

# **Proiect Identificarea Sistemelor**

## Cuprins

PROIECT 2 - IDENTIFICAREA SISTEMELOR.....	4
1. Introducere și Obiective.....	5
2. Descrierea Procesului Fizic.....	5
3. Metodologia de Identificare .....	6
3.1. Pregătirea experimentului .....	6
3.2. Calculul amplificării (K).....	6
3.3. Găsirea Părții Reale prin Regresie .....	6
3.4. Găsirea Părții Imaginare și a celorlalți parametri.....	6
4. Rezultate Experimentale .....	7
5. Validarea Modelului .....	9
6. Concluzii .....	11
PROIECT 3 – IDENTIFICAREA SISTEMELOR .....	12
1. Introducere și Obiective.....	13
2. Descrierea Procesului Fizic.....	13
3. Metodologia de Identificare .....	14
3.1. Calibrarea semnalului de intrare (Chirp).....	14
3.2. Calculul amplificării (K).....	14
3.3. Identificarea Parametrilor prin Rezonanță.....	15
4. Rezultate Experimentale .....	16
5. Validarea Modelului .....	17
6. Concluzii .....	19
PROIECT 4/5 – IDENTIFICAREA SISTEMELOR .....	20
1. Introducere și Obiective.....	21
3. Metodologia de Identificare .....	22

3.1. Pregătirea experimentului (SPAB) .....	22
3.2. Pre-procesarea datelor experimentale .....	23
3.3. Estimarea Modelelor Parametrice .....	23
3.4. Alegerea tuturor parametrilor si parcursul identificarii.....	24
4. Rezultate Experimentale .....	25
5. Validarea Modelului .....	26
6. Concluzii .....	30

# PROIECT 2 - IDENTIFICAREA SISTEMELOR

**Tema:** Identificarea sistemelor de ordin II utilizând metoda regresiei liniare

**Aplicație:** Circuit Electric (Filtru Sallen-Key)

**Student:** Molnar Andrei Alexandru

**Grupa:** grupa 30136

**Parametrii:**  $m = 6$  ,  $n = 12$

## 1. Introducere și Obiective

În inginerie, pentru a putea controla un proces, este nevoie mai întâi de un model matematic corect al acestuia. Acest proiect are ca scop găsirea modelului matematic (funcția de transfer) pentru un circuit electric, pornind de la date experimentale.

Concret, se analizează un filtru de tip Sallen-Key. Obiectivul este determinarea parametrilor acestui circuit prin analiza modului în care răspunde la un semnal treaptă. Pentru a găsi partea reală a polilor, se folosește metoda regresiei liniare, deoarece aceasta oferă rezultate mai precise în prezența zgomotului decât simpla citire de pe grafic. Validarea modelului se face la final, comparând simularea cu realitatea, urmărindu-se o eroare cât mai mică (sub 10%).

## 2. Descrierea Procesului Fizic

Sistemul studiat este un circuit electric (filtru trece-jos). Din punct de vedere fizic, acesta are un comportament oscilant: dacă primește o comandă bruscă, ieșirea va oscila de câteva ori înainte de a se stabili.

Modelul matematic căutat este descris de funcția de transfer:

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

Parametrii care trebuie aflați sunt:

- K: Factorul de proportionalitate.
- $\omega_n$ : Frecvența naturală de oscilație.
- $\zeta$ : Factorul de amortizare (care ne spune cât de repede se sting oscilațiile).

### 3. Metodologia de Identificare

Identificarea s-a realizat în MATLAB, urmând câțiva pași logici pentru prelucrarea datelor.

#### 3.1. Pregătirea experimentului

Pentru a vedea cum reacționează sistemul, s-a aplicat un semnal de intrare de tip treaptă cu amplitudinea de 6V. Această valoare ( $u(s) = 6$ ) a fost aleasă pentru a obține un semnal clar, suficient de puternic față de zgomotul de fond, dar fără a bloca (satura) echipamentele de măsură.

#### 3.2. Calculul amplificării (K)

Factorul K se calculează comparând ieșirea cu intrarea după ce sistemul s-a stabilizat. Deoarece semnalul real are mereu puțin zgomot, s-a folosit media valorilor pe o perioadă de timp, atât înainte de aplicarea treptei, cât și după stabilizare.

#### 3.3. Găsirea Părții Reale prin Regresie

Aceasta este partea cea mai importantă. Pentru a afla partea reală a polilor, au fost parcurși următorii pași:

1. **Eliminarea regimului staționar:** S-a păstrat doar partea oscilantă a semnalului.
2. **Alegerea punctelor:** S-au ales manual de pe grafic trei vârfuri consecutive ale oscilației (la indicii specificați în cod).
3. **Liniarizarea:** S-a aplicat logaritmul natural pe valorile acestor vârfuri. Astfel, curba exponențială s-a transformat într-o dreaptă.
4. **Calculul pantei:** Folosind metoda Celor Mai Mici Pătrate (prin matricele A și B), s-a calculat panta acestei drepte. Această pantă este chiar valoarea reală a polilor căutată. Folosirea a trei puncte în loc de două reduce riscul de eroare cauzat de zgomot.

#### 3.4. Găsirea Părții Imaginare și a celorlalți parametri

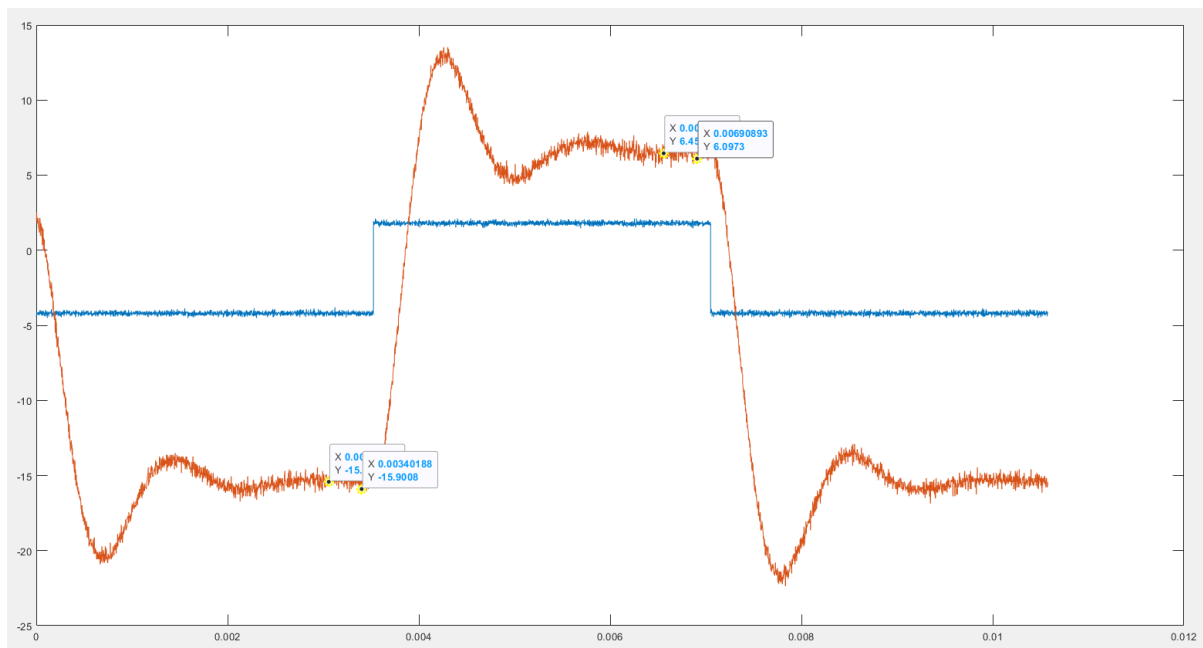
Partea imaginară 'Im' este dată de frecvența oscilațiilor. S-a măsurat pe grafic timpul dintre două puncte similare  $T_{osc}$  și s-a calculat:

$$Im = 2\pi/T_{osc}$$

La final, cunoscând partea reală și cea imaginară, s-au calculat  $\omega_n$  și  $\zeta$  folosind formulele matematice standard.

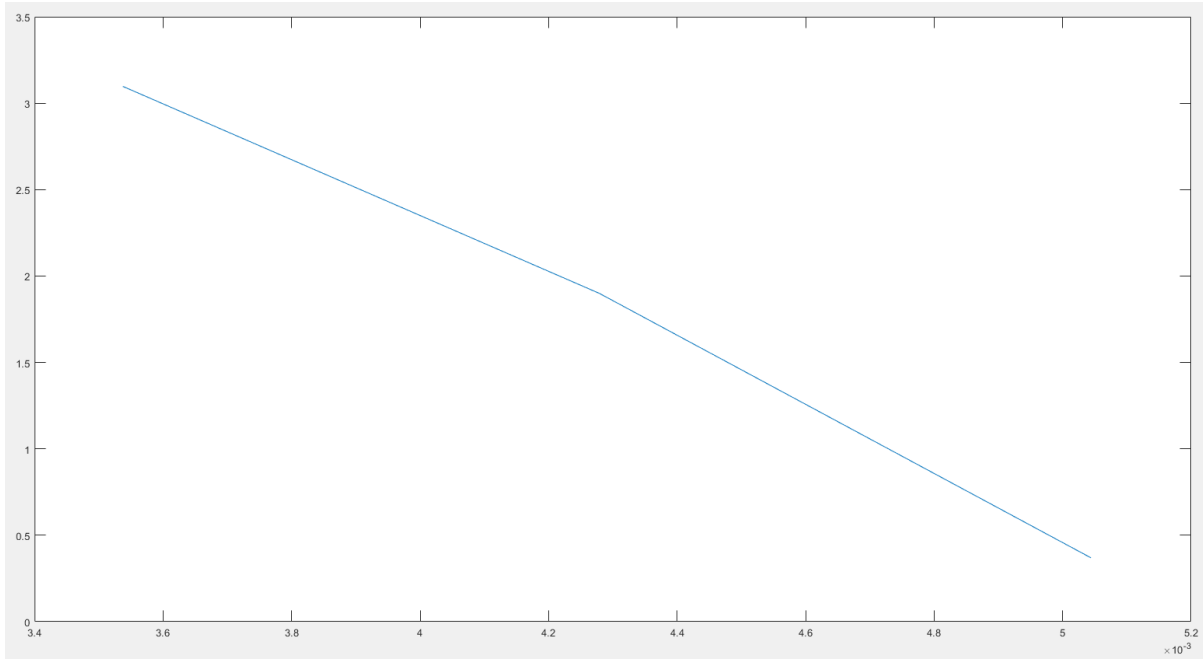
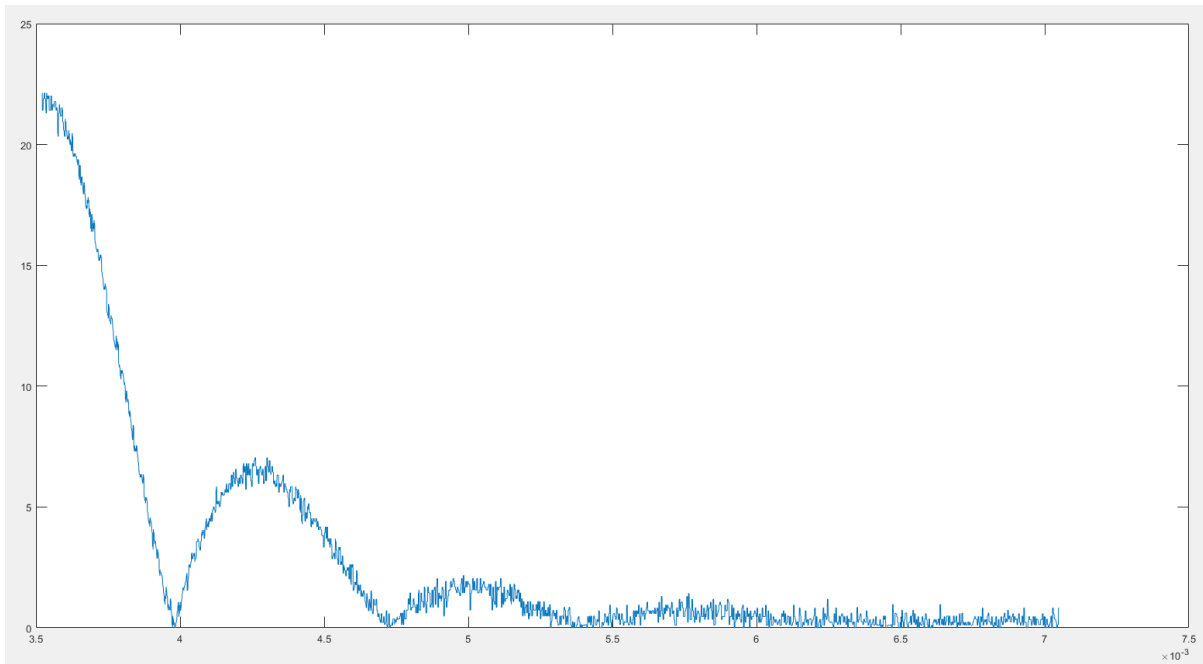
## 4. Rezultate Experimentale

În urma rulării codului cu parametrii  $m=6$  și  $n=12$ , s-au obținut următoarele rezultate:



Am selectat primii 4 indici din primul graphic, cu datele primite, astfel am obținut valoarea factorului de proportionalitate:

$$K = 3.639;$$



Am aplicat metoda regresiei, aflând astfel matricile  $A_{\text{regresie}}$  și  $B_{\text{regresie}}$  necesare, de unde putem afla valoarea părții reale ‘Re’

$\text{Re} = -1811.45$  ; apoi pentru partea imaginara ne folosim de formulele de mai sus pentru a afla partea imaginara ‘Im’

$\text{Im} = 4364.89$  ;



Odata cu aflarea valorilor necesare pentru 'Re' si 'Im' putem sa calculam si valorile pentru :

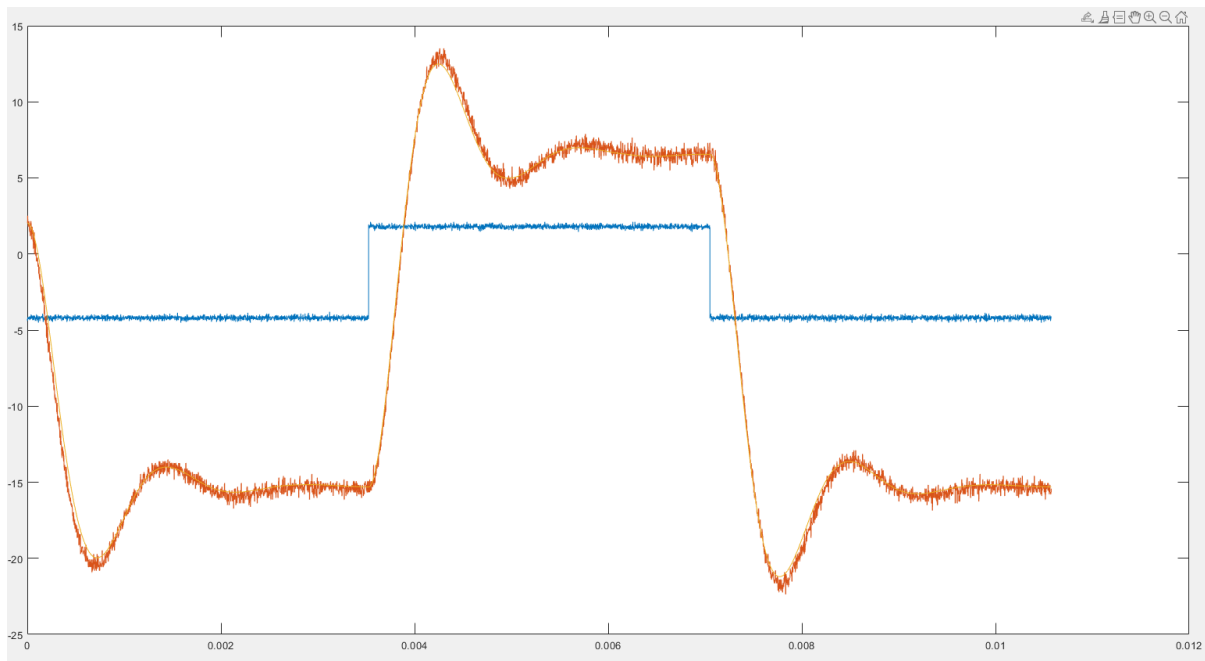
$$\omega_n = \sqrt{Re^2 + Im^2} = 4725.84 ;$$

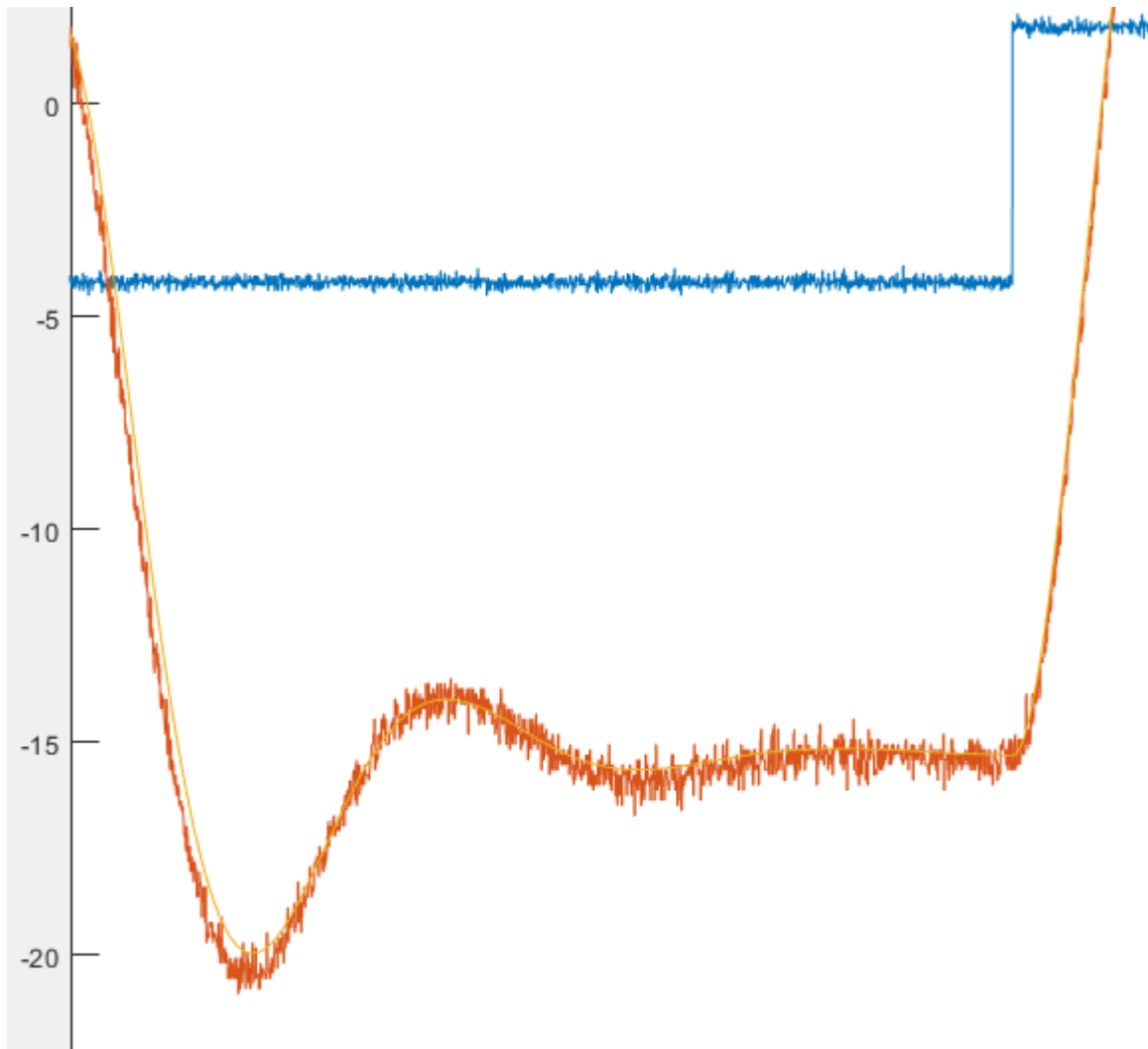
$$\zeta = -Re/\omega_n = 0.383 ;$$

## 5. Validarea Modelului

Validarea reprezintă etapa finală de verificare a calității modelului identificat. Se construiește modelul în spațiul stărilor utilizând parametrii determinați anterior și se simulează răspunsul acestuia la același semnal de intrare utilizat în experiment.

Un aspect crucial în această etapă este inițializarea corectă a simulării. Deoarece sistemul real poate prezenta condiții inițiale nenule, simularea modelului ține cont de starea inițială măsurată  $y(t_0)$  , asigurând o suprapunere corectă a graficelor la momentul inițial. Trecem la un system in spatial starilor folosindu-ne de valorile calculate anterior.





Suprapunerea este aproape perfecta din graphic, vrem sa verificam asta prin calculul erorii mediei patratice

$$EMP_N = \frac{||y_{real} - y_{sim}||}{||y_{real} - med(y_{real})||} \times 100\%$$

$$EMP_N = 4.2349 \%$$

## 6. Concluzii

Proiectul a demonstrat eficacitatea utilizării regresiei liniare în identificarea sistemelor de ordin II subamortizate. Metodologia aplicată a permis extragerea precisă a parametrilor dinamici ( $K$ ,  $\zeta$ ,  $\omega_n$ ) în prezența perturbațiilor de măsură.

Se constată că acuratețea identificării depinde semnificativ de selecția corectă a punctelor de regresie și de medierea adecvată a valorilor de regim staționar. De asemenea, luarea în considerare a condițiilor inițiale reale în etapa de validare s-a dovedit determinantă pentru minimizarea indicelui de eroare EMPN. Modelul rezultat aproximează comportamentul procesului fizic, putând fi utilizat ulterior în sinteza structurilor de reglare automată.

# PROIECT 3 – IDENTIFICAREA SISTEMELOR

**Tema:** Identificarea sistemelor de ordin II utilizând răspunsul în frecvență (Semnal Chirp)

**Aplicație:** Circuit Electric

**Student:** Molnar Andrei Alexandru

**Grupa:** grupa 30136

**Parametrii:**  $m = 6$  ,  $n = 12$

## 1. Introducere și Obiective

Identificarea experimentală a sistemelor dinamice poate fi realizată nu doar în domeniul timp (prin răspunsul la treaptă), ci și în domeniul frecvență. Acest proiect își propune determinarea modelului matematic al unui circuit electric de ordinul II, utilizând analiza răspunsului la un semnal de intrare cu frecvență variabilă, cunoscut sub numele de semnal Chirp.

Obiectivul principal este estimarea parametrilor funcției de transfer prin excitarea sistemului într-o plajă largă de frecvențe, care să cuprindă zona de rezonanță. Metodologia se bazează pe determinarea caracteristicii de modul (amplificare) și extragerea punctelor cheie: amplificarea la frecvență joasă și vârful de rezonanță. Validarea modelului se realizează prin compararea răspunsului simulat cu datele experimentale, utilizând criterii de performanță statistice.

## 2. Descrierea Procesului Fizic

Sistemul studiat este un circuit electric (filtru trece-jos). Din punct de vedere fizic, acesta are un comportament oscilant: dacă primește o comandă bruscă, ieșirea va oscila de câteva ori înainte de a se stabili.

Modelul matematic căutat este descris de funcția de transfer:

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

Parametrii care trebuie aflați sunt:

- K: Factorul de proportionalitate.
- $\omega_n$ : Frecvența naturală de oscilație.
- $\zeta$ : Factorul de amortizare (care ne spune cât de repede se sting oscilațiile).

### 3. Metodologia de Identificare

Identificarea s-a realizat în mediul MATLAB/Simulink, utilizând un semnal de intrare care "scanează" spectrul de frecvențe relevant pentru proces.

#### 3.1. Calibrarea semnalului de intrare (Chirp)

Pentru a evidenția dinamica sistemului, s-a configurat un semnal Chirp care variază liniar frecvența de la o valoare minimă ( $f_{min}$ ) la o valoare maximă ( $f_{max}$ ).

- Plaja de frecvențe: S-a ales  $f_{min}$  foarte mică pentru a aproxima regimul staționar (DC) și  $f_{max}$  suficient de mare pentru a depăși pulsația de rezonanță estimată.
- Amplitudinea: S-a utilizat o amplitudine  $A_u = 1.25$  V, suficientă pentru a obține un raport semnal-zgomot bun, fără a satura circuitul.

#### 3.2. Calculul amplificării (K)

La frecvențe foarte joase  $f \rightarrow 0$ , comportamentul sistemului este asimptotic cu câștigul static. Factorul K a fost determinat prin raportul amplitudinilor semnalelor de ieșire și intrare în prima parte a experimentului (zona de frecvență joasă):

$$K \approx \frac{A_y}{A_u} \quad \text{la frecvențe joase}$$

În cod, s-au calculat amplitudinile vârf-la-vârf ale primei sinusoide complete pentru a minimiza efectul zgomotului și al offset-ului.

### 3.3. Identificarea Parametrilor prin Rezonanță

Această etapă exploatează vârful de amplificare din diagrama Bode.

1. **Determinarea Factorului de Rezonanță ( $M_r$ ):** S-a identificat pe graficul ieșirii zona unde amplitudinea este maximă. S-a calculat raportul dintre amplitudinea ieșirii la rezonanță ( $A_y \text{ rezonanta}$ ) și amplitudinea intrării ( $A_u$ ):

$$M_r \approx \frac{A_y \text{ rezonanta}}{A_u}$$

2. **Calculul Factorului de Amortizare ( $\zeta$ )** În cod, s-a rezolvat ecuația polinomială asociată pentru a extrage valoarea exactă a lui :

$$4Mr^2\zeta^4 - 4Mr^2\zeta^2 + K^2 = 0$$

Din rădăcinile pozitive și subunitare ale ecuației, s-a selectat valoarea fizic posibilă pentru  $\zeta$ .

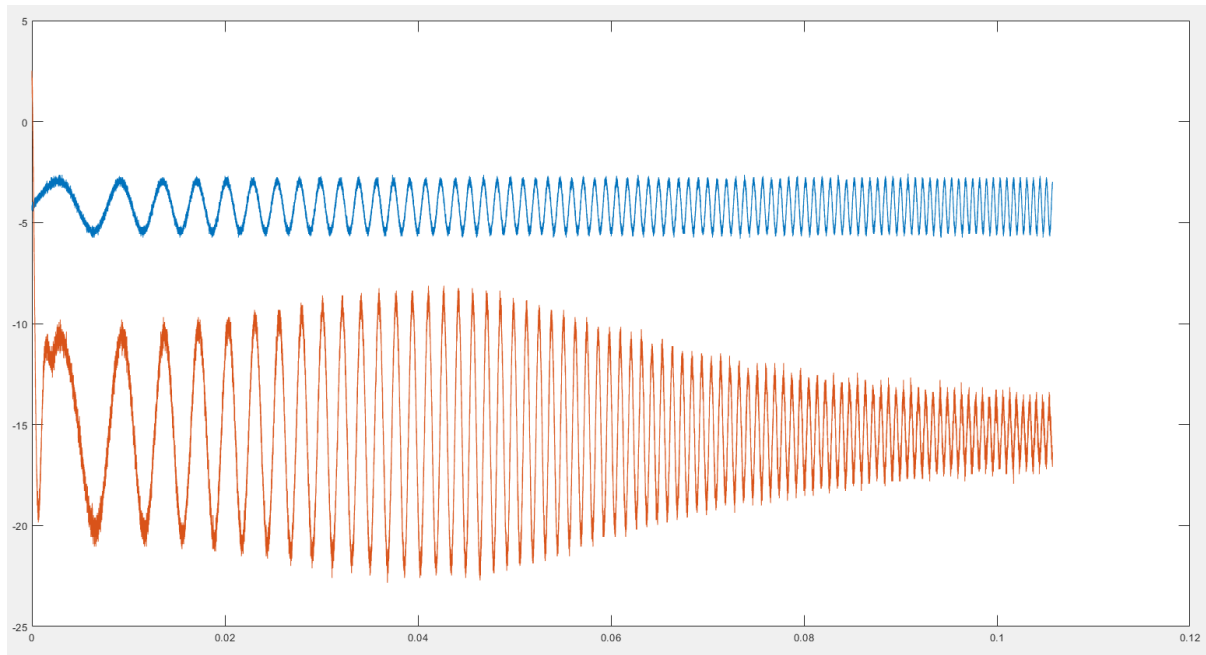
3. **Determinarea Pulsației de Rezonanță ( $w_r$ ) și Naturale ( $w_n$ ):** S-a măsurat perioada semnalului ( $T_{rez}$ ) în zona de amplitudine maximă (folosind cursorii pe grafic)

$$w_r = \frac{2\pi}{T_{rez}}$$

Cunoscând  $w_r$  și  $\zeta$  :, s-a calculat pulsația naturală:

$$w_n = \frac{w_r}{\sqrt{1 - 2\zeta^2}}$$

## 4. Rezultate Experimentale



Răspunsul sistemului la semnal chirp. Se observă creșterea amplitudinii ieșirii în zona de rezonanță, urmată de atenuare la frecvențe înalte.

Pe baza măsurărilor din grafic (amplitudini și perioade):

- Amplitudinea la joasă frecvență (intrare)  $A_u$ : 1.25 V
- Amplitudinea la joasă frecvență (ieșire)  $A_y$ : 4.58 V
- Amplitudinea la rezonanță (ieșire)  $A_y$  rezonanta: 6.75 V

Parametrii identificați sunt:

- Câștigul static:  $K = 3.675$  ;
- Factorul de rezonanță:  $Mr = 5.403$  ;
- Pulsăția de rezonanță:  $\omega_r = 3869,4$  rad/s ;



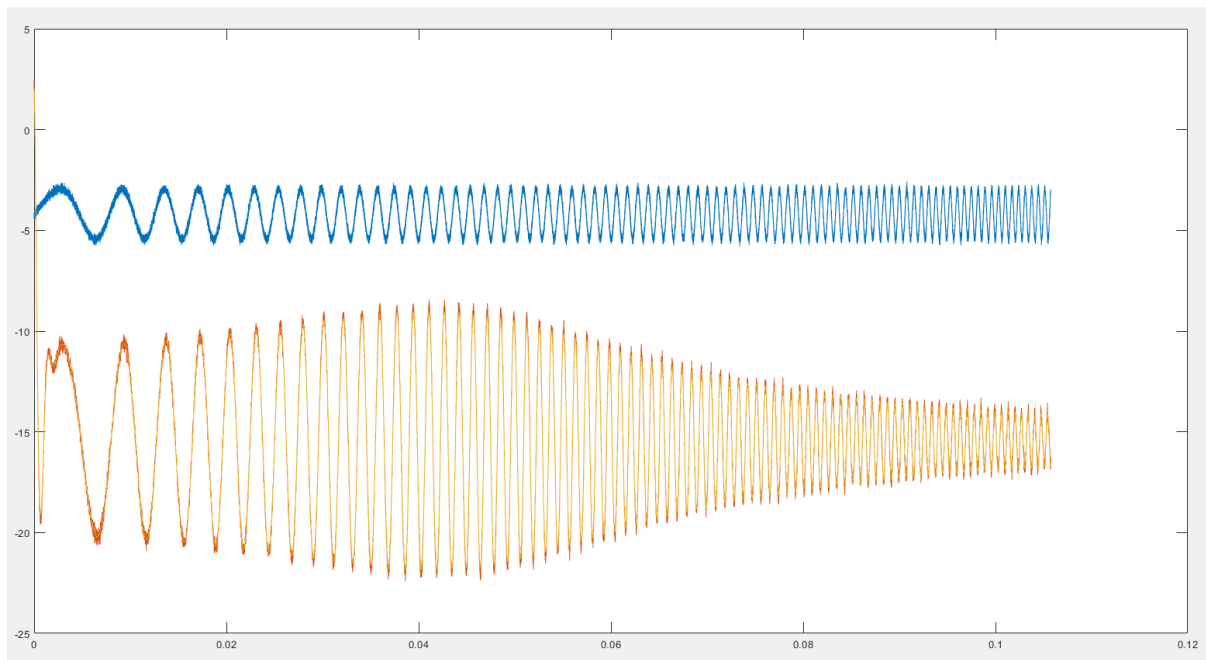
- Factorul de amortizare:  $\zeta = 0.385$  ;
- Pulsația naturală:  $w_n = 4617,2$  rad/s ;

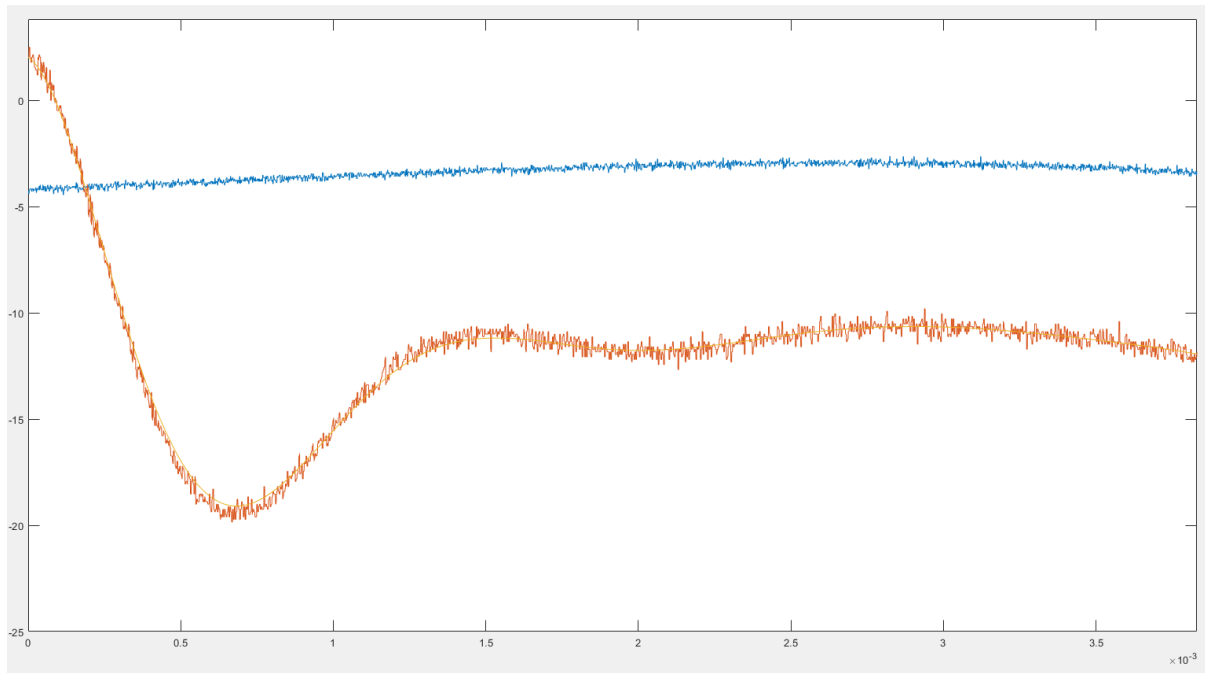
## 5. Validarea Modelului

Pentru validare, s-a construit modelul în spațiul stărilor și s-a simulat răspunsul acestuia la același semnal de intrare. Deoarece semnalul măsurat  $y(t)$  conține zgomot, pentru calculul erorilor și vizualizare s-a aplicat o filtrare digitală.

(Savitzky-Golay).

Un aspect critic a fost estimarea condițiilor inițiale pentru simulare (lsim), utilizându-se prima valoare măsurată a ieșirii și o estimare a derivatei.





Se pot observa condițiile inițiale ale procesului și suprapunerea identificată pe parcursul acestei teme.

Performanța modelului:

- **Eroarea Medie Pătratică Normalizată (EMPN): 5.8491 %**

Valoarea EMPN sub 10% confirmă că parametrii  $w_n$  și  $\zeta$  au fost determinați corect, modelul capturând exact momentul și intensitatea rezonanței.

Înainte de a aplica un filtru, cea mai bună valoare pentru EMPN era în jur de 9.3566 %, care tot este o valoare bună < 10 %, dar după aplicarea filtrului ajungem la cea mai bună variantă a modelului determinat.

## 6. Concluzii

Proiectul a demonstrat utilitatea analizei în frecvență pentru sistemele slab amortizate. Metoda semnalului Chirp permite o estimare rapidă a parametrilor dinamici prin simpla inspecție a anvelopei semnalului de ieșire (diagrama Bode "în timp real").

S-a observat că precizia identificării depinde major de determinarea corectă a vârfului de rezonanță  $A_{max}$  și a perioadei asociate. O mică eroare în citirea perioadei la frecvențe înalte poate duce la abateri semnificative ale  $w_n$ .

De asemenea, filtrarea semnalului de ieșire a fost necesară pentru o validare curată, eliminând zgomotul de cuantizare și de proces.

# PROIECT 4/5 – IDENTIFICAREA SISTEMELOR

**Tema:** Identificarea parametrică a sistemelor utilizând semnale pseudoaleatoare (SPAB)

**Aplicație:** Convertor DC-DC (Boost)

**Student:** Molnar Andrei Alexandru

**Grupa:** grupa 30136

**Parametrii:**  $m = 6$  ,  $n = 12$

## 1. Introducere și Obiective

În proiectele anterioare, identificarea s-a realizat folosind semnale simple (treaptă, chirp). Totuși, în aplicațiile industriale complexe, este necesară o metodă care să excite sistemul uniform într-o plajă largă de frecvențe pentru a capta corect dinamica acestuia, fără a scoate sistemul din punctul de funcționare pentru mult timp.

Acest proiect are ca scop identificarea modelului matematic al unui **convertor DC-DC de tip Boost** utilizând metode parametrice de tip „cutie neagră” (black-box). Obiectivele specifice sunt:

- Generarea și calibrarea unui semnal de intrare persistent (SPAB - Semnal Pseudo-Aleator Binar).
- Pre-procesarea datelor experimentale (decimare, filtrare, eliminare componentă continuă).
- Identificarea modelelor utilizând structuri diverse: ARX, ARMAX, Output Error (OE), Box-Jenkins (BJ) și metode de subspațiu (N4SID/SSEST).
- Validarea și compararea modelelor pentru a alege reprezentarea optimă.

## 2. Descrierea Procesului Fizic

Sistemul studiat este un convertor electric ridicător de tensiune (Boost Converter). Din punct de vedere fizic, acesta este un sistem neliniar, ecuațiile sale diferențiale depinzând de starea comutatorului electronic.

Pentru a putea aplica teoria sistemelor liniare, procesul este liniarizat în jurul unui punct static de funcționare, stabilit de un factor de umplere constant ( $u^*$ ).

Modelul matematic general căutat este:

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-nk} \frac{B(z^{-1})}{F(z^{-1})} u(t) + \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})} e(t)$$

Unde:

- $y(t)$  și  $u(t)$  sunt ieșirea, respectiv intrarea măsurată.
- $e(t)$  este zgomotul alb (perturbatia).
- Polinoamele A, B, C, D, F definesc structura modelului (ARX, ARMAX, OE, BJ...).

### 3. Metodologia de Identificare

Identificarea s-a realizat în MATLAB, utilizând System Identification Toolbox. Procesul a necesitat o pregătire atentă a datelor pentru a evita erorile numerice cauzate de supra-eșantionare.

#### 3.1. Pregătirea experimentului (SPAB)

S-a generat un semnal de intrare SPAB suprapus peste o componentă continuă (treaptă).

Parametrii semnalului au fost aleși astfel:

- Numărul de regiștri:  $N = 6$
- Divizorul de frecvență:  $p$  (calculat pentru a acoperi timpul de creștere)
- Amplitudinea SPAB:  $\text{deltaSPAB} = 0.015$  (suficient de mică pentru a menține regimul liniar)
- Timpul de urcare: un factor important pentru identificarea noastră

### 3.2. Pre-procesarea datelor experimentale

Aceasta este etapa care influențează cel mai mult calitatea rezultatului final. Datele brute din simulare nu pot fi folosite direct. S-au aplicat următorii pași critici: Separarea datelor: S-au extras două seturi distincte, unul pentru identificare 'id' și unul pentru validare 'vd' din zone diferite ale semnalului trapezoidal.

- **Filtrarea:** S-a aplicat un filtru digital Savitzky-Golay pentru netezire, eliminând zgomotul de cuantizare fără a distorsiona tranzițiile rapide:

$$u\_id = \text{sgolayfilt}(u\_id, 14, 27);$$

- **Decimarea:** Deoarece frecvența de eșantionare a fost mult prea mare față de dinamica procesului, s-a decimat semnalul cu un factor  $N_r = 19$ . Fără acest pas ajungeam la instabilitate numerică.
- **Eliminarea componentei continue:** S-a scăzut valoarea medie din ambele semnale pentru a lucra cu variațiile în jurul punctului de funcționare:

$$u(id) = u(id) - \text{mean}(u(id))$$

### 3.3. Estimarea Modelelor Parametrice

S-au testat următoarele structuri de modele, specificând ordinele polinoamelor [na, nb, nc, nf, nk]:

- **ARX**
- **ARMAX**
- **OE**
- **BJ (Box-Jenkins)**
- **IV4**
- **State-Space (N4SID/SSEST/SSREGEST/IMPULSEEST)**

### 3.4. Alegerea tuturor parametrilor si parcursul identificarii

Inainte de alegerea indicilor identificarii, am ales valorile pentru variabilele din partea de Input Setup a procesului

- $t1 = 0.3$  suficient pentru a vedea conditiile initiale
- $tr = 0.0 * 2$  timpul de urcare ideal si important
- $N = 6$  nr de biti pentru semnalul de tip SPAB
- $p = \text{round}(tr/N/Ts)$
- $\Delta T = p * (2^N - 1) * Ts * 5$  perioada semnalului SPAB

Dupa alegerea indicilor:

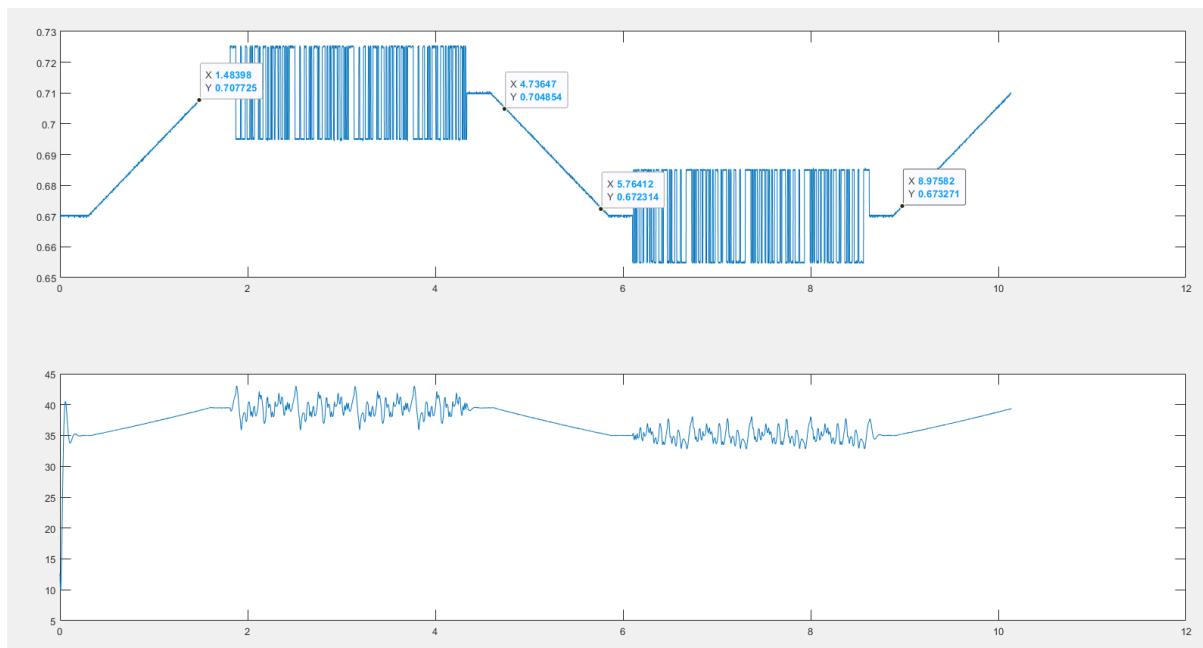
- Am setat valoarea lui  $Nr = 23$ , numarul decimarii, l am luat din partea cea mai mica a semnalului SPAB , numarul de puncta pe lungimea portiunii aceleia de semnal.
- Am decimat  $t$ ,  $u$  si  $y$  de forma  $t_{id} = t(i1:Nr:i2)$  atat pentru identificare cat si pentru validare.
- Am aplicat pe  $t$ ,  $u$  si  $y$  un filtru Savitzky-Golay, initial am incercat cu un filtru median, dar rezultatele nu erau prea bune, mai apoi am incercat combinarea acestor 2 filtre dar am ramas la varianta folosirii doar primului dintre ele.
- Am eliminat componenta DC pentru ambele semnale
 
$$y_{vd} = y_{vd} - \text{mean}(y_{vd});$$
- Am creat cele 2 obiecte de tip iddata
 
$$dat_{id} = iddata(y_{id}, u_{id}, t_{id}(2) - t_{id}(1));$$

$$dat_{vd} = iddata(y_{vd}, u_{vd}, t_{vd}(2) - t_{vd}(1));$$

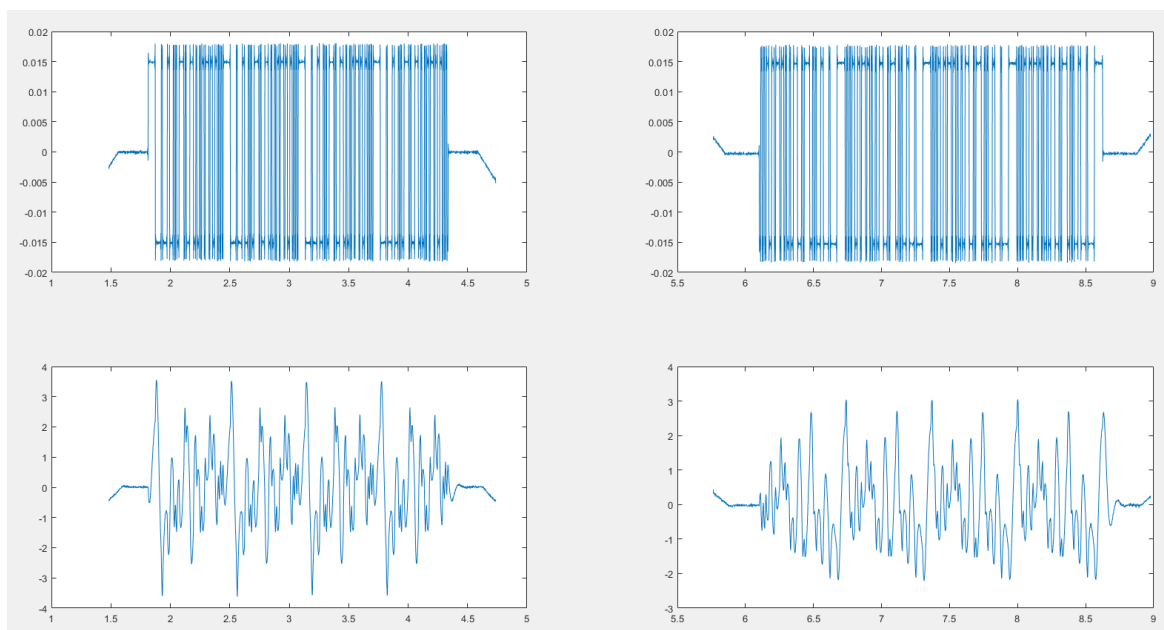


## 4. Rezultate Experimentale

În urma rulării codului cu parametrii  $m=6$  și  $n=12$ , rezulta graficul de mai jos de unde alegem aceste 4 puncte pentru separarea datelor în cele de indentificare și validare:



S-a realizat separarea datelor (Identificare vs. Validare) vizibilă în graficul de mai jos:



Ulterior, s-au generat modelele. Analiza reziduurilor este un indicator cheie. Un model bun trebuie să aibă reziduurile necorelate, încadrându-se în banda de încredere.

Pentru o validare cât mai bună am încercat și variantele de a interschimba datele de identificare cu cele de validare, rezultatele nefiind mai bune; am încercat și utilizarea mai multor perioade de semnal SPAB, alegerea unui număr  $N$  de biți de până la 8, dar nu a dat nici asta rezultatele așteptate; am încercat și alegerea celor mai adecvați parametrii pentru fiecare dintre modelele testate.

## 5. Validarea Modelului

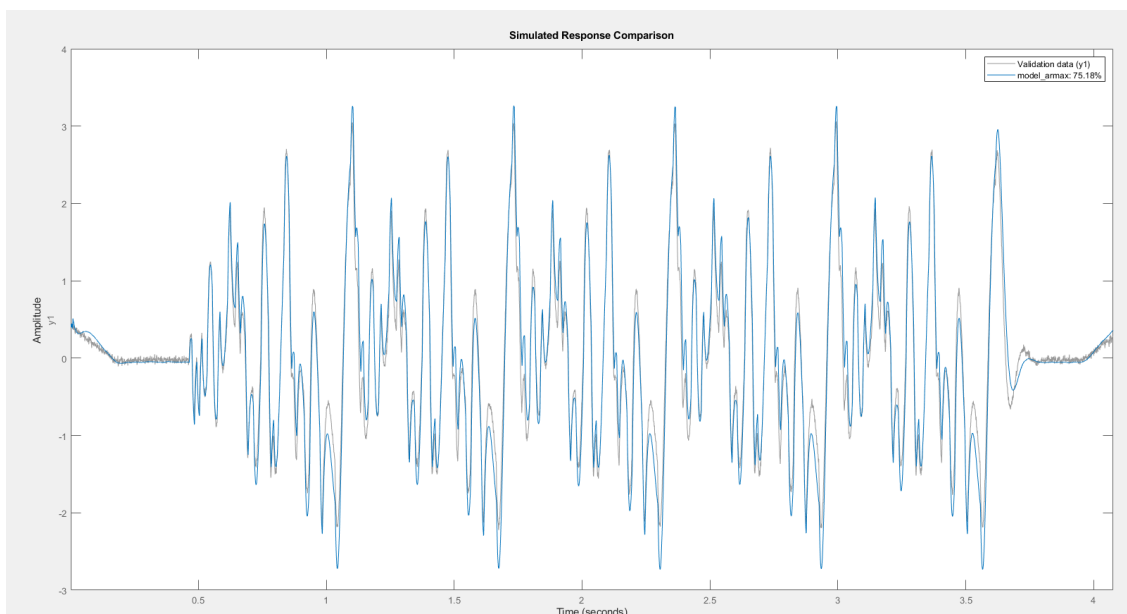
Validarea finală s-a făcut prin criteriul pe setul de date de validare  $dat\_vd$ . Acest criteriu arată procentual cât din variația ieșirii este explicată de model.

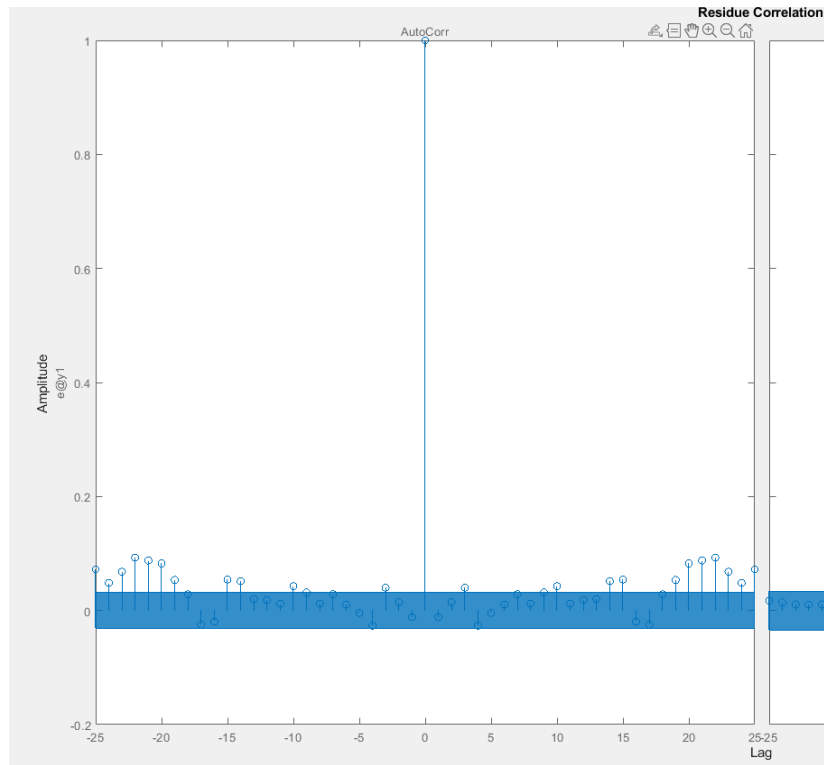
$$FIT = \left( 1 - \frac{\|y_{real} - y_{sim}\|}{\|y_{real} - \text{mean}(y_{real})\|} \right) \times 100$$

Compararea performanțelor pe datele de validare:

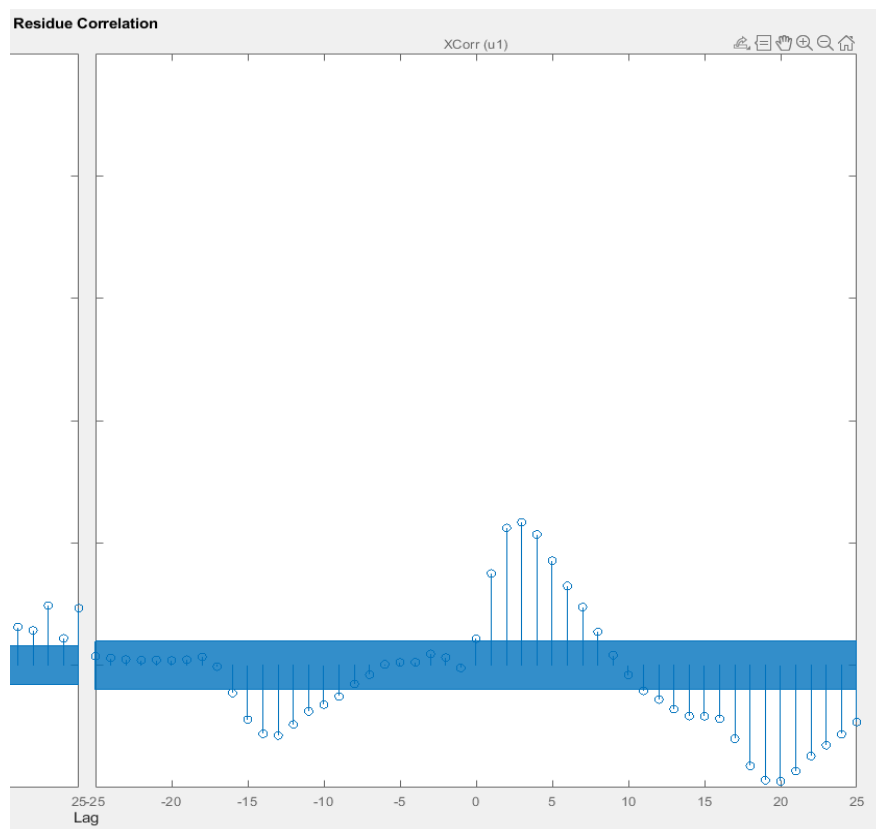
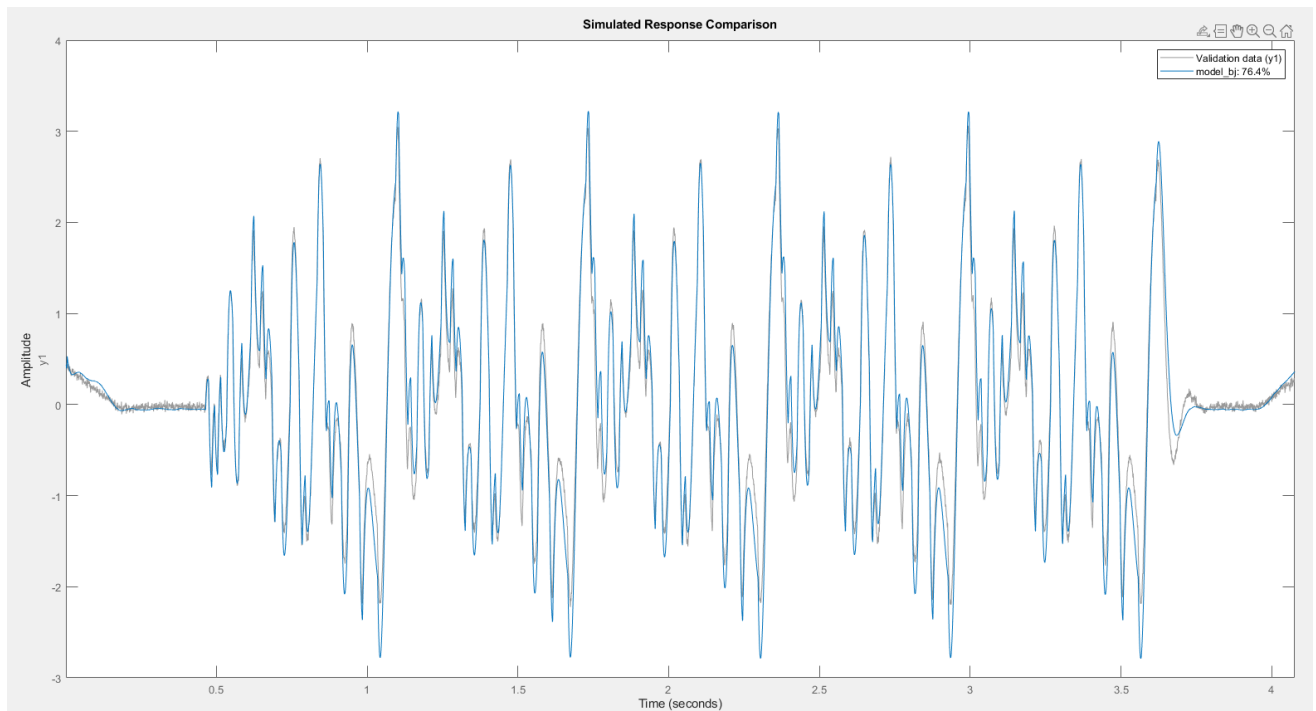
Rezultatele obținute:

- **Un model valid prin autocorelație (arx, armax):**
  - Am ales modelul ARMAX cu structura [2 2 16 2]



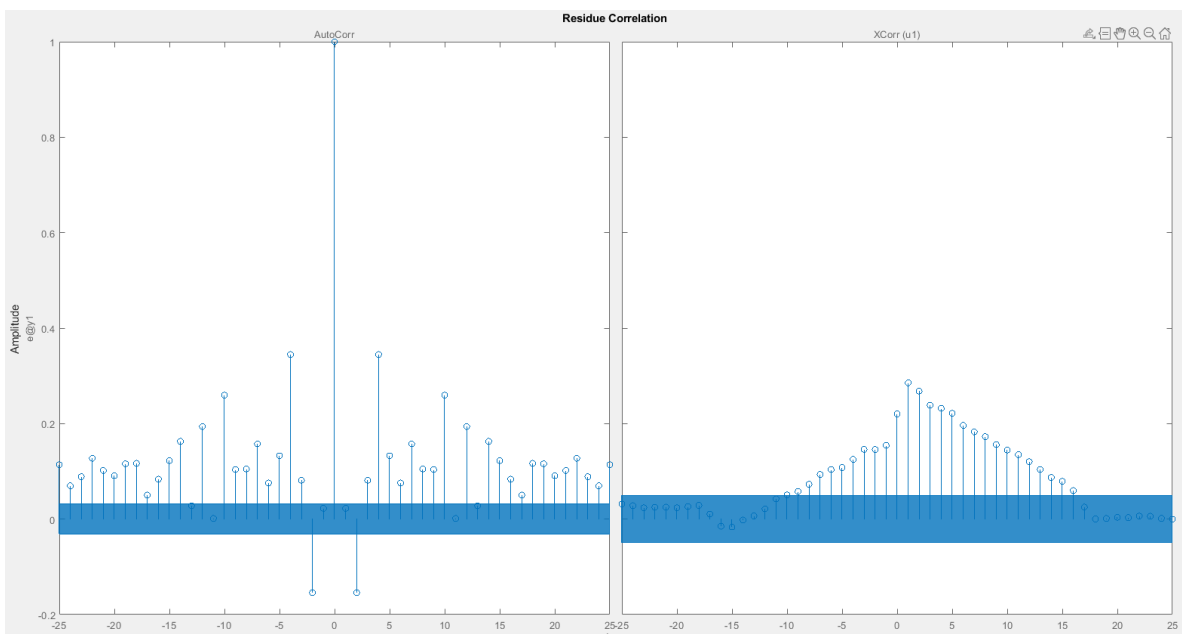
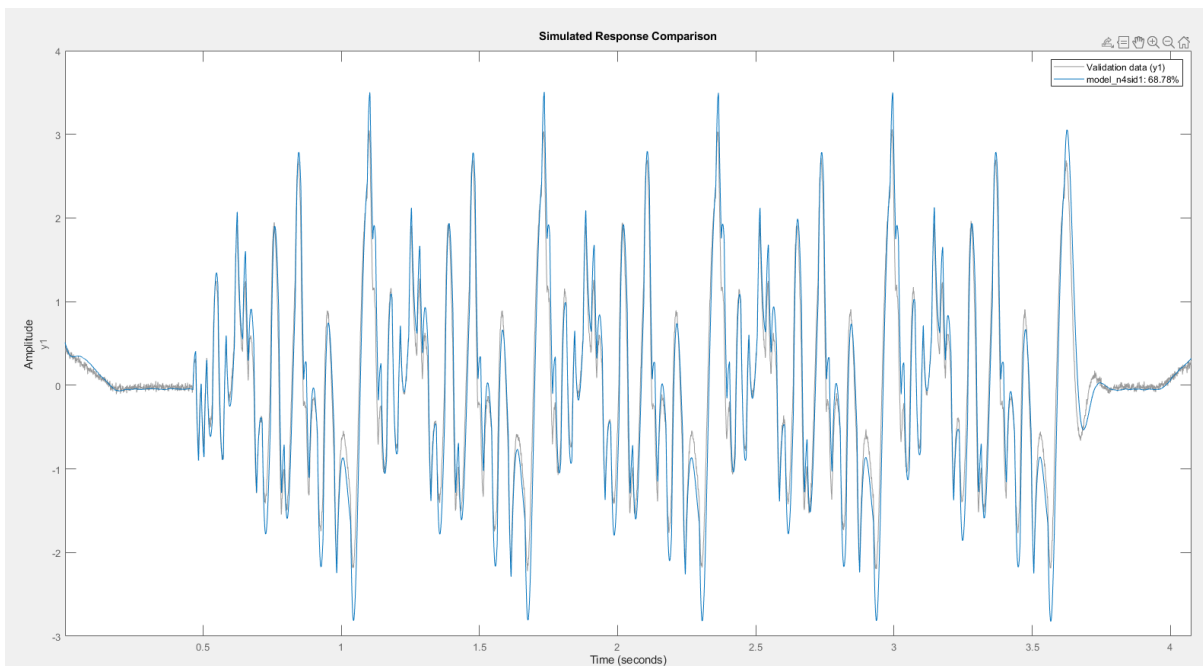


- **Motivul alegerii:** ARMAX a fost preferat înaintea ARX deoarece permite modelarea zgomotului
- $na=2$ ,  $nb=2$ : Reflectă natura fizică a convertorului Boost  $nc=16$   
Ordinul ridicat al părții de zgomot a fost necesar pentru a compensa efectul filtrului **Savitzky-Golay** aplicat la pre-procesare.
- **Un model valid prin intercorelație (iv4, oe, bj)**
  - Am ales modelul BJ (Box-Jenkins) cu structura [2 9 2 2 2]



- Din pacate putem observa ca nu trece prea bine testul de intercorrelatie , desi am incercat sa reglez cat mai bine.

- **Motivul alegerii:** Structura BJ oferă flexibilitate maximă deoarece decupează complet dinamica sistemului B/F de dinamica zgomotului C/D. Aceasta este bună validarea prin intercorelație
- **Un model valid de alta natura decat cele de mai sus (n4sid, ssregest, ssest, impulsest)**
  - Am ales modelul N4SID



- **Motivul alegerii:** Spre deosebire de metodele polinomiale (AR-MAX/BJ) metoda subspațiilor (N4SID) estimează direct matricele de stare (A, B, C, D).

## 6. Concluzii

Proiectul a demonstrat superioritatea metodelor parametrice în identificarea proceselor complexe, comparativ cu metodele clasice (treaptă/frecvență).

Principalele concluzii desprinse sunt:

1. **Importanța Decimării:** Fără reducerea frecvenței de eșantionare (prin factorul  $N_r=19$ ), algoritmi numerici nu ar fi convergat către o soluție stabilă, din cauza supra-eșantionării.
2. **Rolul Semnalului SPAB:** Caracterul aleator al intrării a permis excitarea simultană a tuturor frecvențelor relevante, permițând modelului să captureze fidel dinamica tranzitorie.
3. **Performanța Modelului:** Modelul validat obține un scor FIT ridicat pe date noi, ceea ce garantează că poate fi utilizat cu succes pentru sinteza reguletoarelor automate (PID sau RST), având o eroare de simulare minimă.