UNIVERSITATEA TEHNICĂ
DIN CLUJ-NAPOCA

IDENTIFICAREA MODELULUI DINAMIC AL UNUI CIRCUIT ELECTRIC

Student: Alexandru MIHAIL
Grupa: 30133

An universitar
2024-2025

Cuprins

1. Introducere

Scopul acestui proiect este de a identifica, modela comportarea prin metode parametrice și neparametrice, și de a simula răspunsul în frecvență a unui circuit electric cu o intrare și două ieșiri. Intrarea constă într-un semnal sinusoidal de amplitudine constantă și frecvență variabilă. Una din ieșiri are comportamentul unui sistem de ordin doi fără zero, iar cealaltă a unui sistem de ordin doi cu un zero.

Datele au fost achiziționate de către un osciloscop Agilent, și salvate în fișierul "scope_13.csv".

2. Importarea și Procesarea datelor în mediul MATLAB

Datele sunt încărcate în mediul MATLAB, folosind butonul "Import Data" și atribuirea coloanelor din matricea obținută unor variabile aferente:

```
t=scope13(:,1);
u=scope13(:,2);
y1=scope13(:,3);
y2=scope13(:,4);
```

Variabila: „t" reprezintă timpul
„u" reprezintă semnalul de intrare
„y1" reprezintă semnalul de ieșire aferent sistemului de ordin 2 fără zero
„y2" reprezintă semnalul de ieșire aferent sistemului de ordin 2 cu zero

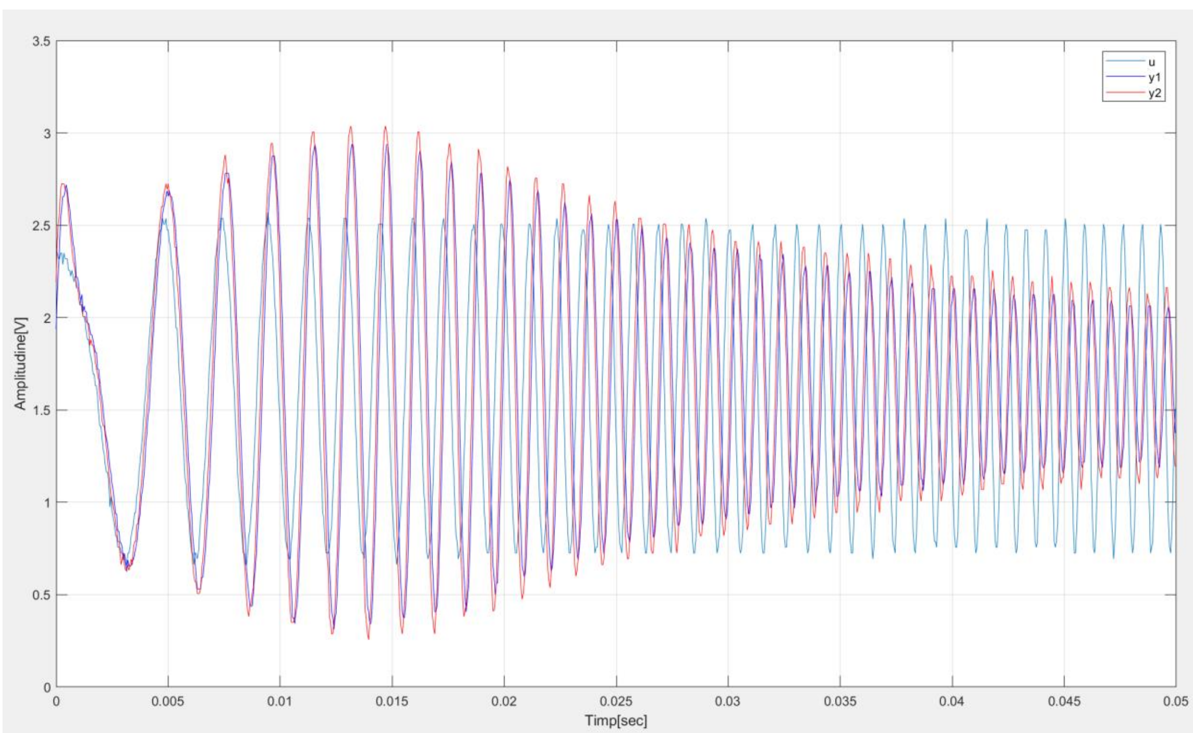

Fig. 1: Reprezentarea semnalelor în mediul MATLAB

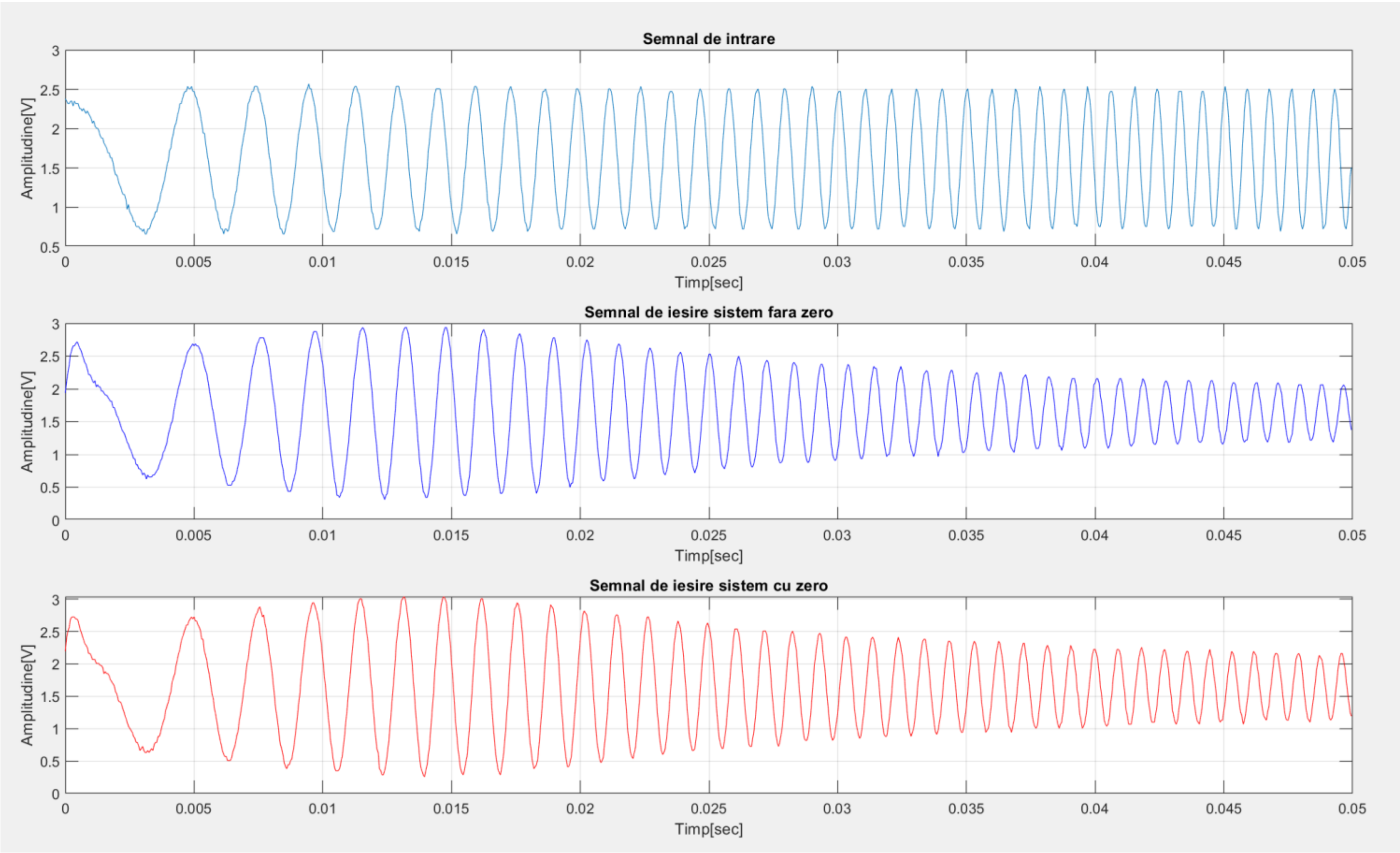

Fig. 2: Reprezentarea semnalelor pe grafice separate

În *Fig. 2* se poate observa clar fenomenul de rezonanța, vizibil pe ambele semnale de ieșire în jurul lui t = 0.015 secunde; De asemenea putem observa o atenuare mai mică a celui de-al doilea semnal de ieșire, datorat prezenței unui zero în cadrul funcției de transfer aferente acestuia.

Așadar putem considera forma generală a funcției de transfer aferentă cele două semnale de ieșire:

- Funcția de transfer a sistemului fără zero (y1) este:

$$H(s) = \frac{K{\omega_n}^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+{\omega_n}^2} \tag{1}$$

- Functia de transfer a sistemului cu zero (y2) este:

$$H(s) = \frac{K{\omega_n}^2(T_0 s+1)}{s^2+2\zeta\omega_n s+{\omega_n}^2} \tag{2}$$

3. Identificare Neparametrică exploatând fenomenul de rezonanță

Pentru a identifica cele două sisteme, va trebui să determinăm valorile: factorului de proporționalitate(K), a factorului de amortizare (ζ) și a pulsației naturale(ω_n), și in cazul celui de-al doilea sistem va trebui determinată valoare constantei de timp aferentă zeroului (T_0)

Apoi, pentru a verifica faptul că identificarea a fost făcută corect, va trebui să simulăm și validăm sistemele rezultate. Datorită faptului că în setul de date achiziționat, condițiile inițiale sunt nenule, vom folosi un model in spațiul stărilor.

Identificarea Neparametrică folosind fenomenul de rezonanță (caracterizată de frecvența la care amplitudinea semnalului are valoare maximă) se bazează pe faptul că în acest regim dispunem de niște formule esențiale pentru calculul factorului de amortizare, al pulsației naturale și al constantei de timp aferentă zeroului (în cazul sistemului y2).

a. Identificarea sistemului fără zero

i. Determinarea modulului și pulsației de rezonanță

$$M_r = \frac{A_y}{A_u} \tag{3}$$

Unde M_r = valoarea modulului la rezonanță,
A_y = amplitudinea semnalului de ieșire
A_u = amplitudinea semnalului de intrare

$$A_y = \frac{y1_{max}(t) - y1_{min}(t)}{2} \tag{4}$$

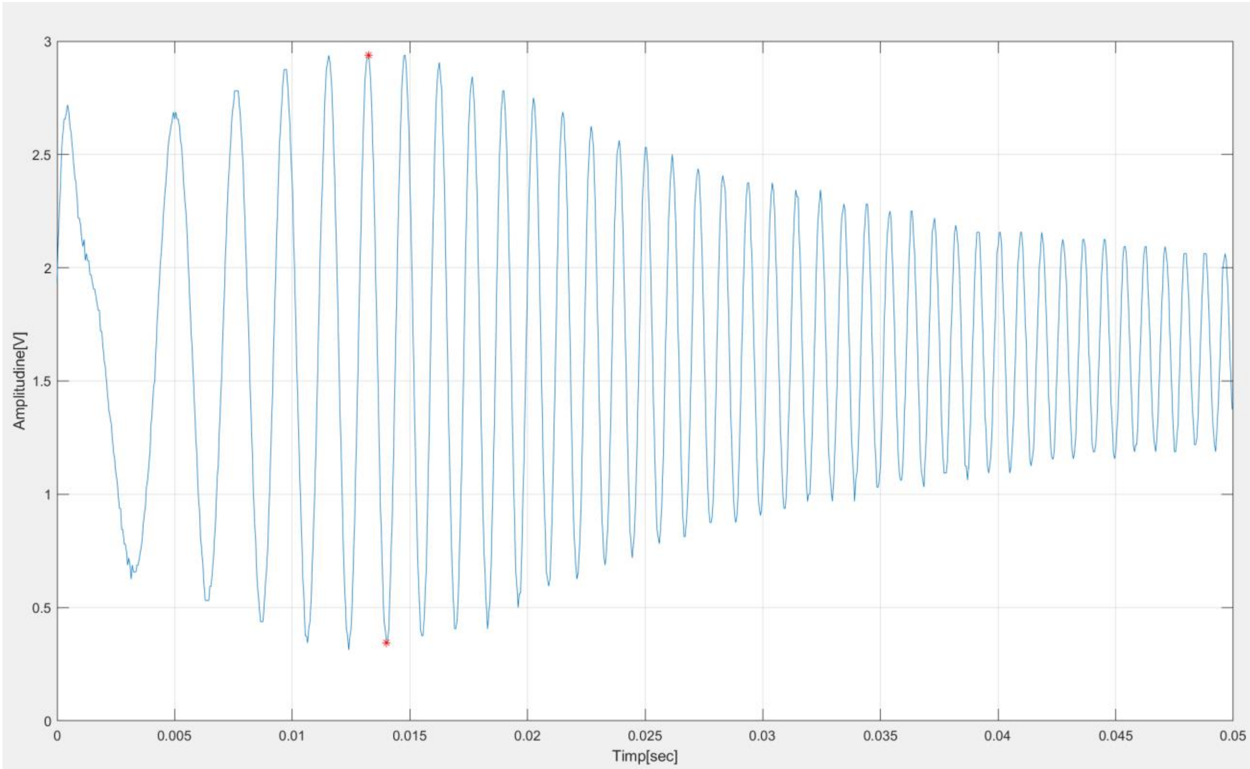

Fig. 3: Puncte alese pentru calculul amplitudinii semnalului de ieșire

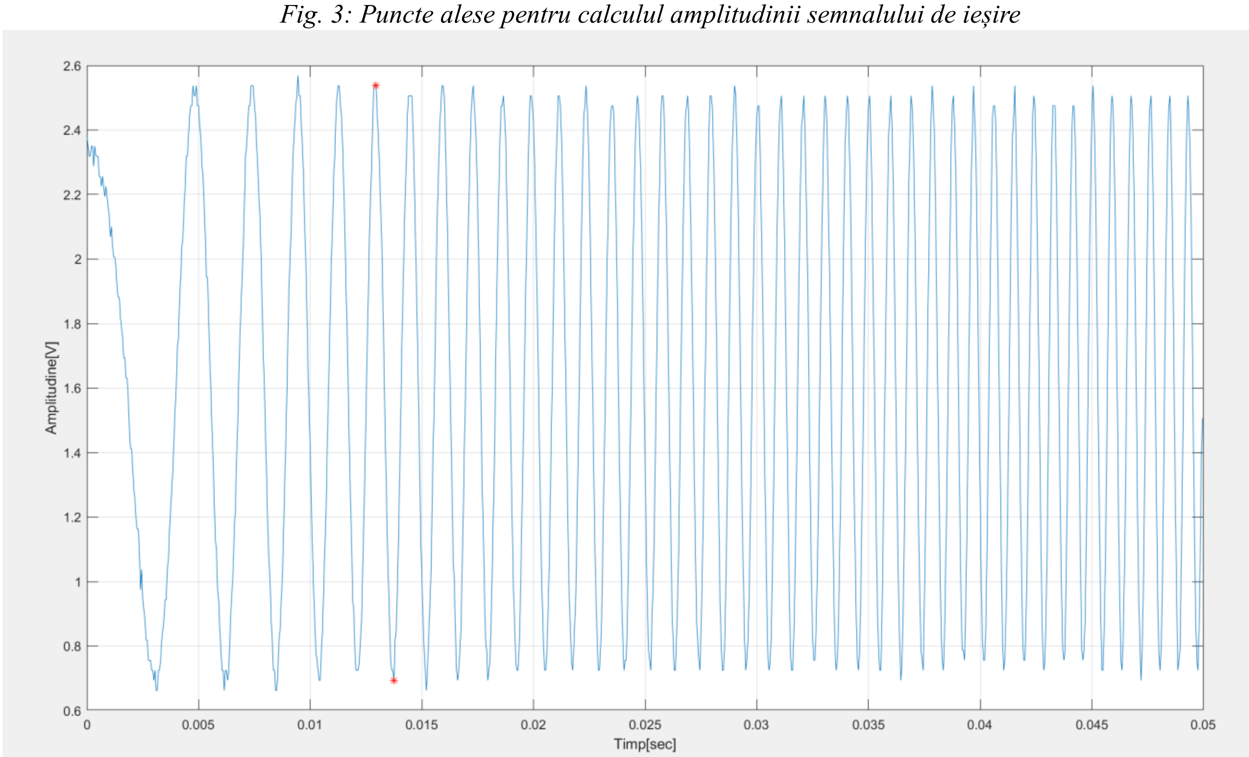

Fig. 4: Puncte alese pentru calculul amplitudinii semnalului de intrare

Pentru datele din acest proiect, A_y = 1.296875 V și , A_u = 0.921875 V, așadar M_r = 1.406780

Formula pulsației de rezonanță este:

$$\omega_r = \frac{2\pi}{T_r} \tag{5}$$

Unde: T_r= Perioada la rezonanță

Această perioadă se poate determina calculând diferența în timp între doua vârfuri (de la rezonanță) ale semnalului de ieșire.

$$T_r = t(297) - t(265) = 16 \cdot 10^{-4}\ sec \tag{6}$$

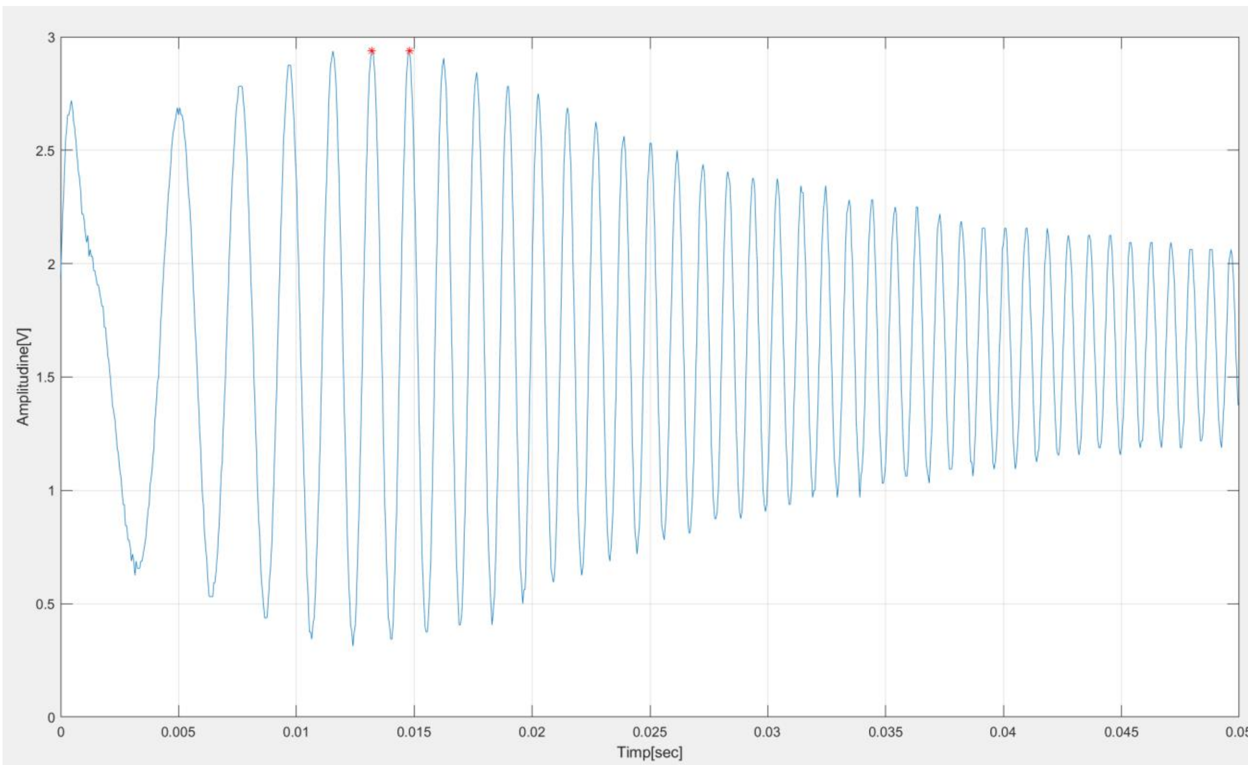

Fig. 5: Maxime alese pentru calculul perioadei de rezonanță

Conform relației (5) se obține valoarea pulsației de rezonanță:

$$\omega_r = \frac{2\pi}{T_r} = \frac{2\pi}{16 \cdot 10^{-4}} = 3.927 \cdot 10^3\ rad/s \tag{7}$$

În mediul MATLAB, relațiile (4), (3), (6), (7) vor fi scrise astfel:

```
A_y=(y1(266)-y1(281))/2;
A_u=(u(260)-u(276))/2;
Mr=A_y/A_u;
Tr=t(297)-t(265);
wr=2*pi/Tr;
```

ii. Calculul factorului de proporț. , factorului de amortizare și pulsația naturală

Factorul de proporționalitate (K) al unui sistem se calculează astfel:

$$K = \frac{\overline{y1}}{\bar{u}} \tag{8}$$

Unde: $\overline{y1}$ = valoarea medie a semnalului de ieșire
$\bar{u}$ = valoarea medie a semnalului de intrare

Dacă am calcula K asupra intregului set de date am obține K= 1.0172

Dar, din cauza unor probleme de integritate a semnalelor, pentru a obține o valoare a lui K mai aproape de realitate, nu vom lua media semnalului pe intregul interval al acestuia.

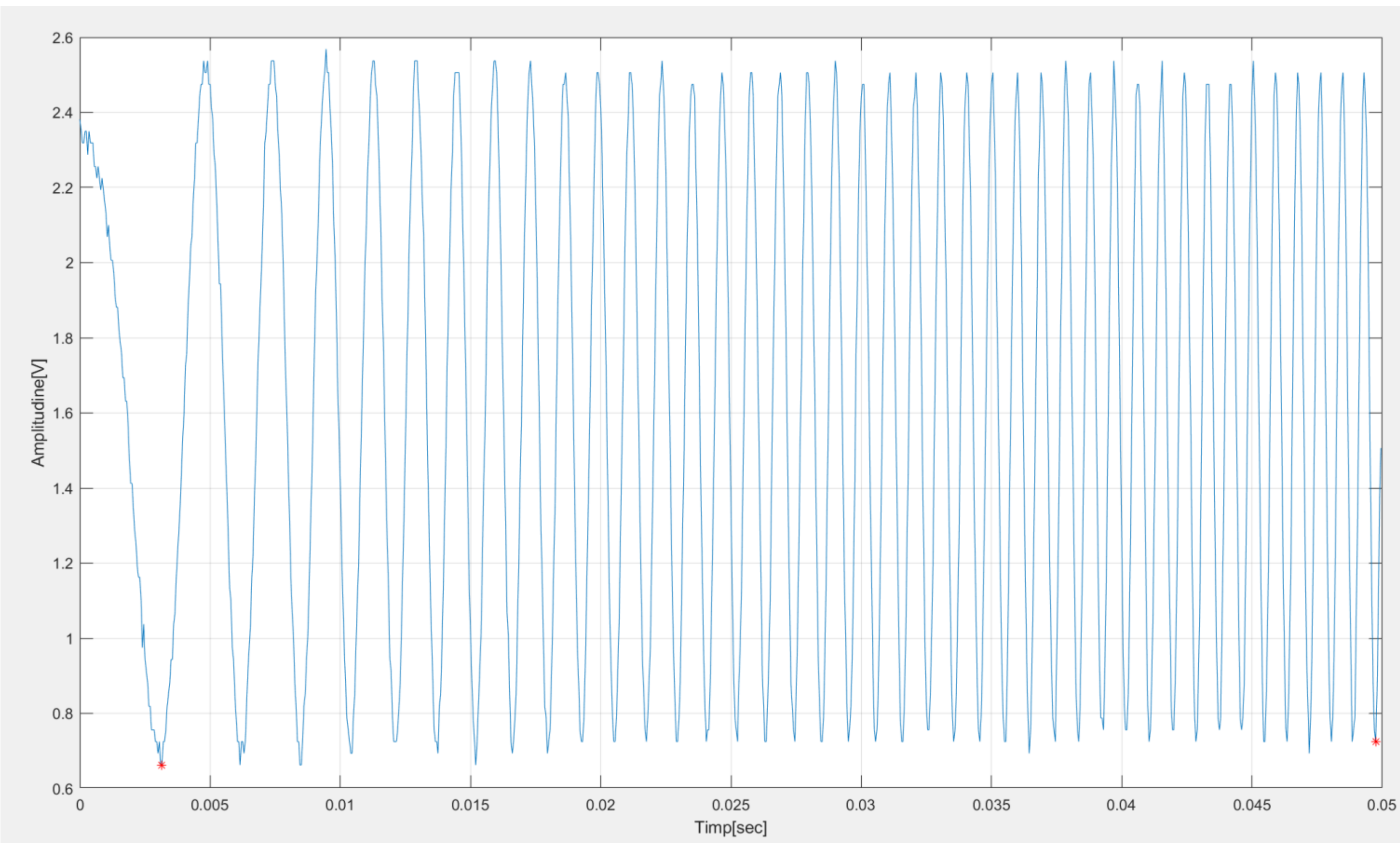

Fig. 6: Puncte alese pentru a evita alternanțele incomplete ale intrării

Intervalul de indecși ales pentru intrare: i1= [64, 996]

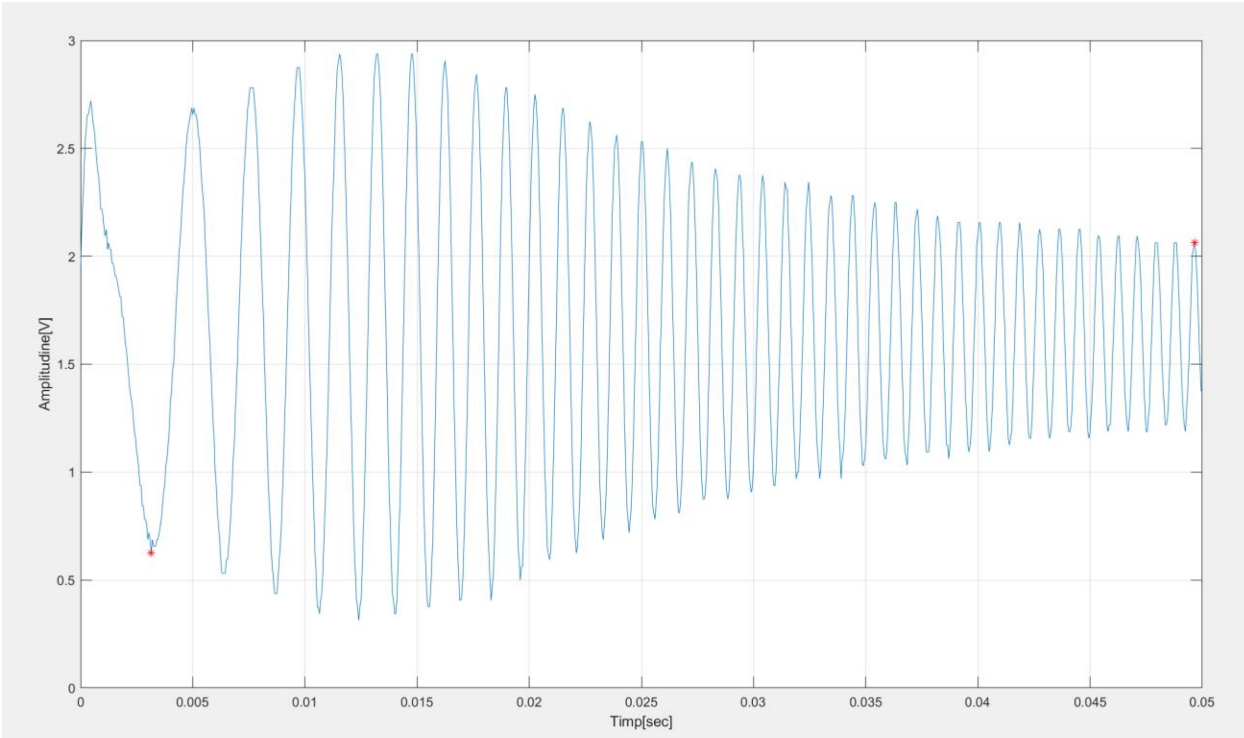

Fig. 7: Puncte alese pentru a evita alternanțele incomplete ale ieșirii

Intervalul de indecși ales pentru ieșire: i2= [64, 994]

Calculat pe intervalele i1 și i2 avem:

$$K = \frac{\overline{y1}(i_2)}{\overline{u}(i_1)} = 1.0114 \quad (9)$$

<u>Factorul de amortizare (ζ)</u> îl vom deduce din formula modulului la rezonanță:

$$M_r = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \Rightarrow 4\zeta^4 M_r^2 - 4\zeta^2 M_r^2 + 1 = 0 \quad (10)$$

Din relația (10) îl vom calcula pe ζ^2 ca fiind:

$$\zeta^2 = \frac{M_r \pm \sqrt{M_r^2-1}}{2M_r} \Rightarrow \zeta = \sqrt{\frac{M_r - \sqrt{M_r^2-1}}{2M_r}} = 0.38513 \quad (11)$$

<u>Pulsația naturală (ω_r)</u> o vom calcula din formula pulsației de rezonanță:

$$\omega_r = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2} \Rightarrow \omega_n = \frac{\omega_r}{\sqrt{1-2\zeta^2}} = 4.6825 \cdot 10^3\ rad/s \quad (12)$$

În mediul MATLAB, relațiile (9), (11), (12) vor fi scrise astfel:

```
k=mean(y1(64:994))/mean(u(64:996));

zeta=sqrt((Mr-sqrt(Mr^2-1))/2/Mr);

wn=wr/(sqrt(1-2*zeta^2));
```

iii. Calculul modelului aferent sistemului

Pentru a putea simula și valida sistemul caracterizat de datele experimentale, va trebui să ii realizăm un model (Funcție de transfer / Spațiul stărilor). Cum în datele noastre avem condiții inițiale nenule, vom opta pentru un model în spațiul stărilor.

Pentru a determina modelul în spațiul stărilor, vom porni de la forma generală a funcției de transfer (1) și o vom reprezenta în Forma Canonică Observabilă

$$A_{FCOb} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -{\omega_n}^2 & -2\zeta\omega_n \end{pmatrix} \qquad B_{FCOb} = \begin{pmatrix} 0 \\ K{\omega_n}^2 \end{pmatrix}$$
$$C_{FCOb} = (1 \quad 0) \qquad D = (0) \tag{13}$$

Înlocuind termenii generali cu cei obținuți în urma calculelor, vom avea următoarele modele:

$$\xRightarrow{(1),(9),(11),(12)} H(s) = \frac{2.2175 \cdot 10^7}{s^2 + 3607s + 2.193 \cdot 10^7} \tag{14}$$

$$\xRightarrow{(9),(11),(12),(13)} A_{FCOb} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2.1925 \cdot 10^7 & -3.6067 \cdot 10^3 \end{pmatrix} \qquad B_{FCOb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.2175 \cdot 10^7 \end{pmatrix}$$
$$C_{FCOb} = (1 \quad 0) \qquad D = (0) \tag{15}$$

Simularea modelului

Înainte de a putea să simulăm modelul, va trebui să aflăm condițiile inițiale. Pornind de la modelul în forma canonică observabilă, putem afla condițiile inițiale

$$\overset{(13)}{\Longrightarrow} \begin{cases} \dot{x_1}(t) = x_2(t) \\ \dot{x_2}(t) = -{\omega_n}^2 x_1(t) - 2\zeta\omega_n x_2(t) + K{\omega_n}^2 u(t) \\ y(t) = x_1(t) \end{cases} \tag{16}$$

Din (16) se pot observa imediat condițiile inițiale:

$$y(t) = x_1(t) \Rightarrow x_1(0) = y(0)$$
$$\dot{y}(t) = \dot{x_1}(t) = x_2(t) \Rightarrow x_2(0) = \dot{y}(0) \tag{17}$$

Pentru a simula modelul, vom folosi mediul MATLAB, în care va trebui sa urmăm următorii pași:

a. Declarăm matricele A,B,C,D

```
A1=[0 1; -wn^2 -2*wn*zeta];
B1=[0; k*wn^2];
C1=[1 0];
D1=0;
```

b. Introducerea matricelor A,B,C,D în comanda lsim, alături de intrare și condițiile inițiale ale sistemului

```
dy1=(y1(2)-y1(1))/dt; %derivata lui y1
ysim=lsim(A1,B1,C1,D1,u,t,[y1(1) dy1]);
```

c. Afișarea datelor experimentale alături de modelul simulat pe același grafic

```
plot(t,[y1 ysim]),legend("y mas","y sim"),xlabel("Timp[sec]"),ylabel("Amplitudine[V]"),grid
```

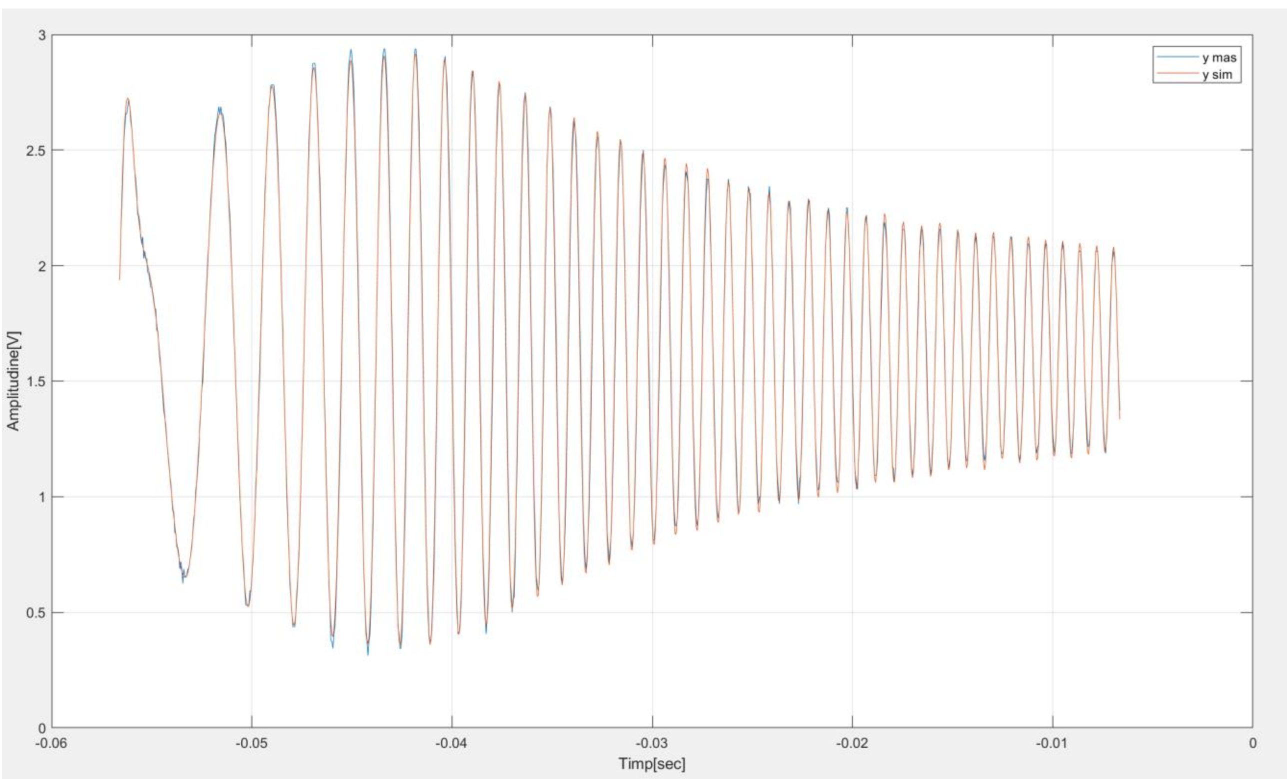

Fig. 8: Suprapunerea semnalului identificat și a celui măsurat

iv. Validarea modelului

Sistemul identificat se consideră validat, dacă Eroarea Medie Pătratică Normalizată (eMPN) a sa are o valoare sub 10%

Formula pentru determinarea erorii medie pătratice normalizate este:

$$eMPN = \frac{\|y_{sim} - y_{mas}\|}{\|y_{sim} - \bar{y}_{mas}\|} \tag{18}$$

Unde: y_{sim} – ieșirea sistemului simulat

y_{mas} –ieșirea sistemului măsurat

$\bar{y}_{mas}$ – valoarea medie ieșirii măsurate

Calculat folosind comanda: `eMPN=norm(ysim-y1)/norm(ysim-mean(y1))` în mediul MATLAB, obținem următoarea eroare: eMPN = 0.0514 = 5.14%, așadar identificarea este validată.

b. Identificarea sistemului cu zero

Sistemul de ordin 2 cu zero prezintă forma generală din relația (2). Formulele pentru identificarea exploatând fenomenul de rezonanță prezentate pentru sistemul de ordin 2 fără zero vor putea fi utilizate și aici datorită faptului că pulsația de frângere a zeroului este mult mai departe de zona în care sistemul este în rezonanță.

i. Determinarea modulului și pulsației de rezonanță

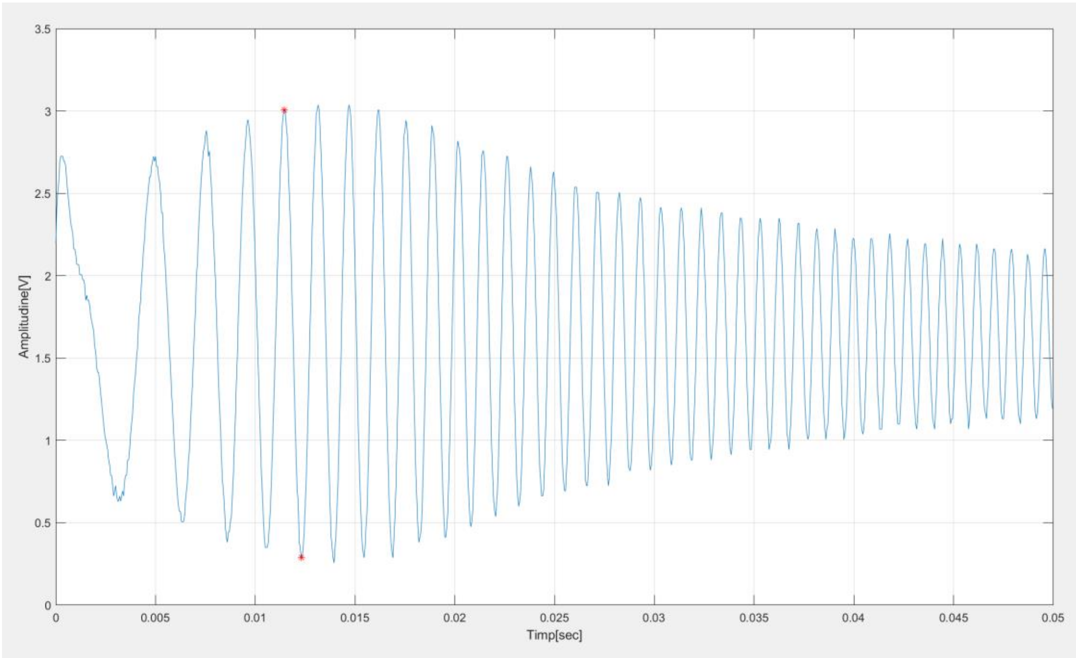

Fig. 9: Puncte alese pentru calculul amplitudinii semnalului de ieșire

Pentru amplitudinea semnalului de intrare s-au considerat aceleași puncte ca și la sistemul anterior. Conform relațiilor (3) și (4), aplicate asupra semnalului de ieșire corespunzător sistemului cu zero, avem A_y = 1.359375 V și A_u = 0.921875 V, așadar M_r = 1.474576

Pulsația de rezonanță T_r am calculat-o ca fiind $t(264) - t(231) = 16.5 \cdot 10^{-4}\ sec$, conform relațiilor (5) și (6).

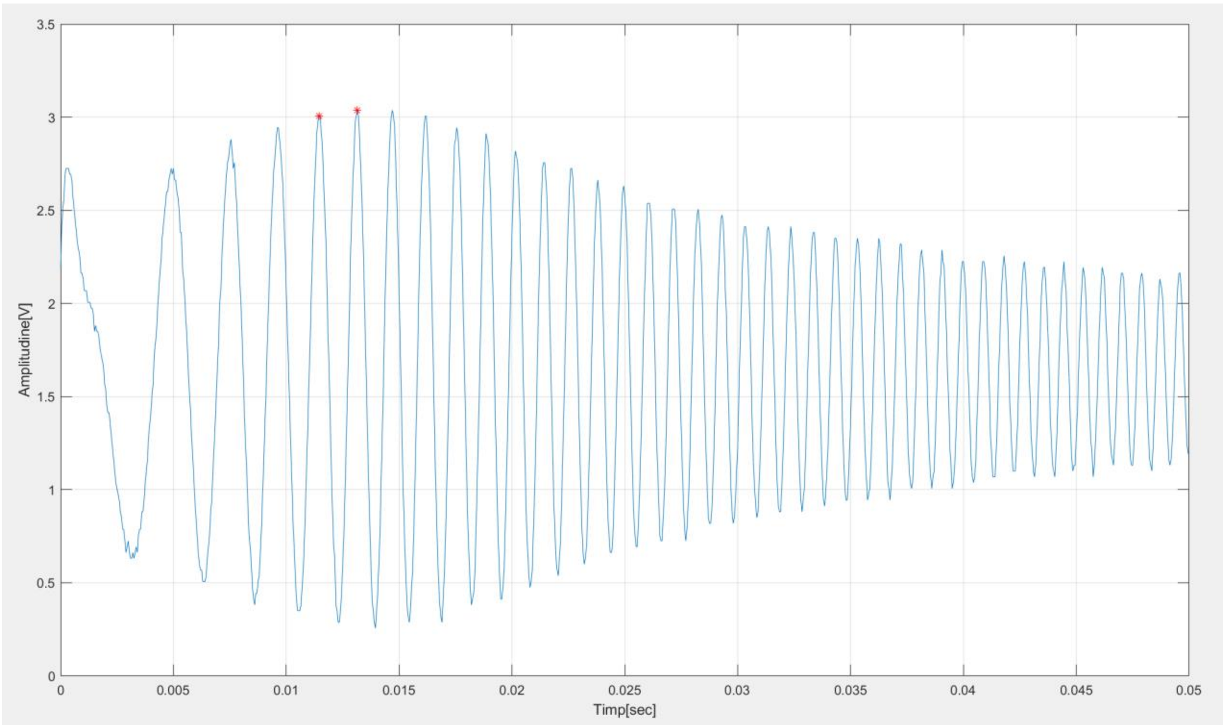

Fig. 10: Maxime alese pentru calculul perioadei de rezonanță

ii. <u>Calculul factorului de proporț., factorului de amortizare și pulsația naturală</u>

Folosind formulele din relațiile (9),(10),(11),(12) avem:

- $K = \frac{\overline{y2}(i_2)}{\overline{u}(i_1)} = 1.0159$, unde i1=[67, 987] și i2 =[69, 993]
- ζ=0.3641
- ω_n=4442 rad/s

Formulele în MATLAB sunt identice cu cele prezentate la punctul a. (pg. 9), cu excepția lui K, care va fi scris astfel: `k=mean(y2(69:993))/mean(u(67:987));`

iii. Calculul constantei de timp corespunzătoare zeroului

Pentru calculul constantei de timp, vom folosi următoarea formulă:

$$\varphi_r = \angle\left(H_{y2}(j\omega_r)\right) = \angle(T_0\omega_r) + \angle\left(\frac{K\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n+\omega_n^2}\right) \quad (19)$$

Dar știm că la rezonanță, faza unui sistem de ordin 2 fără zero este 90°, așadar

$$\varphi_r = \angle(T_0\omega_r) + 90° \Rightarrow \mathrm{arctg}(T_0\omega_r) = \varphi_r - 90°$$

$$T_0\omega_r = tg(\varphi_r - 90°)$$

$$T_0 = \frac{tg(\varphi_r - 90°)}{\omega_r} \quad [sec] \quad (20)$$

$$\varphi_r = \omega_r \cdot \left(t(y_2^{max}) - t(u_{max})\right) \quad [rad] \quad (21)$$

Din cauza unor erori de calcul, am ales vârful de maxim al semnalului u cu două vârfuri înaintea vârfului de maxim al semnalului y_2, urmând să compensez această diferență in formula finală al lui T_0.

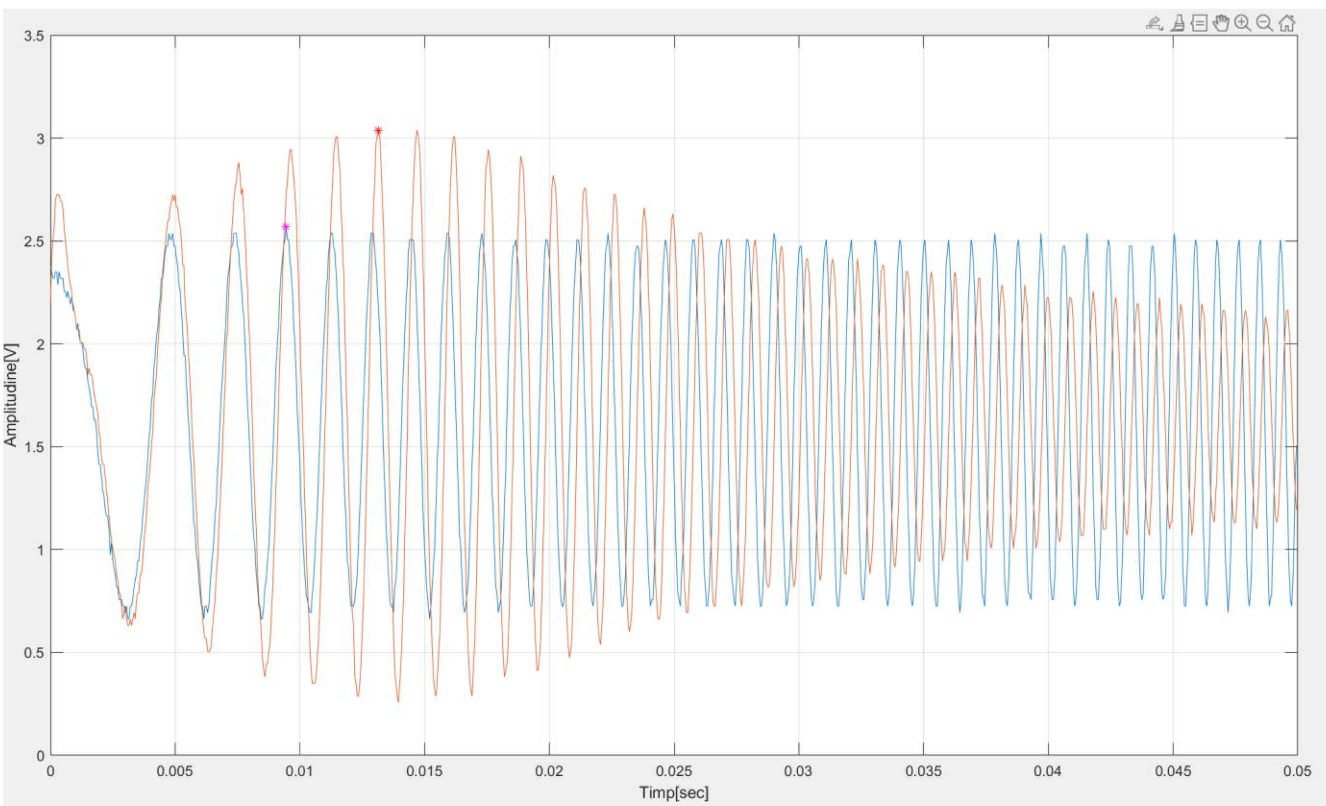

Fig. 11: Puncte alese pentru calculul fazei la rezonanță

Așadar am obținut:

$$\varphi_r = \omega_r \cdot (t(264) - t(190)) = 3808 \cdot (t(264) - t(190)) = \mathit{14.0896\ [rad]}$$

Pentru a trece valoarea lui φ_r din radiani în grade am înmulțit cu $\frac{180}{\pi}$, și pentru a compensa pentru eroare am scăzut 720°, corespunzătoare celor 2 perioade

$$\varphi_r \cdot \frac{180}{\pi} - 720° = 87.2727° \tag{22}$$

$$\xrightarrow[(20),(22)]{} T_0 = \frac{tg(87.2727-90)}{3808} = 1.1548 \cdot 10^{-4}\ [\text{sec}] \tag{23}$$

iv. Calculul modelului aferent sistemului

În datele experimentale avem condiții inițiale nenule, deci vom opta pentru un model în spațiul stărilor.

Pentru a determina modelul în spațiul stărilor, vom porni de la forma generală a funcției de transfer (2) și o vom reprezenta în Forma Canonică Observabilă

$$A_{FCOb} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n{}^2 & -2\zeta\omega_n \end{pmatrix} \qquad B_{FCOb} = \begin{pmatrix} K\omega_n{}^2 T_0 \\ K\omega_n{}^2 \end{pmatrix}$$

$$C_{FCOb} = (1 \quad 0) \qquad D = (0) \tag{24}$$

Înlocuind termenii generali cu cei obținuți în urma calculelor, vom avea următoarele modele:

$$\xrightarrow{(2),(9),(11),(12)} H(s) = \frac{2314.9\,(s + 8659)}{s^2 + 3234s + 1.973 \cdot 10^7} \tag{25}$$

$$\xrightarrow{(9),(11),(12),(24)} A_{FCOb} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1.9731 \cdot 10^7 & -3.2343 \cdot 10^3 \end{pmatrix} \qquad B_{FCOb} = \begin{pmatrix} 2.315 \cdot 10^3 \\ 1.2558 \cdot 10^7 \end{pmatrix}$$

$$C_{FCOb} = (1 \quad 0) \qquad D = (0) \tag{26}$$

Simularea modelului

Înainte să putem simula modelul, va trebui să aflam condițiile inițiale. Pornind de la modelul în forma canonică observabilă, putem afla condițiile inițiale

$$\overset{(24)}{\Longrightarrow}\begin{cases} \dot{x_1}(t) = x_2(t) + K{\omega_n}^2 T_0 u(t) \\ \dot{x_2}(t) = -{\omega_n}^2 x_1(t) - 2\zeta\omega_n x_2(t) + K{\omega_n}^2 u(t) \\ y(t) = x_1(t) \end{cases} \tag{27}$$

Din (27) se pot observa imediat condițiile inițiale:

$$\begin{aligned} & y(t) = x_1(t) \Rightarrow x_1(0) = y(0) \\ & \dot{y}(t) = \dot{x_1}(t) = x_2(t) + K{\omega_n}^2 T_0 u(t) \Rightarrow x_2(0) = \dot{y}(0) - K{\omega_n}^2 T_0 u(0) \end{aligned} \tag{28}$$

Pentru a simula modelul în MATLAB, vom urma aceeași pași ca la sistemul anterior:

```
A2=[0 1; -wn^2 -2*wn*zeta];
B2=[k*wn^2*T0;k*wn^2-2*zeta*k*wn^3*T0];
C2=[1 0];
D2=0;

dy2=(y2(2)-y2(1))/dt;
ysim=lsim(A2,B2,C2,D2,u,t,[y2(1) dy2+u(1)*(-k*wn^2*T0)]);

plot(t,[y2,ysim]),legend("y mas","y sim"),xlabel("Timp[sec]"),ylabel("Amplitudine[V]"),grid
```

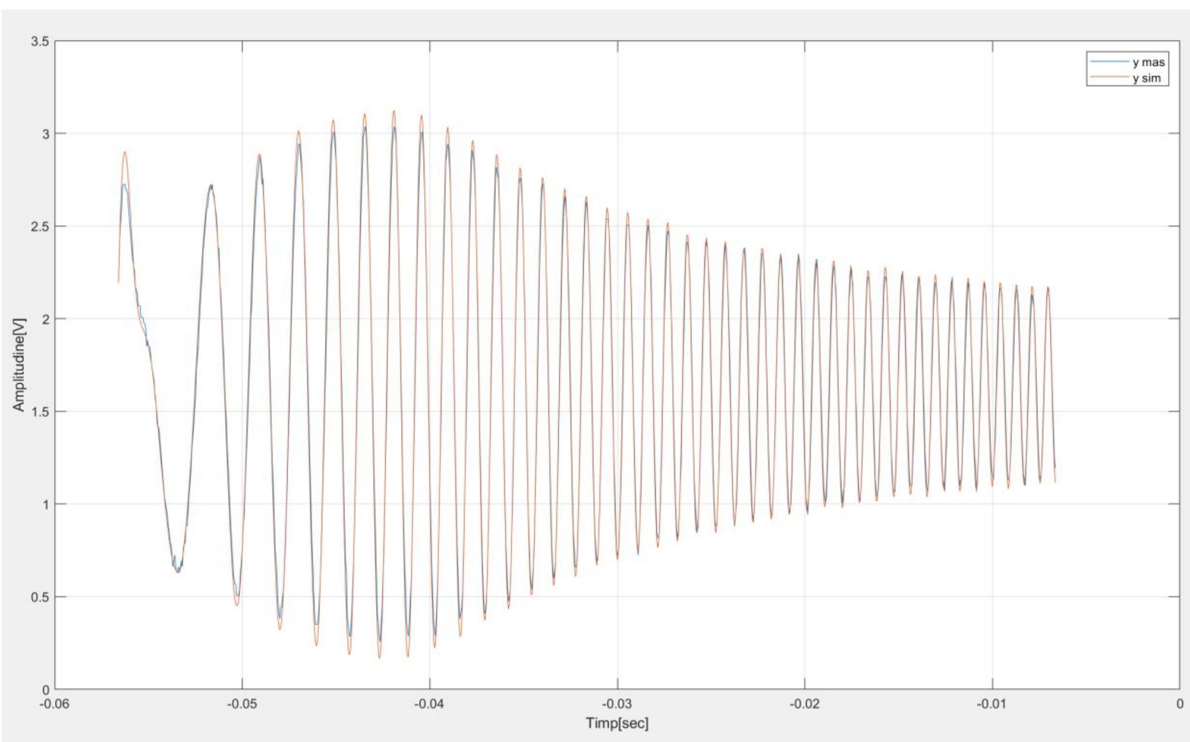

Fig. 12: Suprapunerea semnalului identificat și a celui măsurat

v. Validarea modelului

Eroarea Medie Pătratică Normalizată (eMPN) va fi calculată in MATLAB, cu următoarea comandă: `eMPN=norm(ysim-y2)/norm(ysim-mean(y2))`

Valoarea obținută este: eMPN = 0.0885 = 8.85%, deci identificarea este validată.

4. Răspunsul în Frecvență (Diagrama Bode)

În acest capitol vom încerca să estimăm răspunsul în frecvență al sistemului folosindu-ne de datele experimentale (puncte indexate din semnalul de intrare și ieșire) și de formule pentru calculul Modulului, Fazei, și al pulsației.

Pentru calculul răspunsului în frecvență am ales 10 puncte:

- 3 puncte la zona de frecvență joasă
- 3 puncte la zona de Rezonanță
- 2 puncte între zona de Rezonanță și zona de Frecvențe înalte
- 2 puncte în zona de Frecvențe înalte

Punctele estimate din calcule vor fi comparate cu diagrama Bode a sistemului identificat neparametric (realizată cu ajutorul funcției “bode” din MATLAB)

a. Caracteristica de Modul

Modulul Diagramei Bode se obține reprezentând modulul în funcție de pulsație și se bazează pe aceste două valori pe care le vom calcula:

$$M = \frac{A_y}{A_u} \Rightarrow M^{dB} = 20\lg(M)\,; \qquad \omega = \frac{2\pi}{T}\ [rad/s] \tag{29}$$

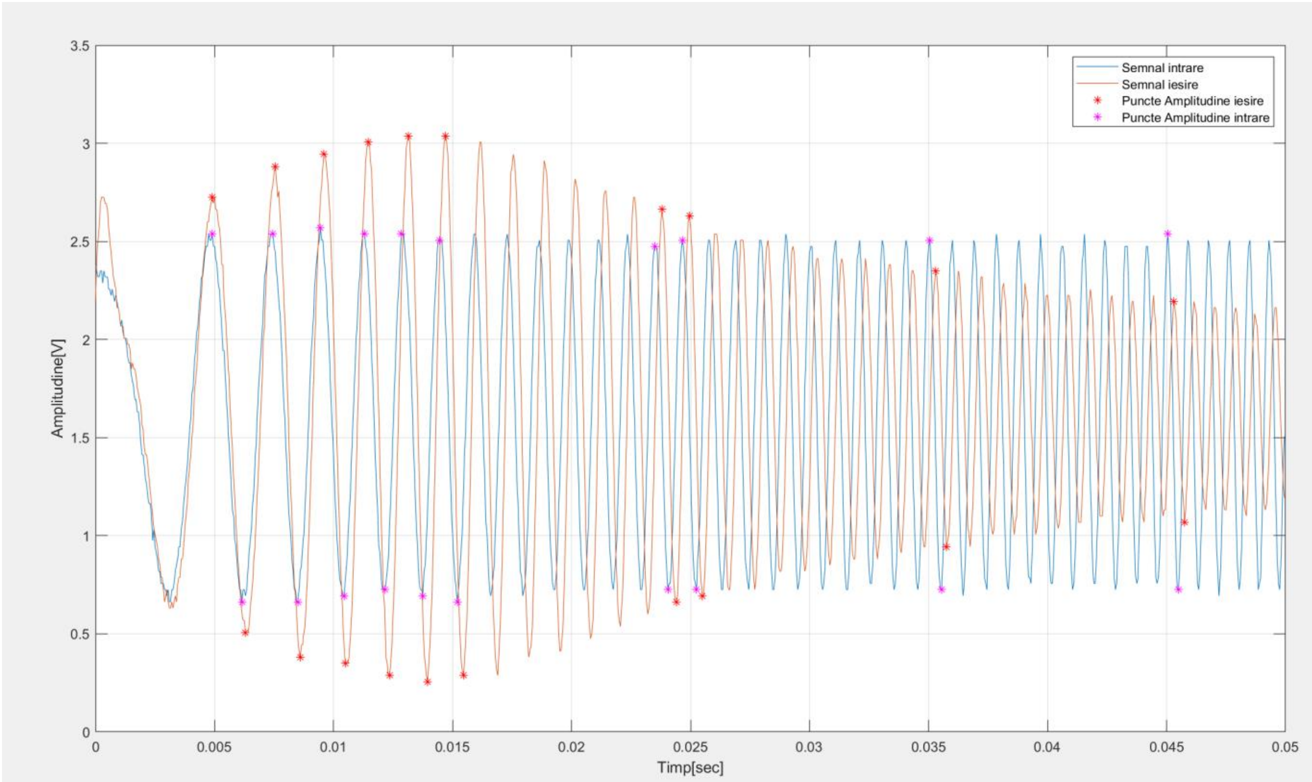

Fig. 13: Punctele alese pentru calculul amplitudinii

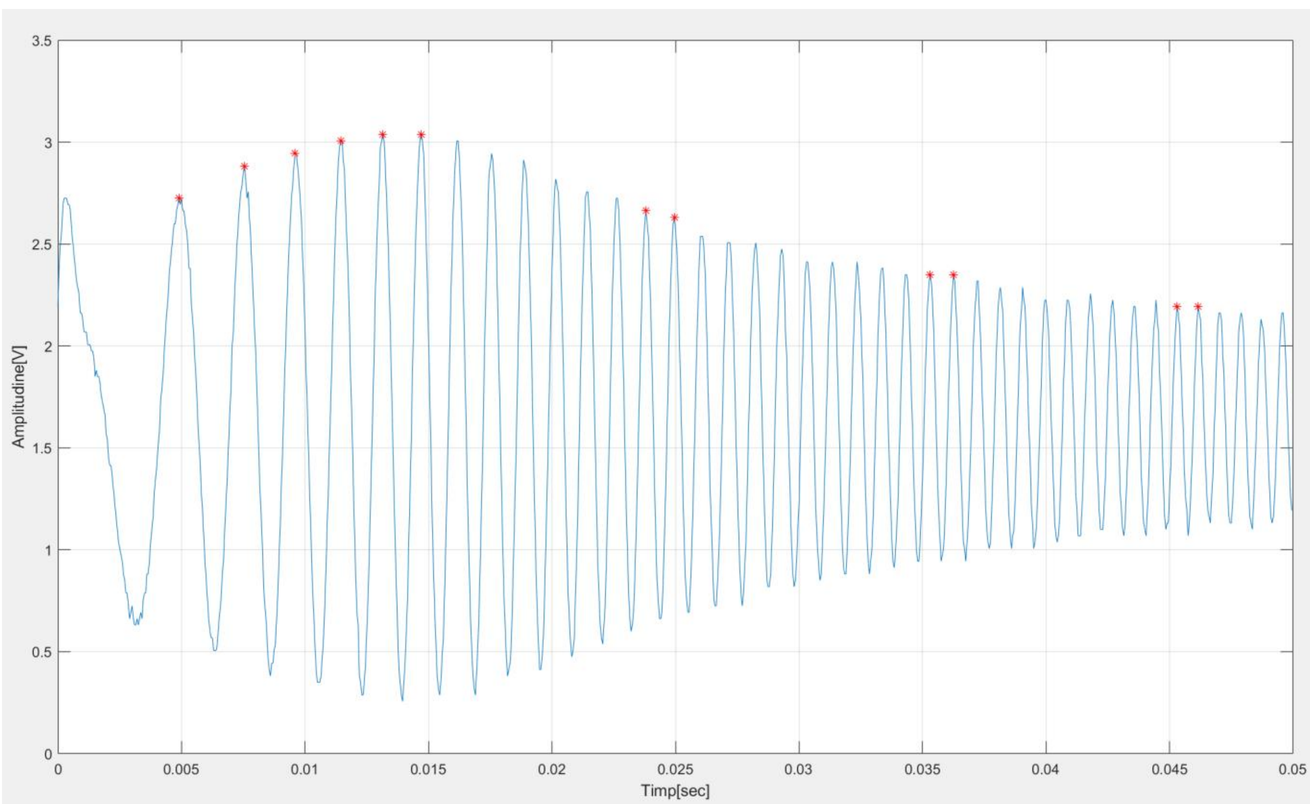

Fig. 14: Punctele alese pentru calculul perioadelor necesare determinării pulsației

Mai jos sunt prezentate datele obținute în urma selectării unor indecși și a calculelor formulelor (29)

Nr.	Amplitudini intrare			Amplitudini ieșire			Modul [ ]	Modul [dB]	Pulsație [rad/s]
	Index Max	Index Min	Valoare [V]	Index Max	Index Min	Valoare [V]			
1	99	124	0.9375	99	127	1.1094	1.1833	1.4621	2371
2	150	171	0.9375	152	173	1.2500	1.3333	2.4988	3064
3	190	210	0.9375	193	211	1.2969	1.3833	2.8185	3396
4	227	244	0.9063	230	248	1.3594	1.5000	3.5218	3696
5	258	276	0.9219	264	280	1.3906	1.5085	3.5708	4054
6	290	305	0.9219	295	310	1.3750	1.4915	3.4726	4054
7	471	482	0.8750	477	489	1.0000	1.1429	1.1598	5464
8	494	506	0.8906	500	511	0.9687	1.0877	0.7303	5464
9	702	712	0.8906	707	716	0.7031	0.7895	-2.0532	6614
10	902	911	0.9603	907	916	0.5625	0.6207	-4.1425	7392

Tabel 1. Date calculate pentru Caracteristica de Modul

Așadar, vom realiza un grafic folosindu-ne de datele regăsite în ultimele două coloane din tabel, pe care îl vom suprapune peste diagrama Bode a sistemului identificat la punctul 3.b.

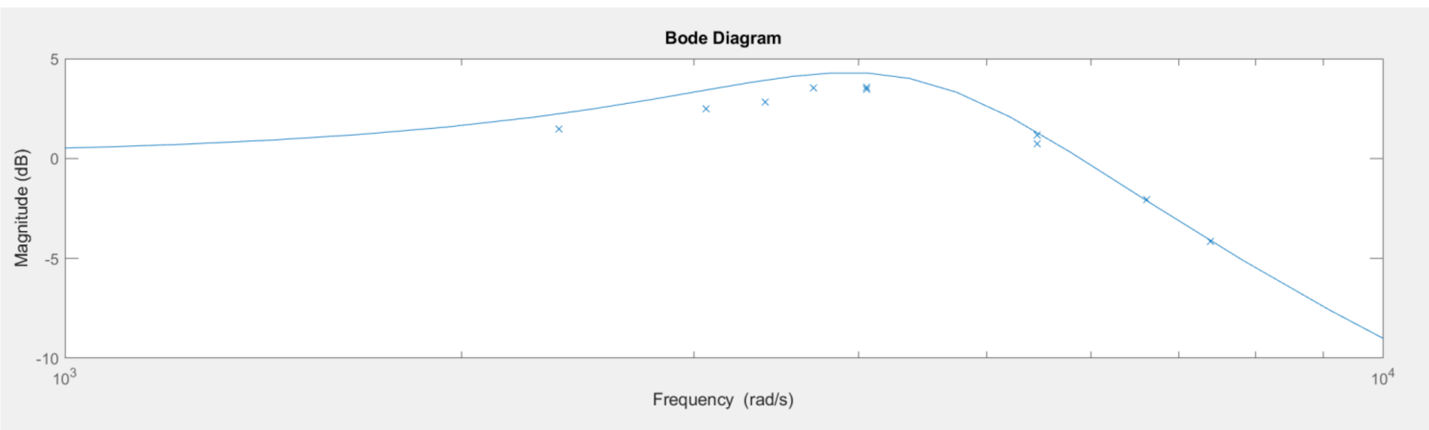

Fig. 15: Suprapunerea punctelor calculate peste diagrama de modul a sistemului identificat neparametric

O verificare pe care o putem face este să calculam panta de după rezonanță, care, datorită frângerii târzii a zeroului, trebuie să aibă o valoare aproximativ egală cu -40 dB/dec. Acest calcul se va face cu formula:

$$p = \frac{20\lg\,(M_2/M_1)}{\lg\,(\omega_2/\omega_1)}$$

Unde: $M_{1,2}$= modulul a 2 puncte; $\omega_{1,2}$= pulsațiile corespunzătoare punctelor alese

Calculat pentru M_2=0.63158, M_1=0.78947, ω_2=7392 ω_1=6614 (Punctele 9 și 10 din Tabel 1.), p= -40.1245 dB/dec

Așadar, putem spune ca modulul sistemului calculat cu formulele (29) pe punctele din *Fig. 13* și *Fig.14* aproximează panta reală de -40 dB/dec

b. <u>Caracteristica de Fază</u>

Faza Diagramei Bode se obține reprezentând faza în funcție de pulsație. Pulsația a fost calculată la punctul anterior. Faza se calculează astfel :

$$\varphi = \omega \cdot \left(t(y_{max}) - t(u_{max})\right) \quad [rad] \tag{30}$$

Valoare pe care mai apoi o vom converti în grade cu formula:

$$\varphi\,[\,^\circ] = \varphi[rad] \cdot \frac{180}{\pi}$$

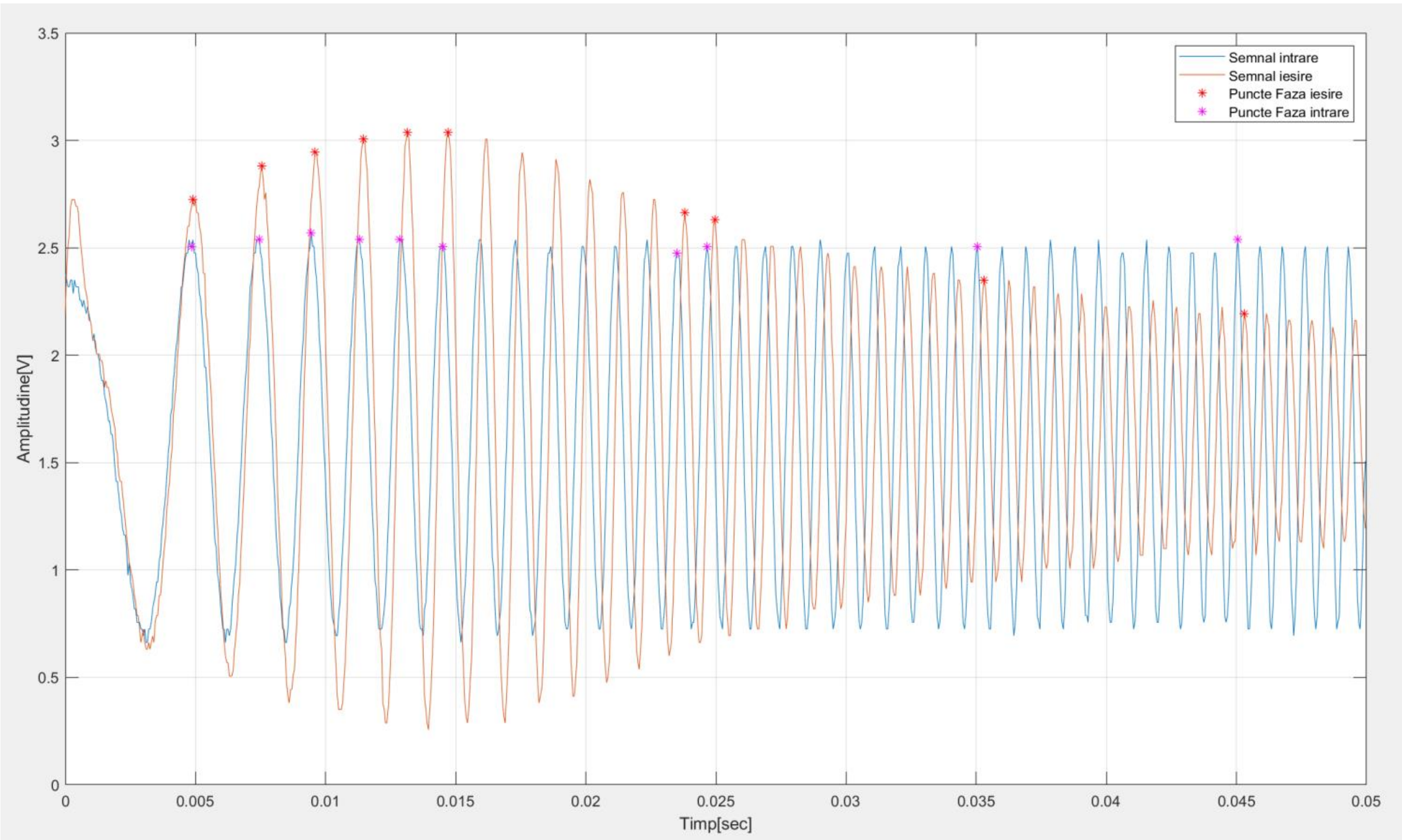

Fig. 16: Punctele alese pentru calculul defazajului ieșire-intrare

Mai jos sunt prezentate datele obținute în urma selectării unor indecși și a calculului formulei (30)

Nr.	Index Puncte intrare	Index Puncte ieșire	Fază [°]
1	98	99	-6.7925
2	150	152	-17.5610
3	190	193	-29.1892
4	227	230	-31.7647
5	258	264	-69.6774
6	291	295	-46.4516
7	471	477	-93.9130
8	494	500	-93.9130
9	702	707	-94.7368
10	902	907	-105.8824

Tabel 2. Date calculate pentru Caracteristica de Fază

Datele din Tabelul 2 se vor introduce într-un plot alături de diagrama de fază a sistemului identificat neparametric. Astfel se obține următorul grafic:

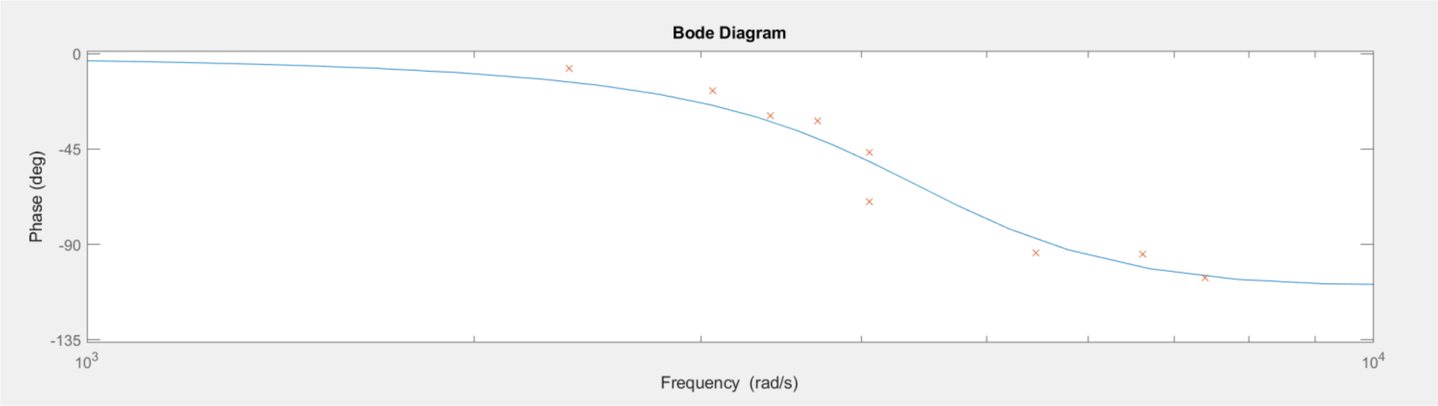

Fig. 17: Suprapunerea punctelor calculate peste diagrama de fază a sistemului identificat neparametric

În concluzie, diagrama Bode calculată experimental a sistemului de ordin 2 cu zero, suprapusă peste diagrama Bode a sistemului identificat neparametric se prezintă astfel:

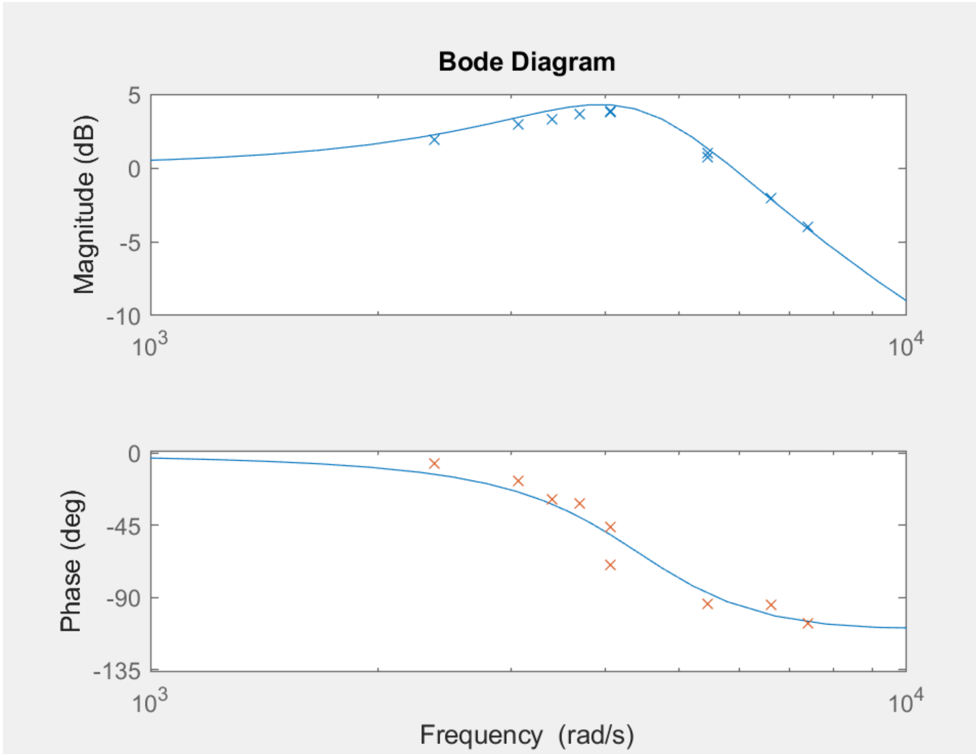

Fig. 18: Diagrama Bode determinată experimental

5. Identificare Parametrică

a. Identificarea parametrică a sistemului fără zero

i. Model ARMAX; Validarea modelului

Modelul ARMAX, cunoscut drept Metoda Celor Mai Mici Pătrate Extinsă (MCMMPE) este un model polinomial descris astfel

$$A(q)y(t) = B(q)u(t - n_k) + C(q)e(t) \tag{31}$$

Parametrii de structură ai acestui model sunt:

- na - gradul polinomului de la numitor
- nb - gradul polinomului de la numărător +1
- nc - gradul polinomului de eroare
- nk - nr. tacți de întârziere

Pentru ca acest model să fie considerat valid, acesta trebuie să treacă testul de autocorelație.

Pe setul de date experimentale din acest proiect, și considerând parametrii structurali:

[na nb nc nk] = [2 1 2 0], obținem următoarele rezultate:

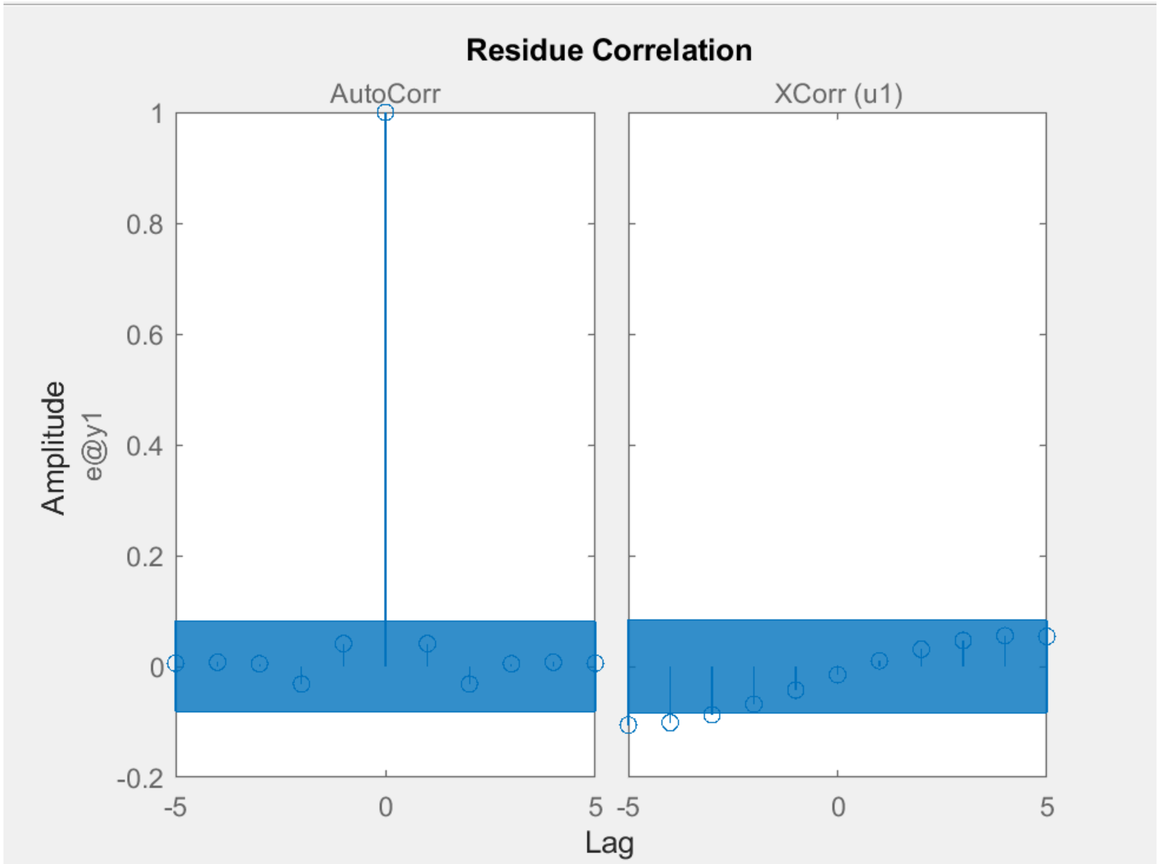

Fig. 19: Testele de auto- și intercorelație aplicate asupra modelului ARMAX rezultat

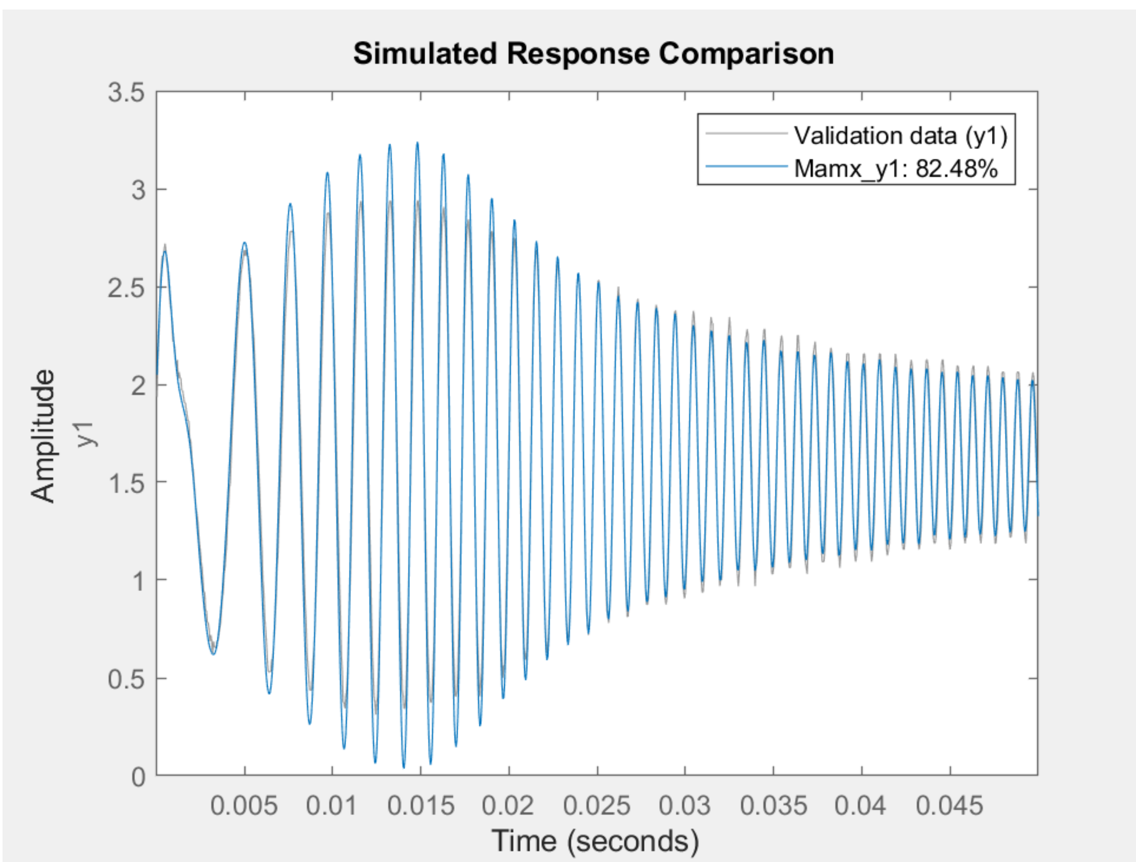

Fig. 20: Suprapunerea modelului ARMAX cu datele experimentale de referință

Conform Fig. 19 și Fig. 20 , se poate observa că sistemul identificat cu metoda ARMAX, trece atât testul de autocorelație cât și cel de intercorelație. Cu toate că nu obținem un fit bun, putem spune că modelul validează testul de autocorelație.

Pentru obținerea unui model reprezentat de funcția de transfer în domeniul discret, se vor considera polinoamele A(q) și B(q), respectiv funcția de transfer va avea următoarea formă

$$H(z^{-1}) = \frac{B(q)}{A(q)} = \frac{0.04298\, z^{-2}}{1 \,-\, 1.839\, z^{-1} +\, 0.8812\, z^{-2}} \tag{32}$$

Modelul în domeniu continuu, conform metodei 'matched':

$$H(s) = \frac{1.837 \cdot 10^7}{s^2 + 2530\, s + 1.815 \cdot 10^7} \tag{33}$$

ii. Model OE; Validarea modelului

Metoda OE (Output Error) furnizează un model polinomial de forma:

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t - n_k) + e(t)$$

Parametrii de structură ai acestui model sunt:

- nb - gradul polinomului de la numărător +1
- nf - gradul polinomului de la numitor
- nk - nr. tacți de întârziere

Pentru ca acest model să fie considerat valid, acesta trebuie să treacă testul de intercorelație.

Pe setul de date experimentale din acest proiect, și considerând parametrii structurali:

[nb nf nk] = [2 2 0], obținem următoarele rezultate:

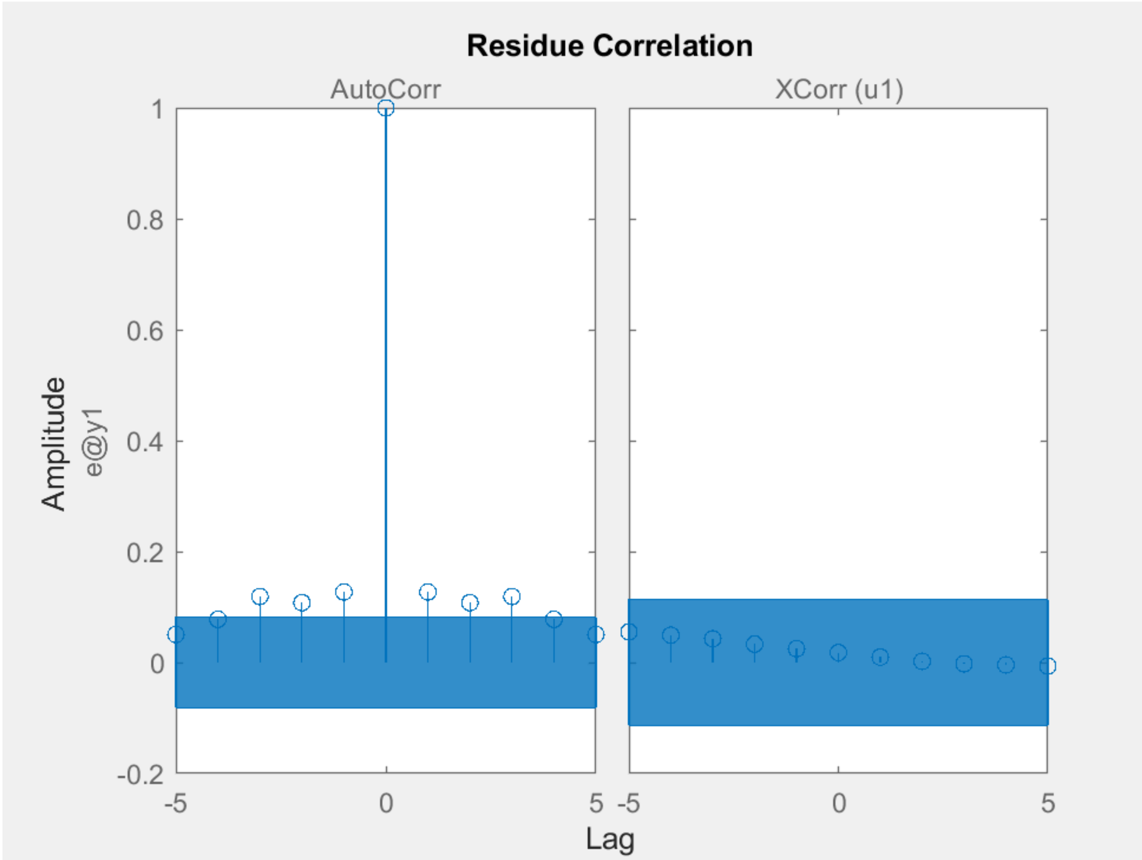

Fig. 21: Testele de auto- și intercorelație aplicate asupra modelului OE rezultat

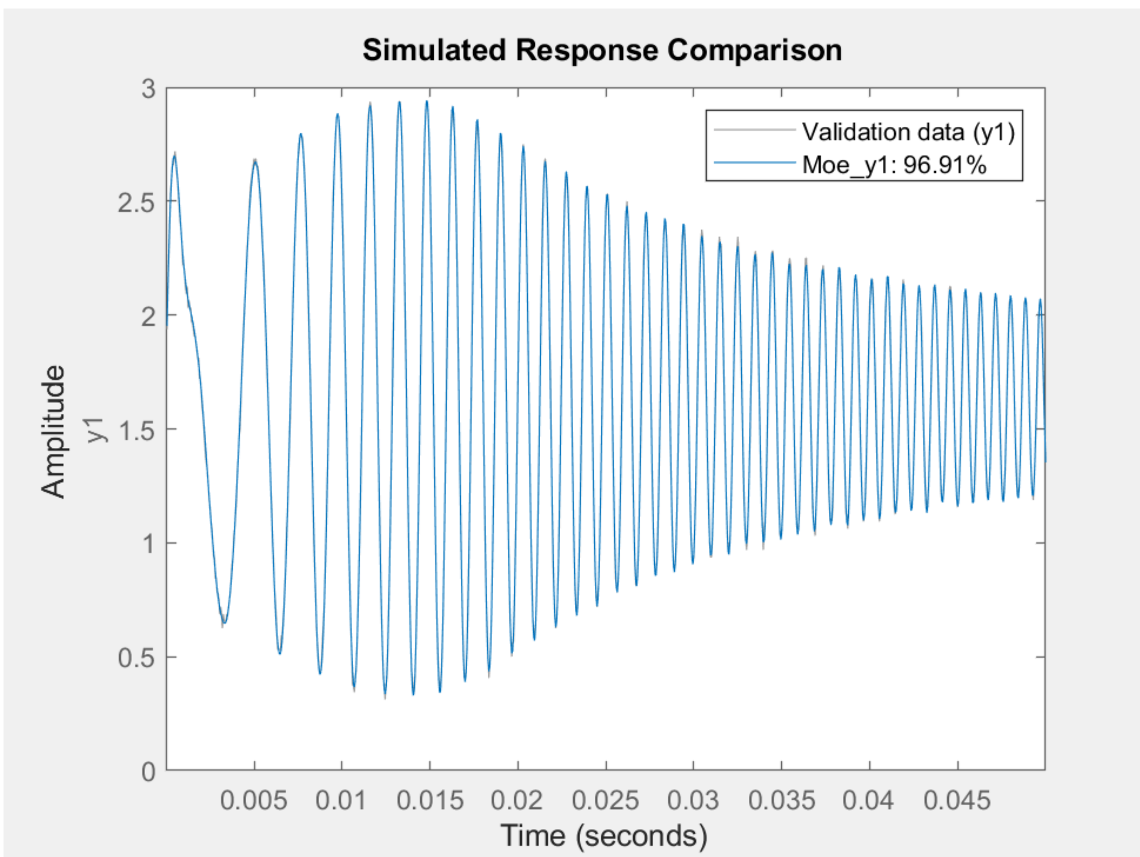

Fig. 22: Suprapunerea modelului OE cu datele experimentale de referință

Conform Fig. 21 și Fig. 22 , se poate observa că sistemul identificat cu metoda OE, trece testul de intercorelație și obținem un fit bun(eroare <10%), putem spune că modelul este validat.

Funcția de transfer în discret:

$$H(z^{-1}) = \frac{0.001951\, z^{-1} + 0.04659\, z^{-2}}{1 - 1.793\, z^{-1} + 0.8411\, z^{-2}} \tag{34}$$

Modelul în domeniu continuu:

$$H(s) = \frac{-505.8\, s + 2.124 \cdot 10^{7}}{s^{2} + 3462\, s + 2.098 \cdot 10^{7}} \tag{35}$$

b. Identificarea parametrică a sistemului cu zero

i. Model ARMAX; Validarea modelului

Pe setul de date experimentale din acest proiect, și considerând parametrii structurali:

[na nb nc nk] = [2 2 2 0], obținem următoarele rezultate:

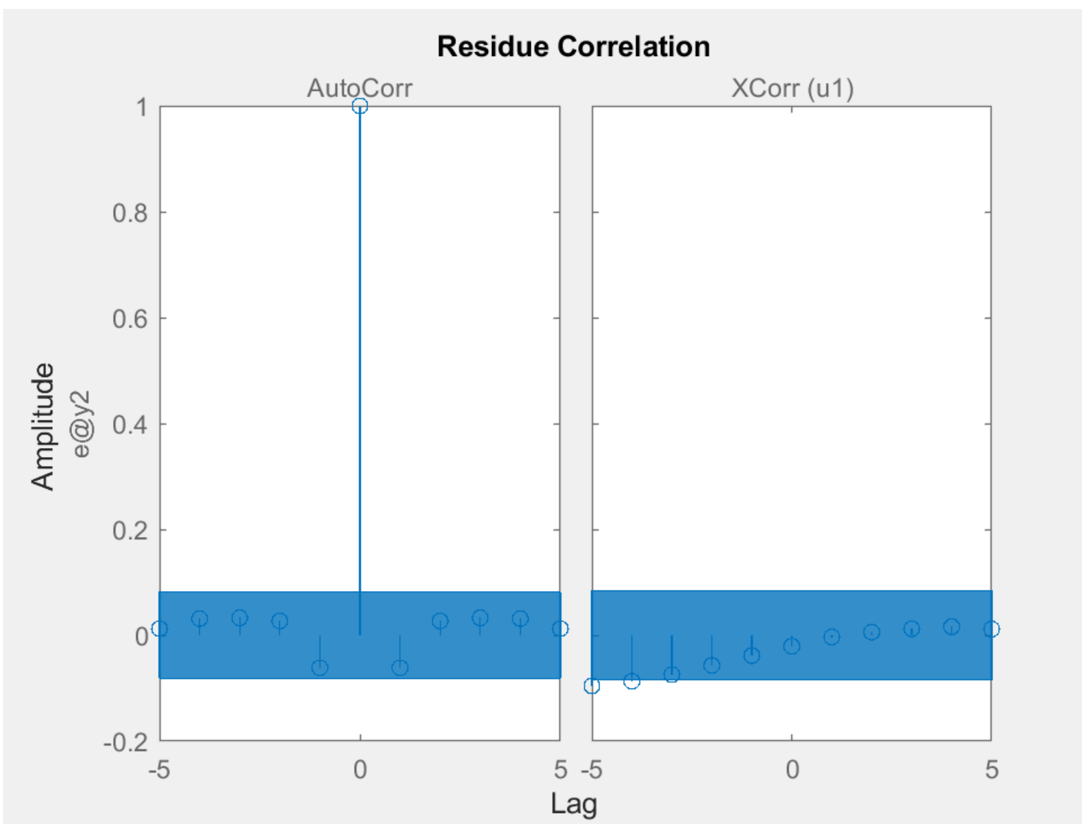

Fig. 23: Testele de auto- și intercorelație aplicate asupra modelului ARMAX rezultat

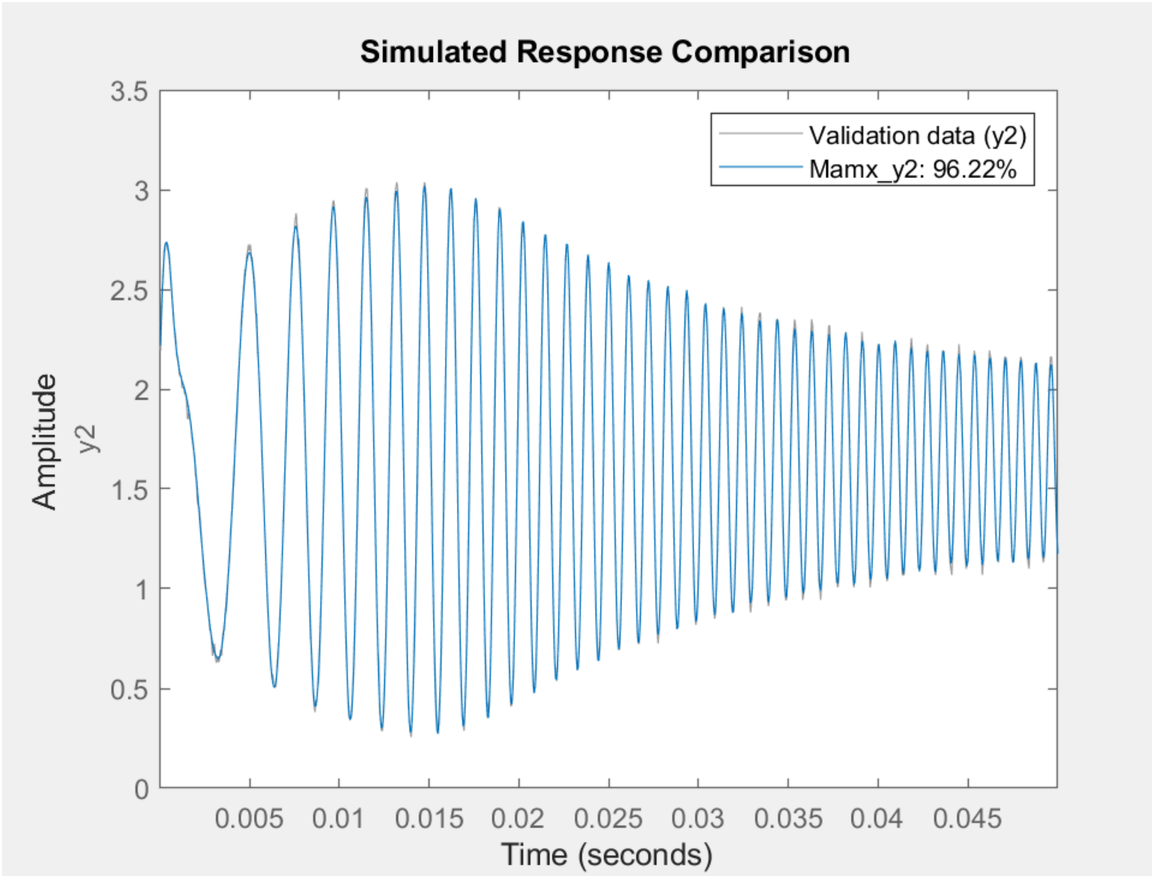

Fig. 24: Suprapunerea modelului ARMAX cu datele experimentale de referință

Conform Fig. 23 și Fig. 24 , se poate observa că sistemul identificat cu metoda ARMAX, trece testul de autocorelație, cel de intercorelație și obținem un fit bun(eroare <10%). Așadar putem spune că modelul este validat.

Funcția de transfer în discret:

$$H(z^{-1}) = \frac{0.07351\, z^{-1} - 0.02268\, z^{-2}}{1 - 1.793\, z^{-1} + 0.8427\, z^{-2}} \tag{36}$$

Modelul în domeniu continuu:

$$H(s) = \frac{945\, s + 2.222 \cdot 10^{7}}{s^{2} + 3424\, s + 2.187 \cdot 10^{7}} \tag{37}$$

ii. <u>Model N4SID îmbunătățit cu PEM; Validarea modelului</u>

Metoda N4SID aproximează modelul în spațiul stărilor, pornind de la datele de identificare,și un ordin al sistemului, pe care îl poate fie identifica de la sine, sau i-l putem furniza prin parametrul NX.

Metoda PEM (Minimizarea erorii de predicție) primește datele de identificare, și modelul N4SID ca date care urmează a fi îmbunătățite și furnizează tot un sistem în spațiul stărilor.

Sistemul în spațiul stărilor obținut în final este:

$$A = \begin{pmatrix} 0.8203 & 0.1721 \\ -0.2365 & 0.9691 \end{pmatrix} \qquad B = \begin{pmatrix} -0.0111 \\ -0.0227 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} -10.8238 & -0.5946 \end{pmatrix} \qquad D = 0$$

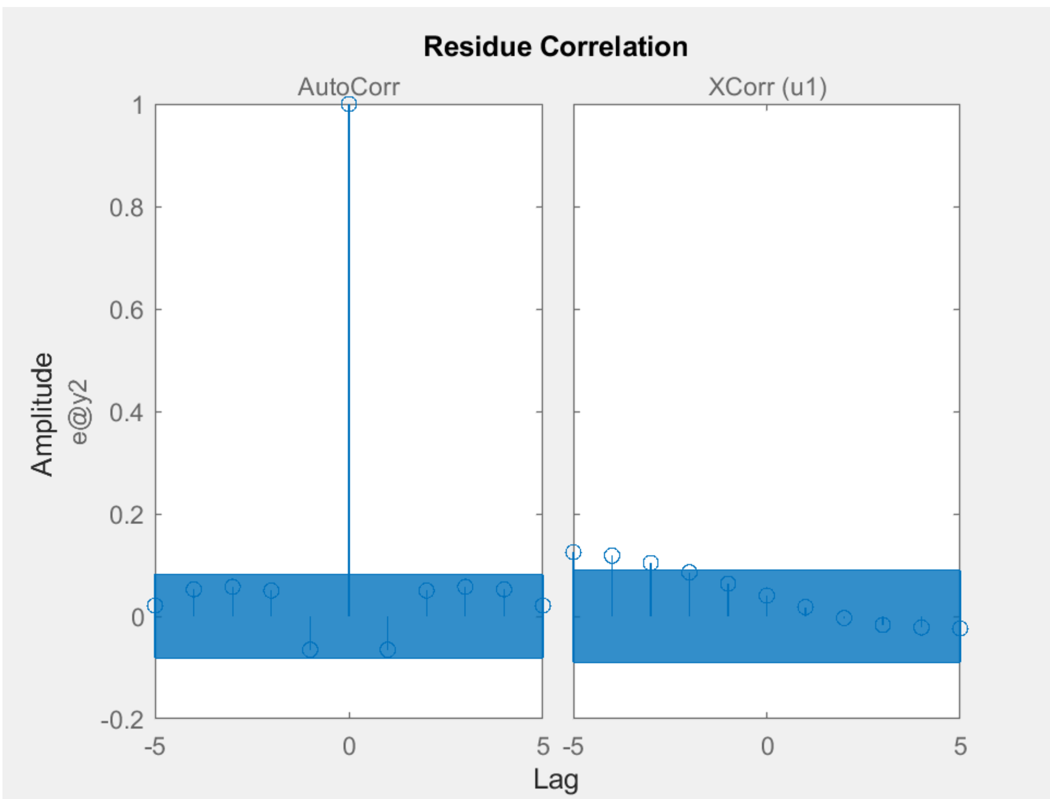

Fig. 25: Testele de auto- și intercorelație aplicate asupra modelului rezultat

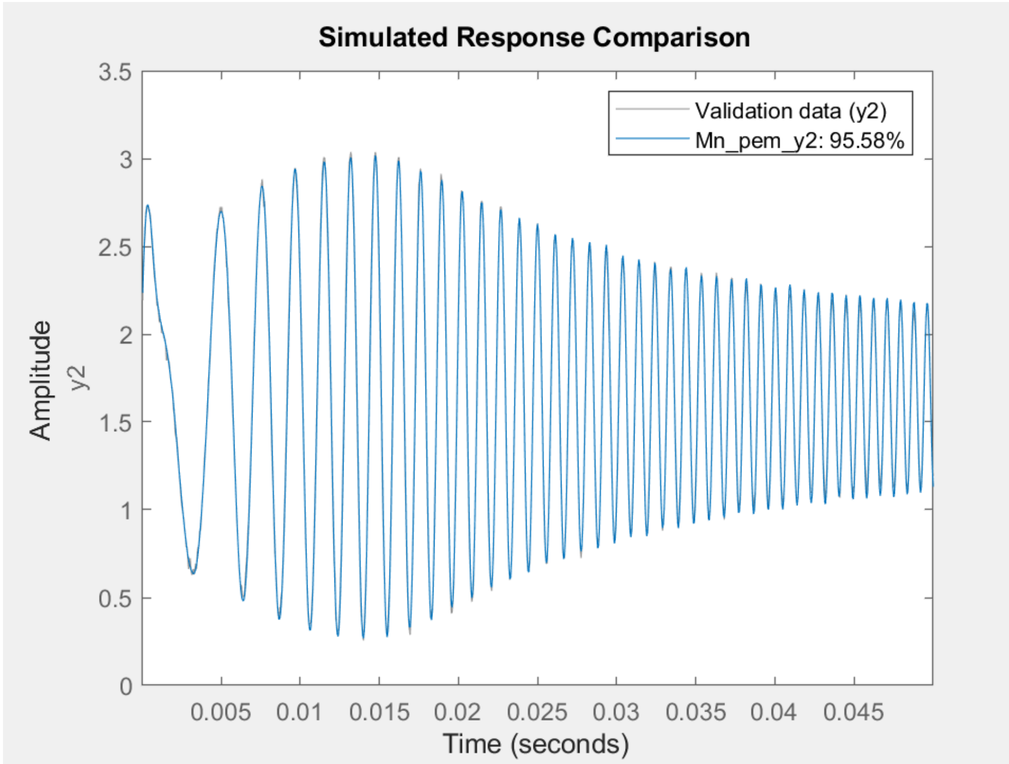

Fig. 26: Suprapunerea modelului rezultat cu datele experimentale de referință

Conform Fig. 25 și Fig. 26 , se poate observa că sistemul identificat cu metoda N4SID și îmbunătățit cu PEM, trece (aproape de limită) testul de intercorelație, și obținem un fit bun(eroare <10%). Așadar putem spune că modelul este validat.

Funcția de transfer în discret:

$$H(z^{-1}) = \frac{0.1333\, z^{-1} - 0.08639\, z^{-2}}{1 - 1.789\, z^{-1} + 0.8356\, z^{-2}} \tag{38}$$

Modelul în domeniu continuu:

$$H(s) = \frac{2405\, s + 2.059 \cdot 10^{7}}{s^{2} + 3591\, s + 2.03 \cdot 10^{7}} \tag{39}$$