funcției de transfer de ordin II fără zero este următoarea:

- H(s)=$\frac{kw_n^2}{s^2+2\zeta w_n+w_n^2}$

Pentru calcularea modulului la rezonanță, trebuie să identificăm, cu ajutorul funcțiilor *max()* si *min()*, implementate în MATLAB, amplitudinea maximă si minimă de pe intrare, respectiv, ieșire. Astfel, obținem următoarele valori:

- u_{max}= 2.5688, u_{min} = 0.6625;
- y_{max}= 2.8750, y_{min} = 0.3750;

Așadar, modulul la rezonanță este calculat prin raportul dintre diferențele valorilor introdu-se mai sus:

- M_r= $\frac{y_{max}-y_{min}}{u_{max}-u_{min}}$= 1.3115

Factorul de proporționalitate este determinat prin următoarea formula:

- k= $\frac{\bar{y}}{\bar{u}}$ =1.0107, unde $\bar{u}$ și $\bar{y}$ reprezintă valorile medii ale ieșirii și ale intrării sistemului de ordin II fără zero

Factorul de amortizare $\zeta\epsilon\left(0;\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$ este determinat din formula:

- $M_r = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}}$, de unde resultă $\zeta = \sqrt{\frac{1-\sqrt{1-\frac{1}{M_r^2}}}{2}}$ = 0.4201

Perioada semnalului este dată de intervalul a două maxime consecutive. În cazul nostru, nu am ales neapărat maximul si minimul intrării, căci nu am putut să stabilim o eroare medie pătratică normalizată sub 10%. Prin identificarea maximelor și minimelor semnalului de intrare, respectiv ale semnalului de ieșire, sau prin alegerea a două puncte care ne convin, vom obține doar jumătate de perioadă, din această cauză vom multiplica cu 2 această diferență. Astfel, vom obține perioada:

- $T_{rez} = 2\left(t(u_{max}) - t(u_{min})\right) = 0.00024$

Cu ajutorul acestei perioade la rezonanță vom putea determina valoarea pulsații la rezonanță

- $\omega_{rez} = \frac{2}{T_{rez}} = 2.6180e + 04$

Pulsația naturală de oscilație o calculăm cu ajutorul următoarei formule:

- $\omega_n = \frac{\omega_{rez}}{\sqrt{1-2\zeta^2}}$ = 3.2548e+04

Simularea sistemului în condiții inițiale nenule se efectuează prin spațiul stărilor:

- Matricea de incidență: $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n & -2\zeta\omega_n \end{pmatrix}$
- Matricea intrărilor: B = $\begin{pmatrix} 0 \\ kw_n^2 \end{pmatrix}$
- Matricea ieșirilor: C =$\begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix}$
- Matricea de transfer direct: D = (0)

Funcția de transfer rezultată este:

- $H(s) = \frac{1.071e09}{s^2+2.735e04\,s+1.059e09}$

Răspunsul sistemului obținut prin simulare este prezentat în *Figura 3* de mai jos:

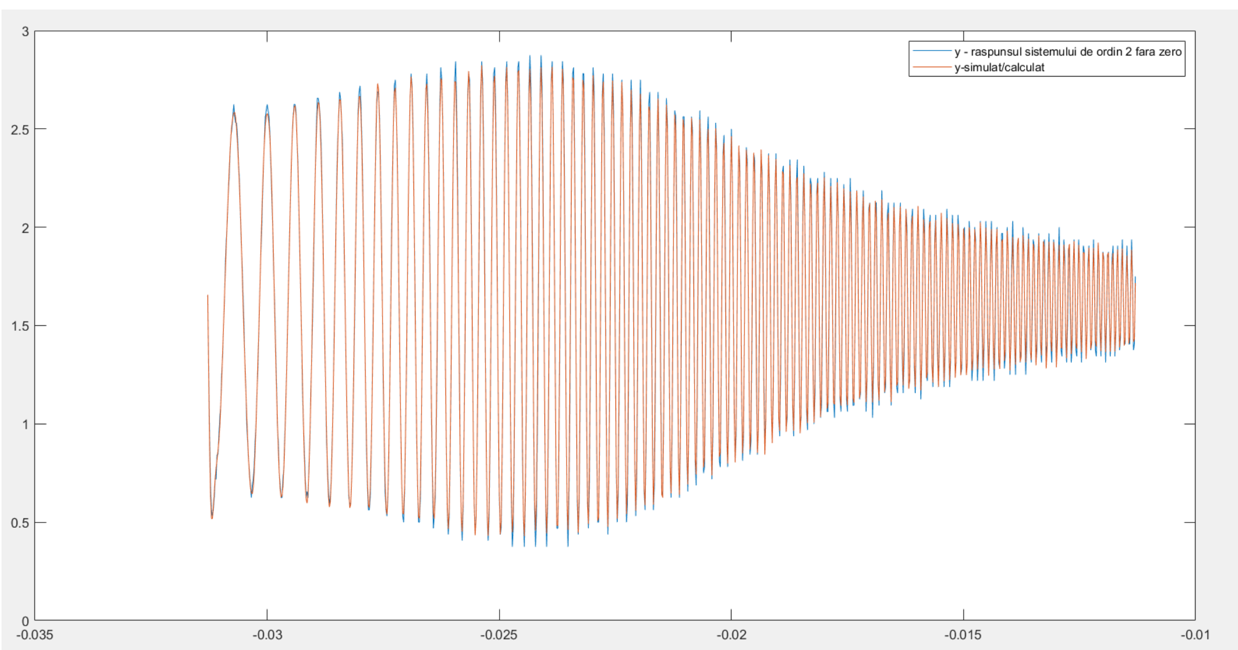

Figura 3 Reprezentarea grafica a datelor de iesire a sistemului fara zero si a sistemului obtinut prin simulare

Validarea rezultatului o vom face prin determinarea valorii medii pătratice dintre ieșirea măsurată și cea calculată.

Eroarea medie pătratică: $J = \frac{\|y - y_{calculat}\|}{\sqrt{N}}$ = 0.0352, unde N reprezintă numărul de elemente din y.

Eroarea medie pătratică normalizată : $\varepsilon_{MPN} = \frac{\|y - y_{calculat}\|}{\|y - \bar{y}\|}$ = 0.0556 = 5.56%

4. **Estimarea răspunsului în frecvență**

Răspunsul în frecvență a unui sistem de ordin II este reprezentat prin diagrama Bode. Acest capitol cuprinde estimarea diagramei de modul și a celei de fază prin calcularea pulsațiilor din reprezentarea grafică a datelor de intrare, rezultând modulele și fazele corespunzătoare pulsațiilor din reprezentarea grafică atât a datelor de intrare, cât si a celor de ieșire ale sistemului de ordin II fără zero.

Răspunsul în frecvență al sistemului de ordin II fără zero este reprezentat în figura 1 de jos:

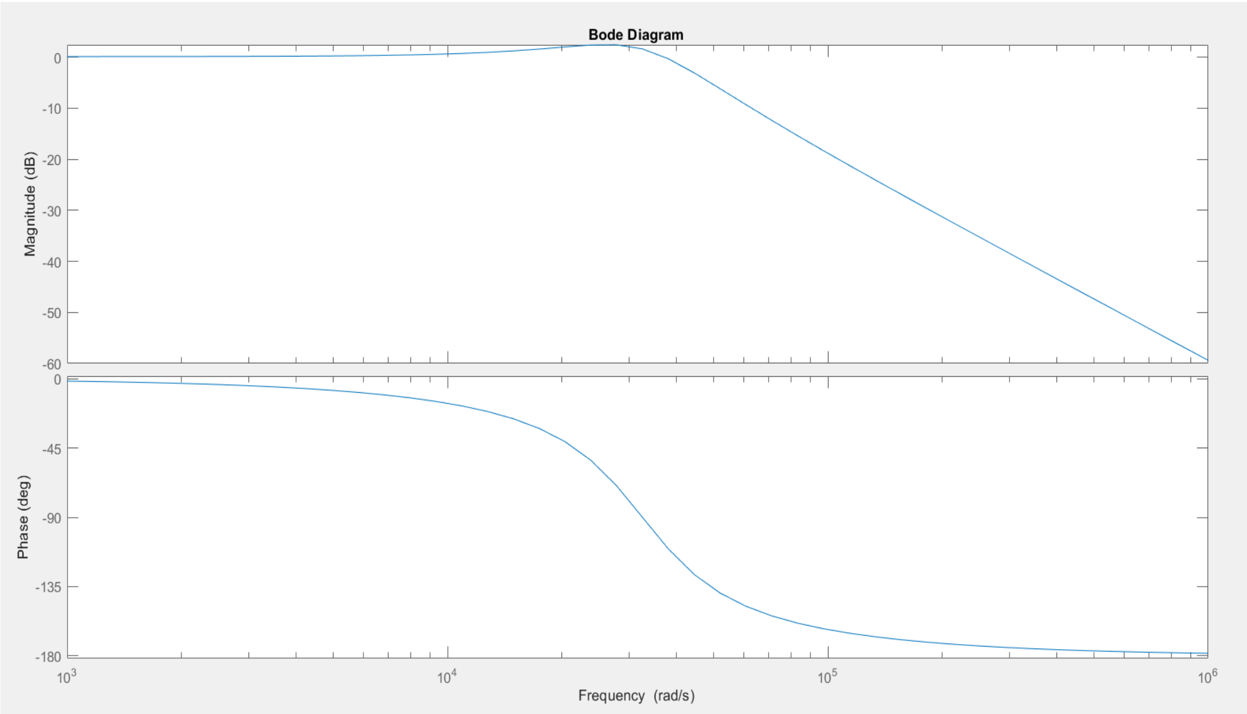

Figure 4 Diagrama Bode a sistemului de ordin II fara zero

4.1. Caracteristica de modul

Caracteristica de modul: $(\omega, |H(j\omega)^{dB}|)$, unde axa Ox reprezintă pulsația în radiani pe secundă, afișată in scară logaritmică, iar axa Oy reprezintă modulul funcției de transfer H(jω) în decibeli.

Formula pentru care vom calcula pulsațiile este:

- $\omega = \frac{\pi}{|t(u_{max})-t(u_{min})|} = \frac{\pi}{t(u_{max})-t(u_{min})}$

Modulele în valoare reală se vor calcula, folosind următoarea formulă, ulterior, fiind reprezentate în decibeli:

- $M = \frac{y(y_{max})-y(y_{\min})}{u(u_{max})-u(u_{min})}$

Unde $y_{max}, y_{min}, u_{max}, u_{min}$ sunt indicii selectați de pe graficul cu reprezentarea datelor de intrare și ieșire, reprezentând minimele si maximele pentru o semiperioadă.

Spre exemplu, pentru prima pulsație am identificat de pe grafic indicii: y_{max}=94, $y_{\min}$=81, u_{max}=93, u_{min}=78. Aplicând formula pentru pulsație și modul, vom obține ω_1= 1.0472e+04 și M1 = 1.0667. .

Procedând la fel și pentru mai mulți indici identificați de pe grafice obținem următoarele pulsații și module:

ω_1 =1.0472e+04	M_1= 1.0667
ω_2 =1.2083e+04	M_2= 1.1186
ω_3 =1.5708e+04	M_3= 1.1167
ω_4 =1.7453e+04	M_4= 1.2167
ω_5 =1.9635e+04	M_5= 1.2373
ω_r =2.6180e+04	M_r= 1.3559
ω_6 =3.1416e+04	M_6= 1.1724
ω_7 =3.9270e+04	M_7= 0.9107
ω_8 =5.2360e+04	M_8= 0.4727
ω_9 =7.8540e+04	M_9= 0.2264

Folosind comanda *semilogx()*, putem estima caracteristica de modul a sistemului simulat bazată pe calculul pulsațiilor și modulelor de mai sus în figura alăturată:

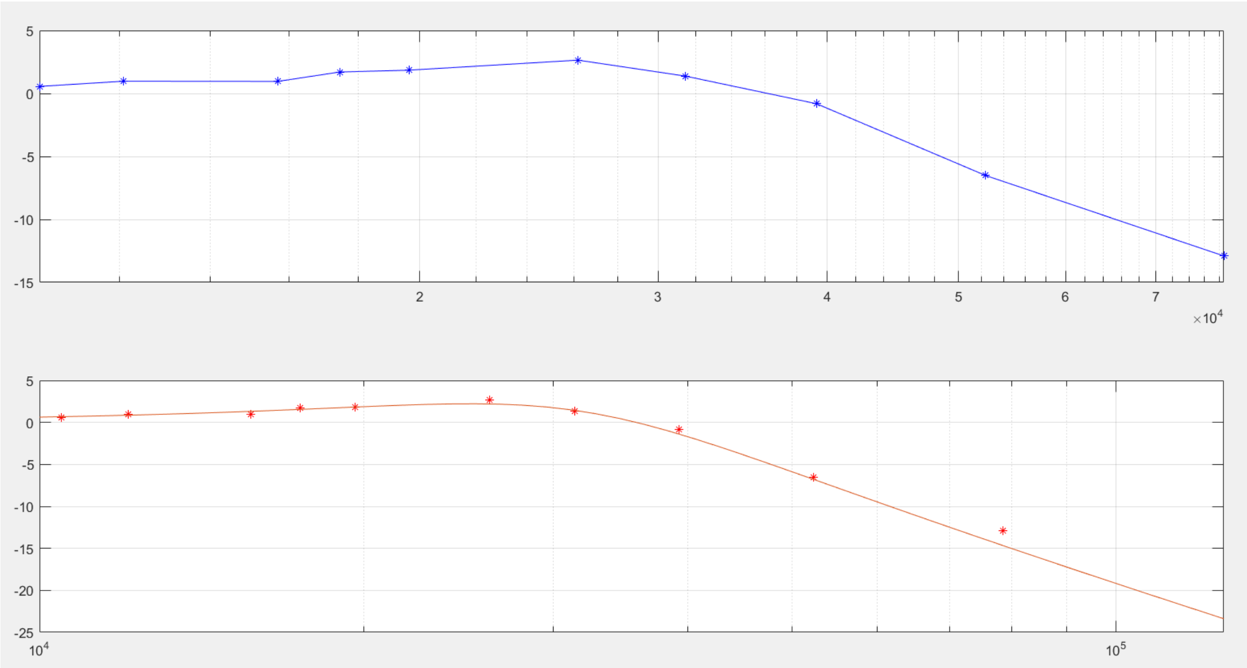

Figura 5

Estimarea caracteristicii de modul si punctle calculate pe diagrama Bode a sistemului simulat

4.2. Caracteristica de faza

Caracteristica de fază: $(\omega, \angle H(j\omega)[rad])$unde axa Ox este pulsația în radiani pe secundă, afișată în scară logaritmică, iar axa Oy este faza funcției de transfer $H(j\omega)$ în radiani sau grade.

Ne vom folosi de pulsațiile calculate la subpunctul 3.1, iar, pentru a calcula faza corespunzătoare fiecărei pulsații, vom folosi formula:

- $\angle H(j\omega) = \ (t(u_{max}) - t(u_{min}))\omega \frac{180}{\pi}$

Rezultatul fiind dat în grade, convertind din radiani în grade prin $\frac{180}{\pi}$.

Pentru $\omega_1 = 1.0472\text{e} + 04$ și indicii corespunzători de pe grafice, va rezulta $\angle H(j\omega_1) = \ -12°$

Folosind același principiu vom obține următoarele faze pentru pulsații:

$\omega_1 = 1.0472\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_1) = \ -12°$
$\omega_2 = 1.2083\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_2) = \ -13.8462°$
$\omega_3 = 1.5708\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_3) = \ -18°$
$\omega_4 = 1.7453\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_4) = \ -20°$
$\omega_5 = 1.9635\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_5) = \ -22.5°$
$\omega_r = 2.6180\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_r) = \ -60°$
$\omega_6 = 3.1416\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_6) = \ -72°$
$\omega_7 = 3.9270\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_7) = \ -90\ °$
$\omega_8 = 5.2360\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_8) = \ -120°$
$\omega_9 = 7.8540\text{e} + 04$	$\angle H(j\omega_9) = \ -180°$

Folosind comanda *semilogx()*, putem estima caracteristica de fază a sistemului simulat bazată pe calculul fazelor de mai sus în figura alăturată:

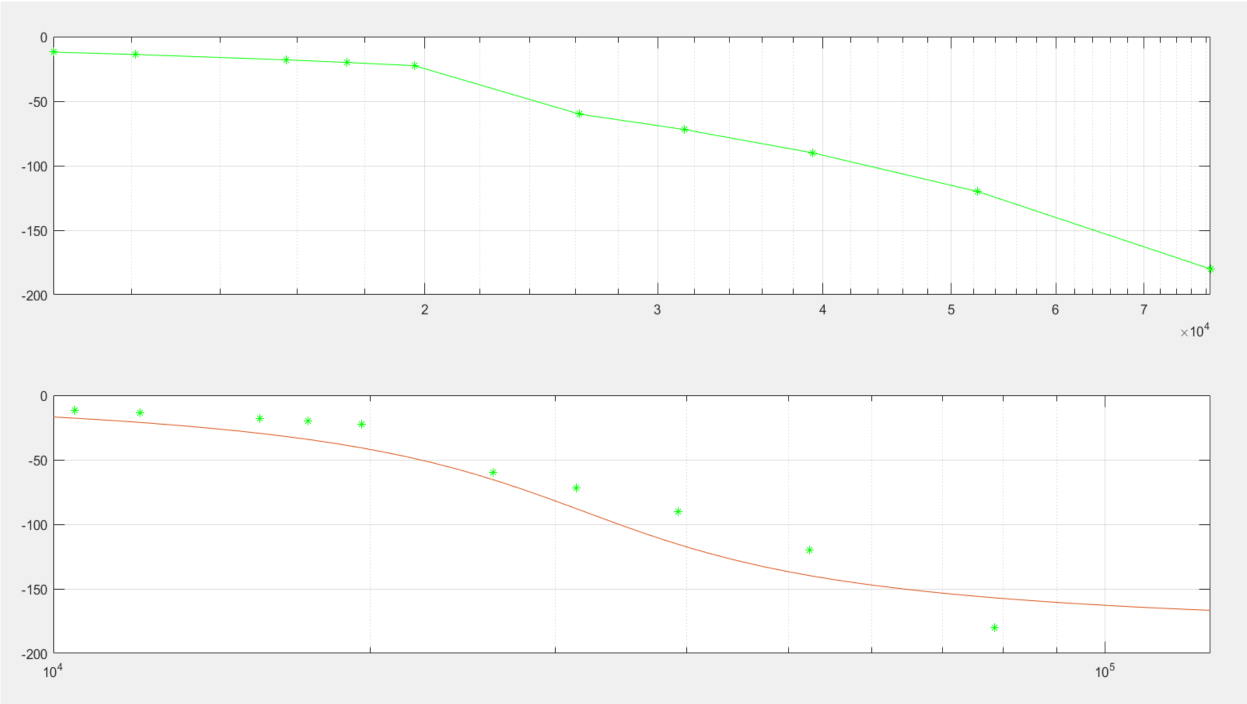

Figura 6

Estimarea caracteristicii de faza si punctele calculate reprezentate pe diagrama Bode a sistemului simulat

5. Identificarea parametrica

Vom identifica parametric atât modelul sistemului de ordin II fără zero, cât și cel cu un zero. Pentru cele două semnale vom valida identificarea prin autocorelație. folosind metoda celor mai mici pătrate (ARMAX) și prin intercorelație folosind metoda erorii de ieșire (OE).

Datele de intrare și de ieșire trebuie grupate într-un obiect de tip *iddata()* pentru a putea fi utilizate metodele parametrice de identificare.

5.1. Validarile pentru sistemul de ordin II fara zero

5.1.1. Validarea prin autocorelatie

Pentru a valida modelul obținut prin metoda parametrică, vom folosi metoda celor mai mici pătrate extinsă – ARMAX, care este bazată pe un criteriu pătratic de minimizare.

Identificarea constă în estimarea coeficienților polinoamelor A, B, C și numărul tacților de întârziere (nd).

Astfel vom alege coeficienții:

- $[nA,\ nB,\ nC,\ nd] = [2,\ 3,\ 2,\ 0]$

Vom obține următorul model în discret:

- $H_{y_{ARMAX}}(z^{-1}) = \frac{0.03437 + 0.2561\, z^{-1} + 0.0194\, z^{-2}}{1 - 1.283\, z^{-1} + 0.5891\, z^{-2}}$

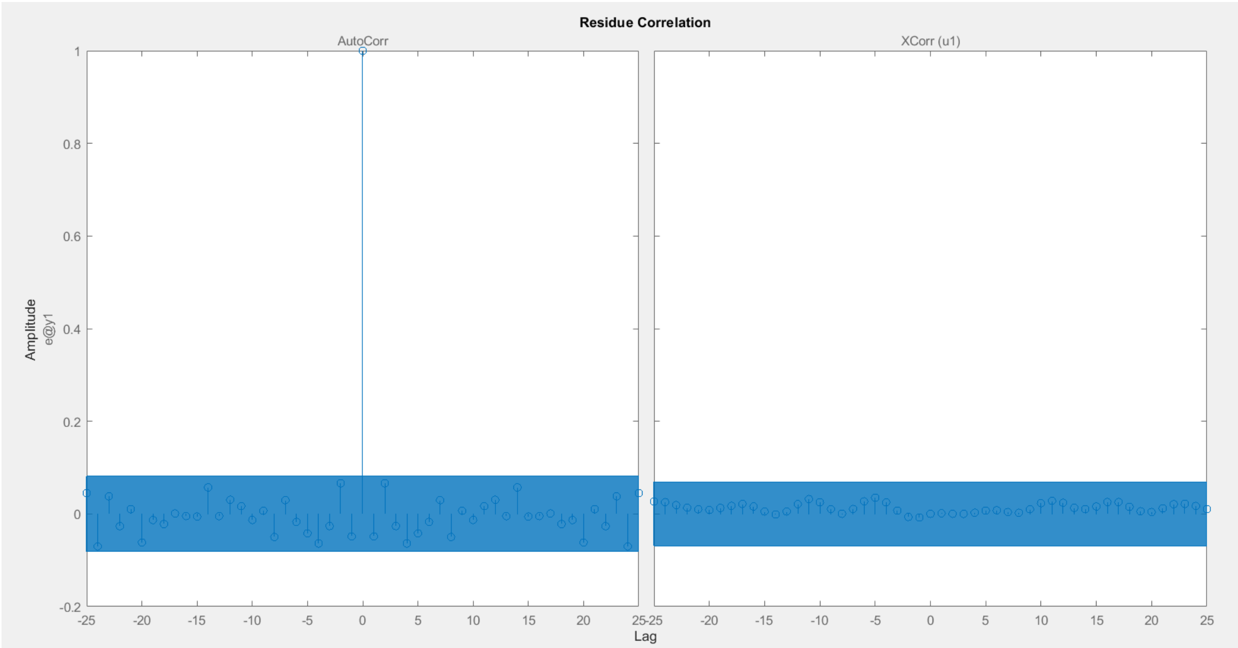

Figura 7 Testul de validare

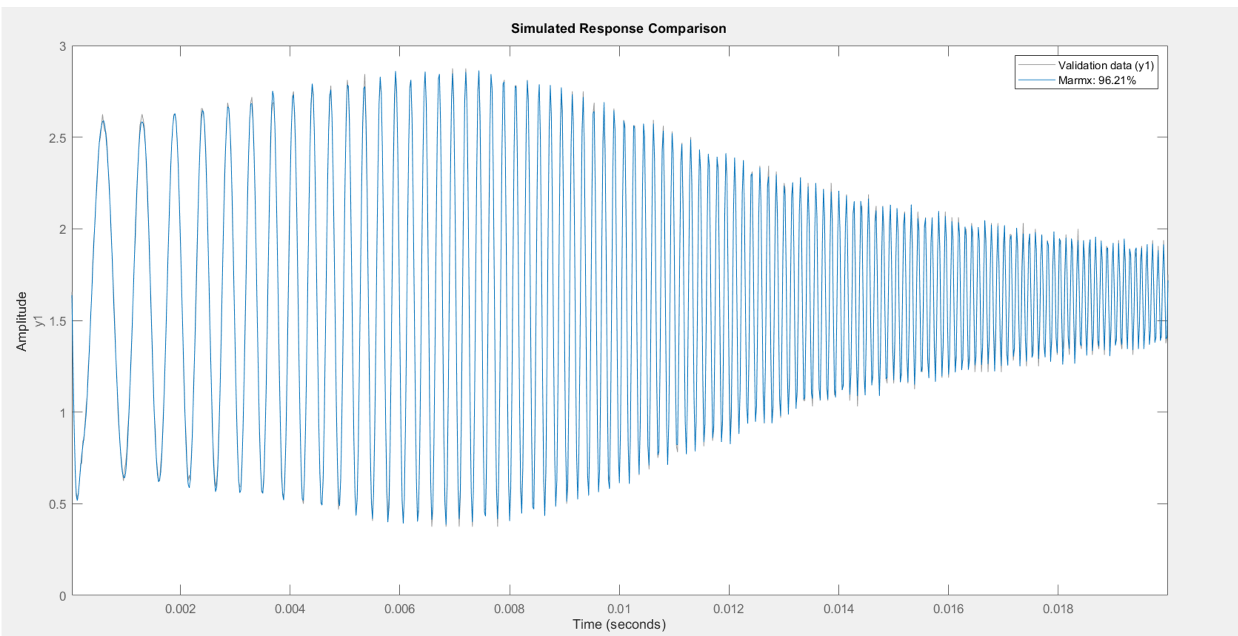

Figura 8 Reprezentarea grafica a modelului obtinut prin metoda ARMAX

Se observă faptul că testul de autocorelație, cât și cel de intercorelație sunt trecute. Modelul este validat, iar gradul de suprapunere este de 96.21%.

5.1.2. **Validarea prin intercorelatie**

Pentru a valida modelul obținut prin metoda parametrică vom folosi metoda erorii de ieșire - OE, presupunerea de bază fiind că toată perturbația se găsește nemodelată la ieșire.

Identificarea constă în estimarea coeficienților gradelor polinoamelor B, F, C și numărul tacților de întârziere (nd).

Astfel vom alege coeficienții:

- $[nB,\ nF,\ nd\ ] = [3,\ 2, 0]$

Vom obține următorul model în discret:

- $H_{y_{OE}}(z^{-1}) = \frac{0.03452 + 0.2553\ z^{-1} + 0.02043\ z^{-2}}{1 - 1.282\ z^{-1} + 0.5888\ z^{-2}}$

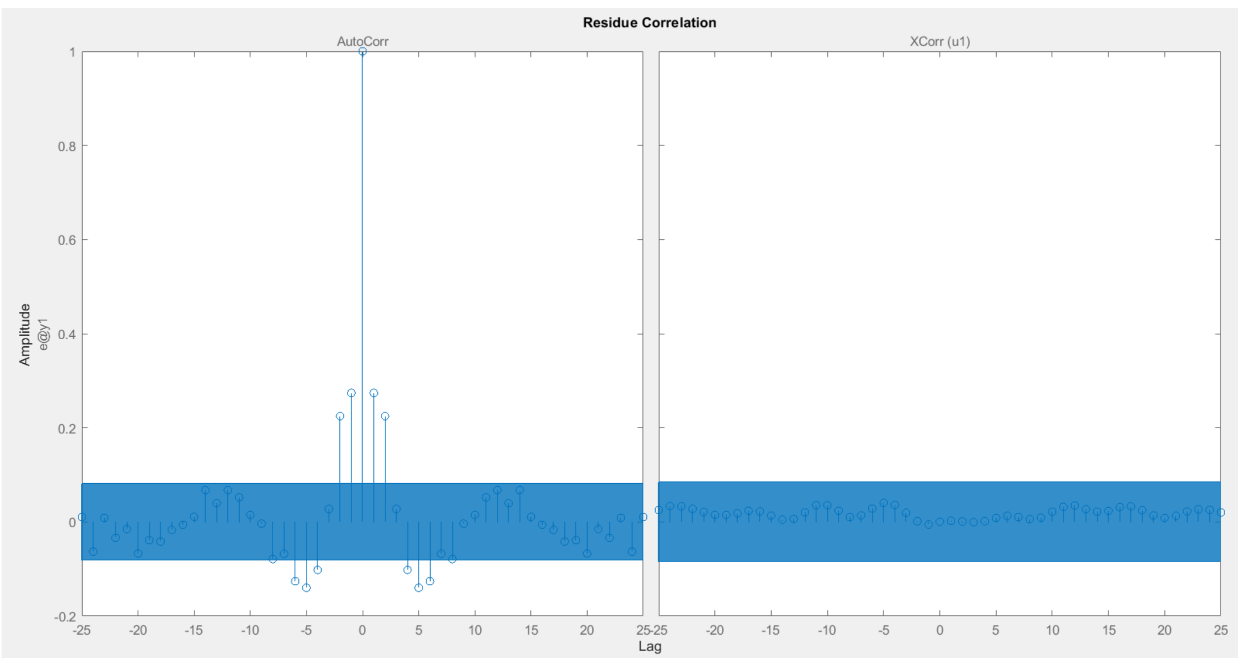

Figura 9 Testul de validare

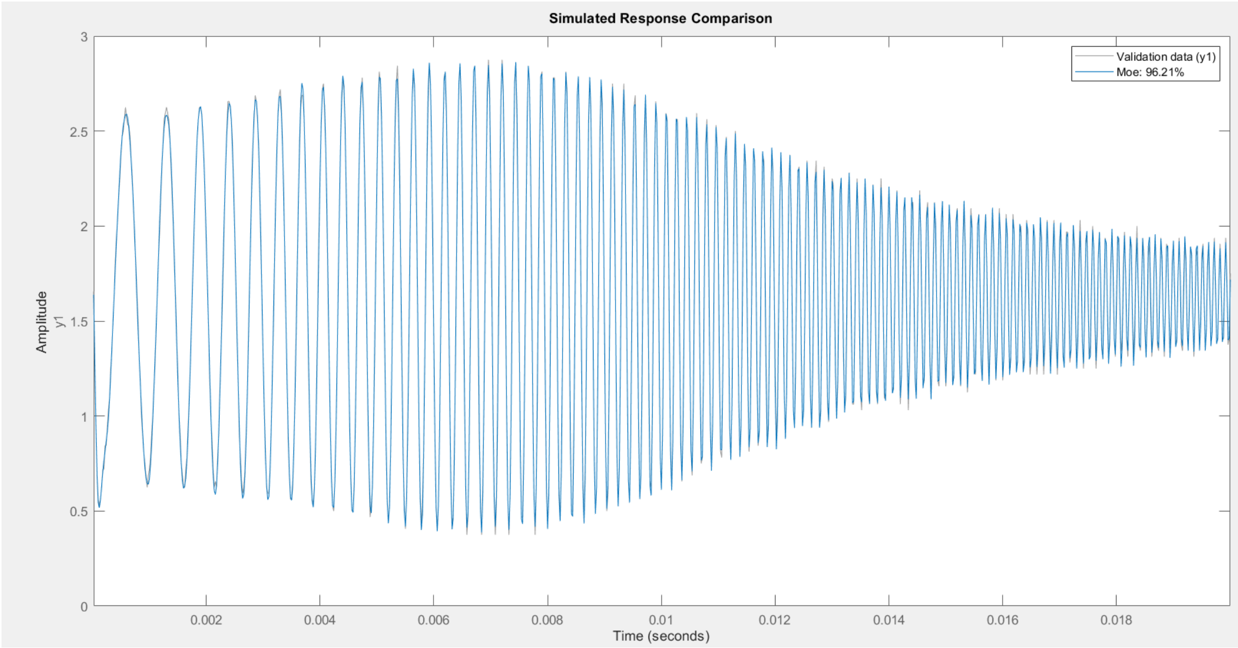

Figura 10 Reprezentarea grafica a modelului obtinut prin metoda OE

Se observă faptul că testul de autocorelație, cât și cel de intercorelație sunt trecute. Modelul este validat, iar gradul de suprapunere este de 96.21%.

5.2. **Validarile pentru sistemul de ordin II cu zero**

5.2.1. **Validarea prin autocorelatie**

Metoda aleasă este metoda celor mai mici pătrate extinsă – ARMAX.

Identificarea constă în estimarea coeficienților polinoamelor A, B, C și numărul tacților de întârziere (nd).

Astfel vom alege coeficienții:

- $[nA,\ nB,\ nC,\ nd] = [2,\ 3,\ 3,\ 0]$

Vom obține următorul model în discret:

- $H_{y_{z_{ARMAX}}}(z^{-1}) = \frac{0.03437 + 0.2561\, z^{-1} + 0.0194 z^{-2}}{1 - 1.283\, z^{-1} + 0.5891\, z^{-2}}$

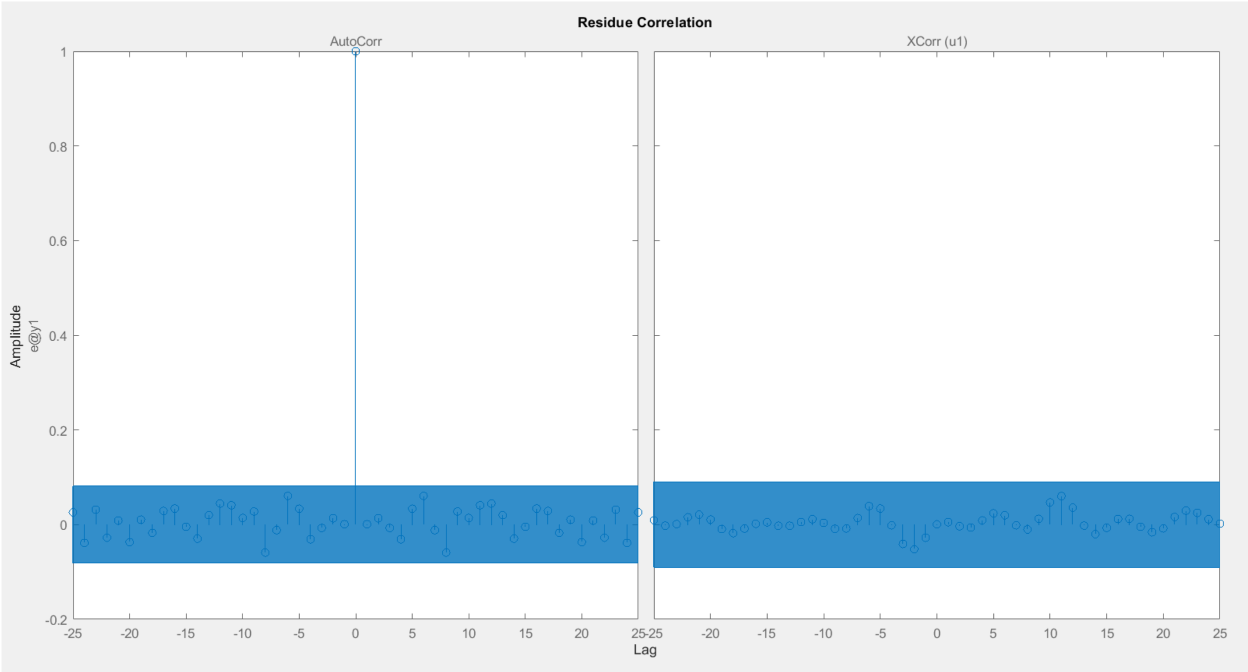

Figura 11 Testul de validare

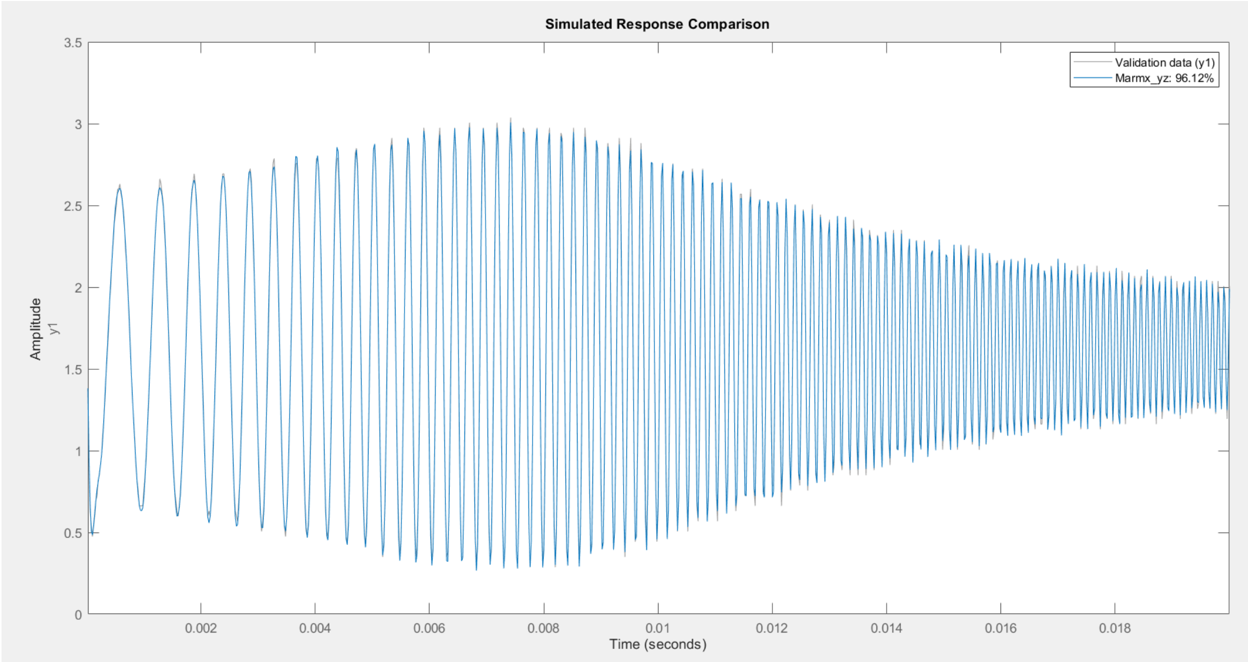

Figura 12 Reprezentarea grafica a modelului obtinut prin metoda ARMAX

Se observă faptul că testul de autocorelație, cât și cel de intercorelație sunt trecute. Modelul este validat, iar gradul de suprapunere este de 96.12%.

5.2.2. **Validarea prin intercorelatie**

Vom folosi metoda erorii de ieșire – OE.

Identificarea constă în estimarea coeficienților gradelor polinoamelor B, F și numărul tacților de întârziere (nd)

Astfel vom alege coeficienții:

- $[nB,\ nF,\ nd\,] = [3,\ 2, 0]$

Vom obține următorul model în discret:

- $H_{y_{z_{OE}}}(z^{-1}) = \dfrac{0.1801 + 0.245\,z^{-1} - 0.1178\,z^{-2}}{1 - 1.282\,z^{-1} + 0.5888\,z^{-2}}$

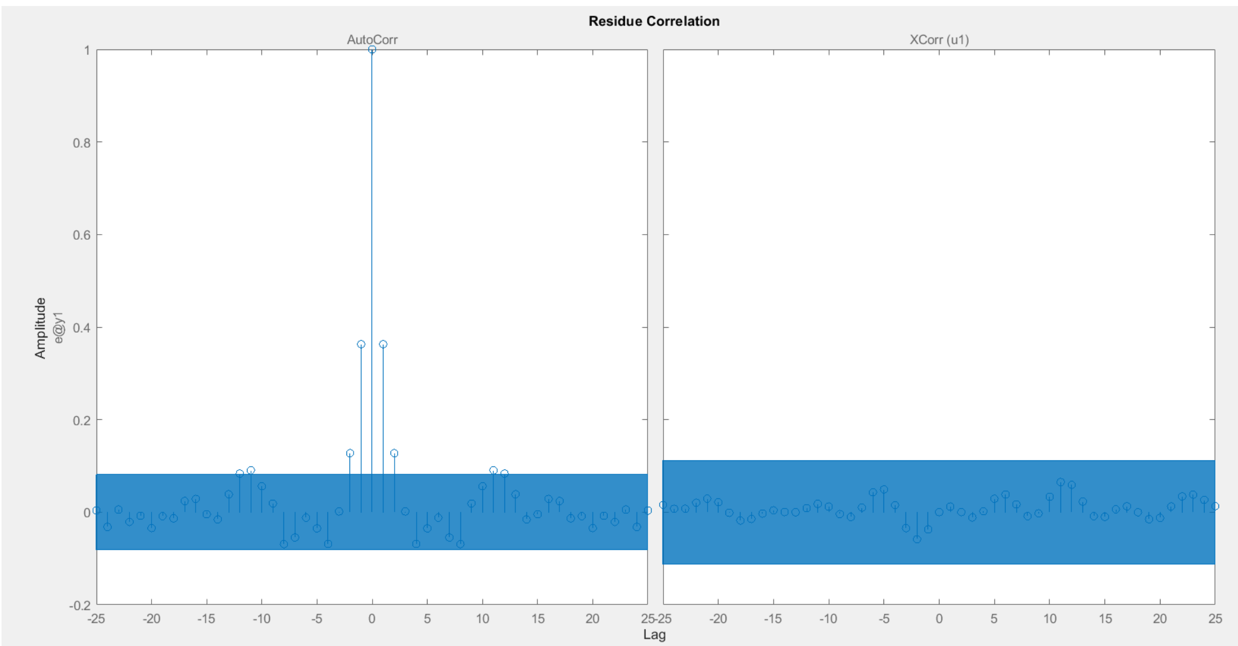

Figura 13 Testul de validare

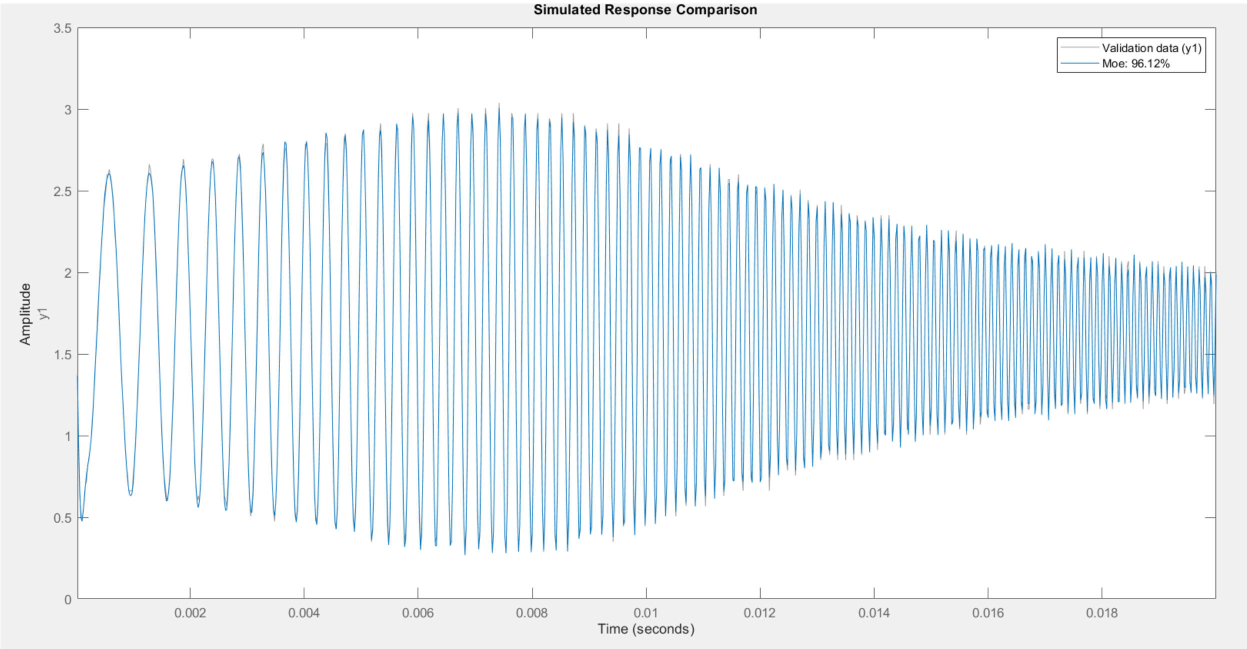

Figura 14 Reprezentarea grafica a modelului obtinut prin metoda OE

Se observă faptul că testul de autocorelație, cât și cel de intercorelație sunt trecute. Modelul este validat, iar gradul de suprapunere este de 96.12%.