



# Proiect II la Identificarea Sistemelor

## Identificarea unei axe acționată cu motor BLDC

3-Ianuarie-2022

Coordonator: Prof.univ.dr.ing. Petru Dobra

Student: Călbează Mihaela-Maria, 30135 AIA-romana

## Cuprins

.....	1
Identificarea unei axe acționate cu motor BDLC .....	3
Obținerea datelor experimentale .....	3
Introducere .....	3
Achiziția datelor de intrare-ieșire .....	5
Desfășurarea experimentului.....	5
Procesarea datelor experimentale .....	5
Validarea modelului .....	6
Vizualizarea datelor experimentale .....	7
Identificarea pentru poziția unghiulară .....	11
Autocorelația:.....	11
Metoda celor mai mici pătrare extinsă (MCMMPPE) – ARMAX .....	11
Intercorelația: .....	14
Metoda variabilelor instrumentale (IV) - iv4.....	14
Identificarea pentru viteza unghiulară .....	16
Autocorelația:.....	18
Metoda celor mai mici pătrare extinsă (MCMMPPE) – ARMAX .....	18
Intercorelația: .....	21
Metoda Variabilelor Individuale (IV) – iv4 .....	21
Bibliografie: .....	23

# Identificarea unei axe acționate cu motor BLDC

Obținerea datelor experimentale

Introducere

În Figura 1 este prezentat un CNC acționat cu motor BLDC



*Figura 1. CNC acționată cu un motor BLDC*

Sistemul mecanic de poziționare și sistemul de acționare cu motor BLDC pentru o axă este prezentat în Figura 2.

Motorul este comandat cu ajutorul unui driver de putere comandat în PWM. Viteza unghiulară și poziția se măsoară pe baza semnalelor provenite de la cei trei senzori HALL montați în statorul motorului. Rotorul motorului are cinci perechi de

poli magnetici, iar caracteristicile electro-magnetice ale motorului sunt reprezentate in Figura 3.

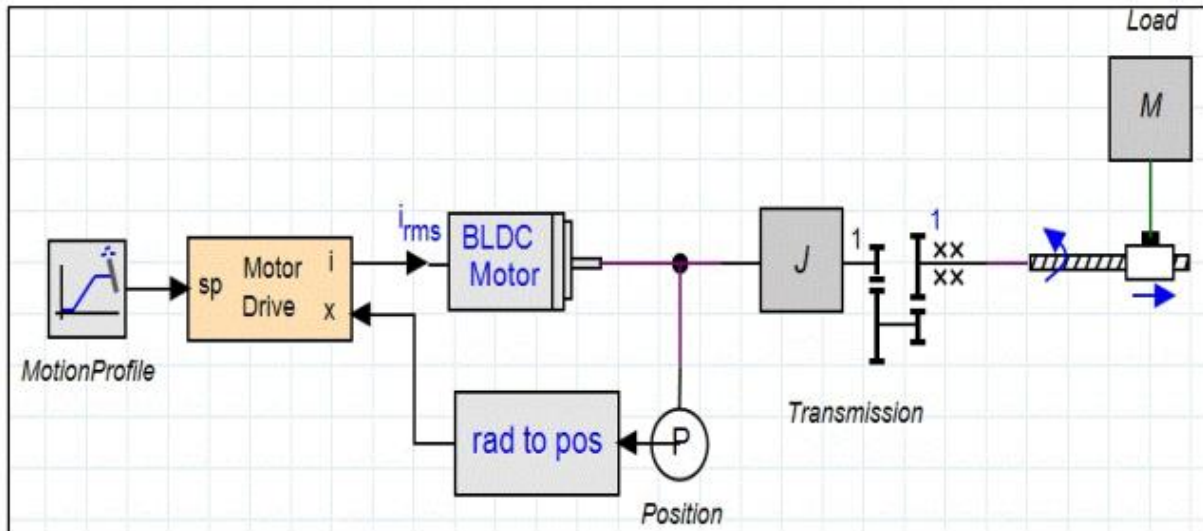


Figura 2. Modelul sistemului de acționare și poziționare al unei axe

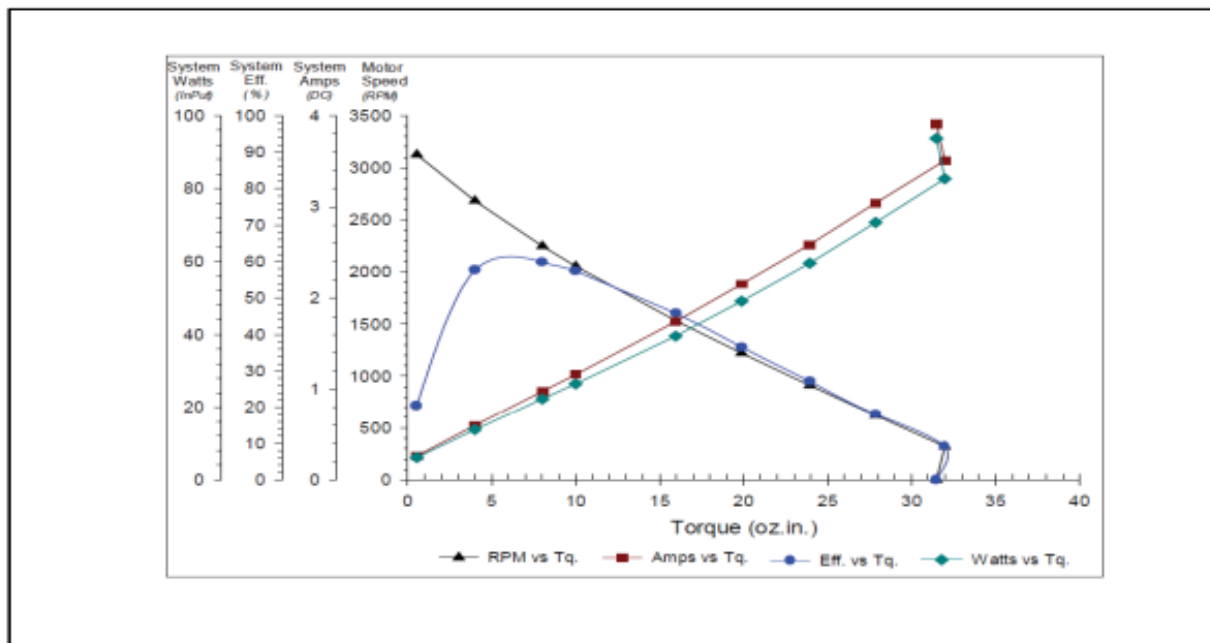


Figura 3. Caracteristicile electro-mecanice ale motorului BLDC

## Achiziția datelor de intrare-ieșire

Utilizând un sistem numeric de comandă se generează semnalele de comandă pentru motorul BLDC (SPAP + SP) și se achiziționează datele intrare-ieșire în vederea procesării ulterioare (comandă (factor de umplere), curent ( $i$ ), viteza unghiulară ( $\omega$ ) și poziția unghiulară ( $\theta$ )).

### Desfășurarea experimentului

1. Se alimentează ansamblul driver + motor BLDC cu  $U_a = 24V$
2. Se efectuează următorul experiment:
  - A.1. Se generează un semnal de comandă sinusoidal peste care se suprapune SPAB având caracteristicile corelate cu dinamica ansamblului „motor BLDC + axă”
  - A.2. Se vizualizează și se măsoară sincron intrarea și ieșirile, obținând datele experimentale:  $[t_k, u_k, \omega_k, \theta_k]$   $k = 1, 2, \dots$

## Procesarea datelor experimentale

Vizualizarea datelor experimentale utilizând mediul Matlab.

În funcție de datele experimentale obținute ( $[t_k, u_k, \omega_k, \theta_k]$   $k = 1, 2, \dots$ ) se pot efectua următoarele operații: filtrare antidistorsiune de tip medie alunecătoare, eliminarea componentelor continue staționare sau cvasistaționare, scalarea intrărilor și ieșirilor.

Se vor determina funcțiile de transfer ale ansamblului „motor BLDC + axa”, utilizând metode de indentificare parametrică (MCMMPR, MCMMPPE, VI, MEP etc)

## Validarea modelului

Validarea modelului determinat se face pe baza erorii de predicție reziduale și pe baza decorelării dintre observații și eroarea de predicție.

De asemenea se va compara răspunsul experimental cu răspunsul modelului la intrarea cu care a fost obținut răspunsul experimental. Să se calculeze eroarea medie pătratică normalizată și eroarea relativă:

$$\mathcal{E}_{MPN} = \frac{\|y - y_{sim}\|}{\|y - \bar{y}\|}$$
$$\mathcal{E}_r = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^N (y_k - y_k^M)^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^N y_k^2}}$$

- Unde  $y$  este vectorul măsurătorilor,  $y^M$  răspunsul modelului și  $\bar{y}$  este valoarea medie a vectorului măsurătorilor.

# Vizualizarea datelor experimentale

Vizualizarea datelor experimentale se face utilizând Matlab.

Am importat fișierul cu care am lucrat „Calbeaza.mat”. Pentru afișarea datelor am doua câmpuri „X” și „Y”. Vectorul „X” corespunde domeniului timp, iar în vectorul „Y” se regăsesc valorile intrării, notate cu „u”, vitezei unghiulare, notate cu „vit” și a poziției, notate cu „poz”.

Datele se convertesc în format double pentru a obține o mai bună precizie.

Cod Matlab:

```
load('Calbeaza.mat');  
  
t=double(dx17.X.Data');  
u=double(dx17.Y(1,3).Data'); %intrare (factorul de umplere PWM)  
vit=double(dx17.Y(1,2).Data'); %vit-w-omega-vit unghiulara (y)  
poz=double(dx17.Y(1,1).Data'); %2-pozitia
```

Am afișat datele inițiale:

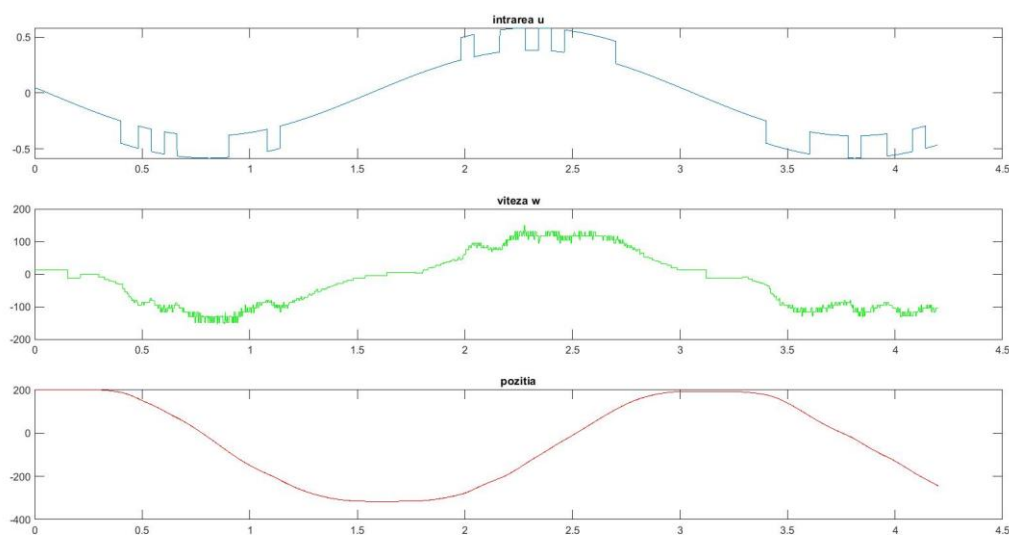


Figura 4. Semnalul inițial : u-intrarea, vit-viteza, poz-poziția

### Cod Matlab:

```
subplot(311), plot(t,u); title('intrarea u');  
subplot(312), plot(t,vit,'g'); title('viteza w');  
subplot(313), plot(t,poz,'r'); title('pozitia');
```

Am plotat toate semnalele într-o singură figură (Figura 5) și am ales cele 4 puncte cu care am împărțit graficul în 2 părți pentru a elimina trecerile prin zero. Pe prima parte am făcut identificare și pe cealaltă am făcut validarea.

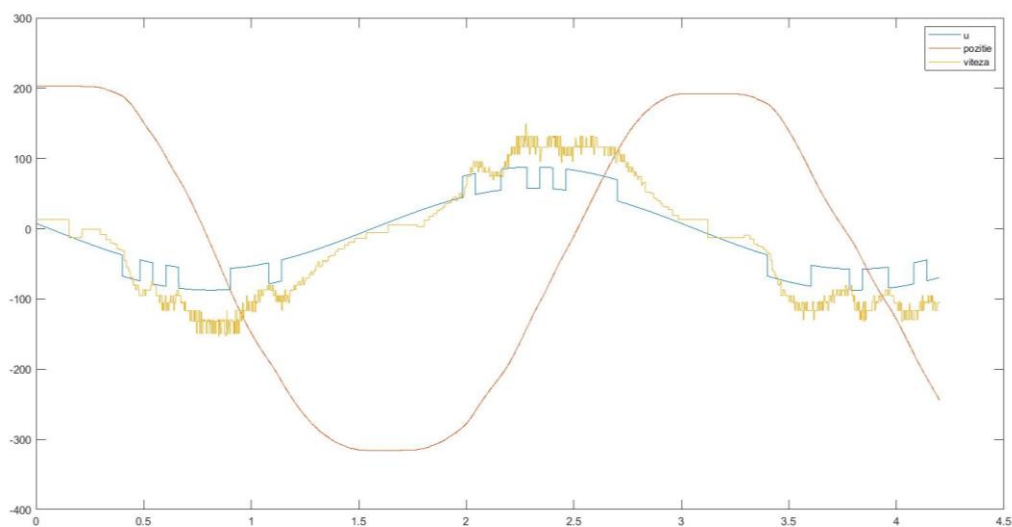


Figura 5. Intrarea-Poziția-Viteza

Am selectat cele 4 puncte și le-am exportat în scriptul Matlab:



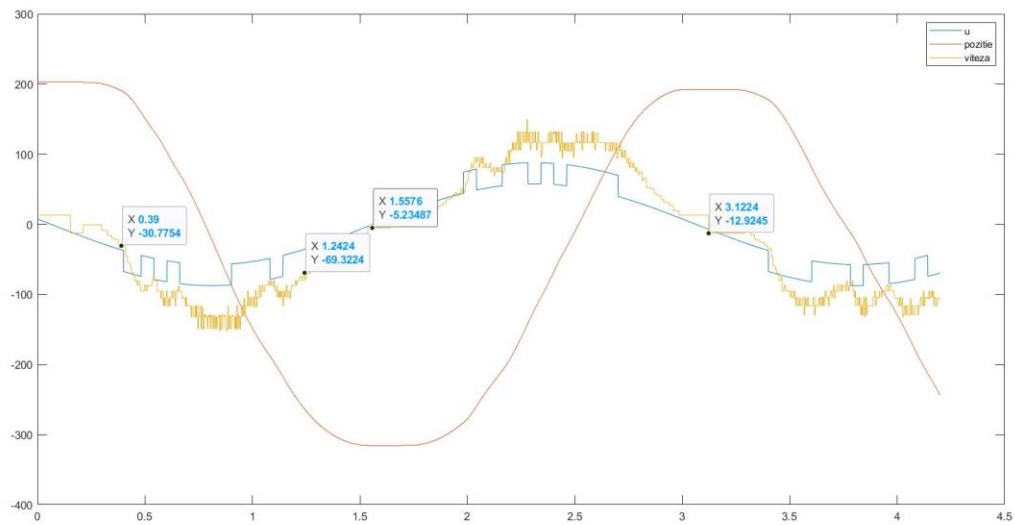


Figura 6. Alegerea aproximativă a punctelor

Pentru identificare avem:

```
%IDENTIFICARE
t1=t(i1:i2); %timpul
u1=u(i1:i2); %intrarea
v1=vit(i1:i2); %viteza
p1=poz(i1:i2); %pozitia
```

Pentru validare avem:

```
%VALIDARE
t2=t(i3:i4); %timpul
u2=u(i3:i4); %intrarea
v2=vit(i3:i4); %viteza
p2=poz(i3:i4); %pozitia
```

Cu funcția „iddata” am creat doua obiecte pentru identificare și validare la viteza:

```
%crearea obiectelor pentru identificarea si validarea la viteza
data_ident_vit=iddata(v1,u1,Te);%datele de identificare
data_val_vit=iddata(v2,u2,Te);%datele de validare
```

Cu funcția „iddata” am creat doua obiecte pentru identificare și validare la poziție:

```
%crearea obiectelor pentru indentificarea si validarea la  
pozitie  
data_ident_poz=iddata(p1,v1,Te); %datele de identificare  
data_val_poz=iddata(p2,v2,Te); %datele de validare
```

## Identificarea pentru poziția unghiulară

### Autocorelația:

#### Metoda celor mai mici pătrare extinsă (MCMMP) – ARMAX

- Cunoscută sub numele de Auto-Regressive method (metodă recursivă)
- Este o metodă recursivă bazată pe criteriul pătratic de minimizare (Moving Average method), ceea ce presupune existența unui model aplicat perturbațiilor (with eXogenous input)
- Sunt modelate și ieșirile exogene (atât intrarea de control  $u$ , cât și perturbațiile  $e$ )

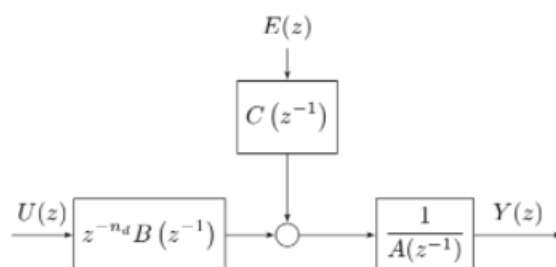


Figura 15. Schema bloc a metodei ARMAX

- Modelul discret de tip proces + perturbație:  
$$A(z^{-1}) \cdot Y(z) = z^{-n_d} B(z^{-1}) \cdot U(z) + C(z^{-1}) \cdot \varepsilon(z)$$
- Identificarea constă în estimarea coeficienților polinoamelor  $A$ ,  $B$  și  $C$ . Parametrii de structură ai sistemului sunt  $n_A = \deg(A)$ ,  $n_B = \deg(B)$ ,  $n_C = \deg(C)$  și  $n_d$  numărul taților de întârziere.

-  $n_A=1, n_B=1, n_C=1, n_D=0$

Cod Matlab:

```
modelAUTOpoz = armax(data_ident_poz,[1 1 1 0])  
figure,  
compare(data_val_poz,modelAUTOpoz);  
title('armax');  
figure,  
resid(modelAUTOpoz,data_val_poz,5);  
title('armax');
```

Se poate observa o potrivire a simulării de 99.25%, adică o eroare de 0.75%.

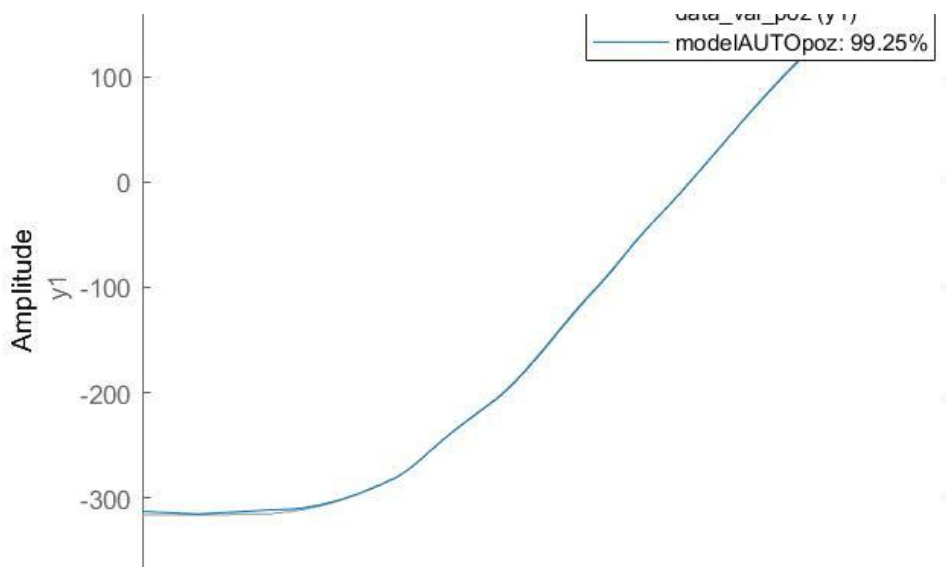


Figura 8. Compararea răspunsului experimental cu răspunsul modelului

Se poate observa o potrivire de 99.25%, iar testul de autocorelație se poate trece cu condiția măririi benzii de încredere

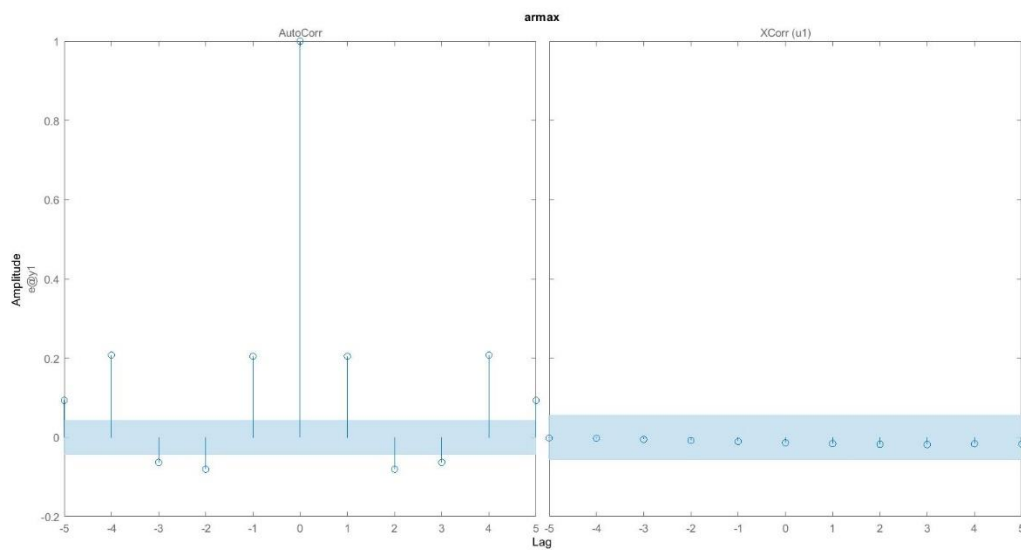


Figura 9. Validare ARMAX

Funcția de transfer aferente metodei ARMAX:

$$H(s) = \frac{5.1139}{s}$$

## Intercorelația:

### Metoda variabilelor instrumentale (IV) - iv4

- Cunoscută sub denumirea Instrumental Variables
- Pornește de la aceeași structură ca metoda ARX, diferența fiind utilizarea unor valori „noi” (variabile instrumentale) în vectorul parametrilor.
- Structura corespunzătoare metodei IV:

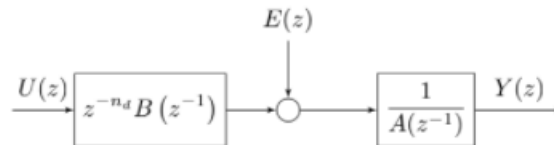


Figura 10. Structura bloc corespunzătoare metodei IV

- Modelul discret de tip proces + perturbație:  
$$A(z^{-1}) \cdot Y(Z) = Z^{-nd} B(z^{-1}) \cdot U(z) + \varepsilon(z)$$

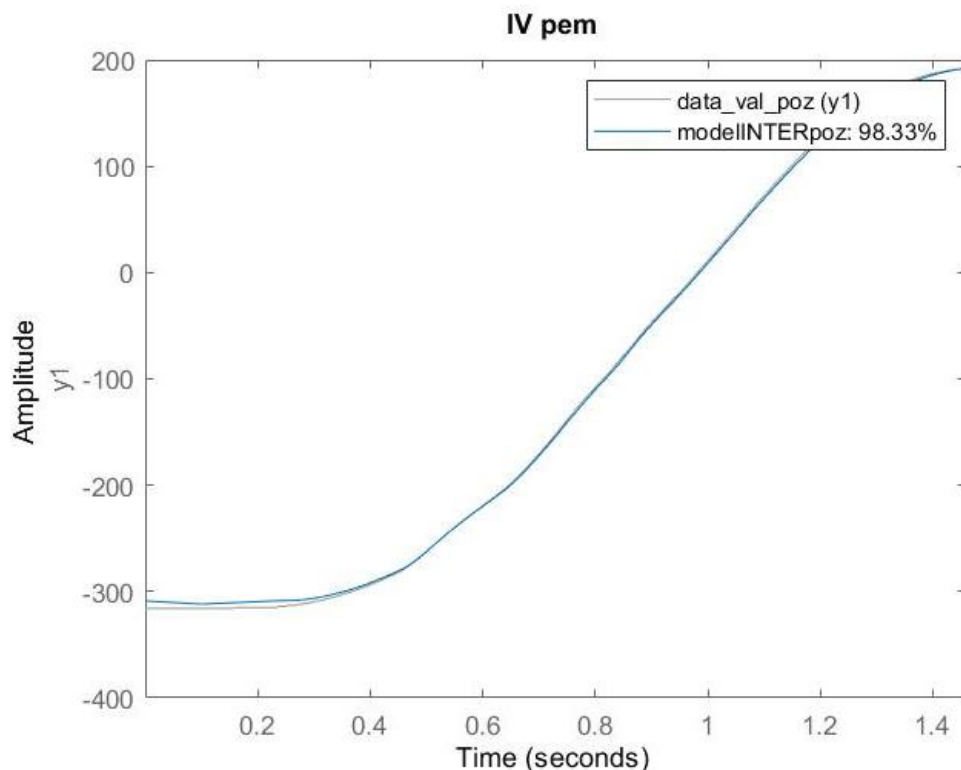


Figura 11. Compararea răspunsului experimental cu răspunsul modelului

Se poate observa o potrivire a simulării de 98.33% după aplicarea rafinării, adică o eroare de 1.67%

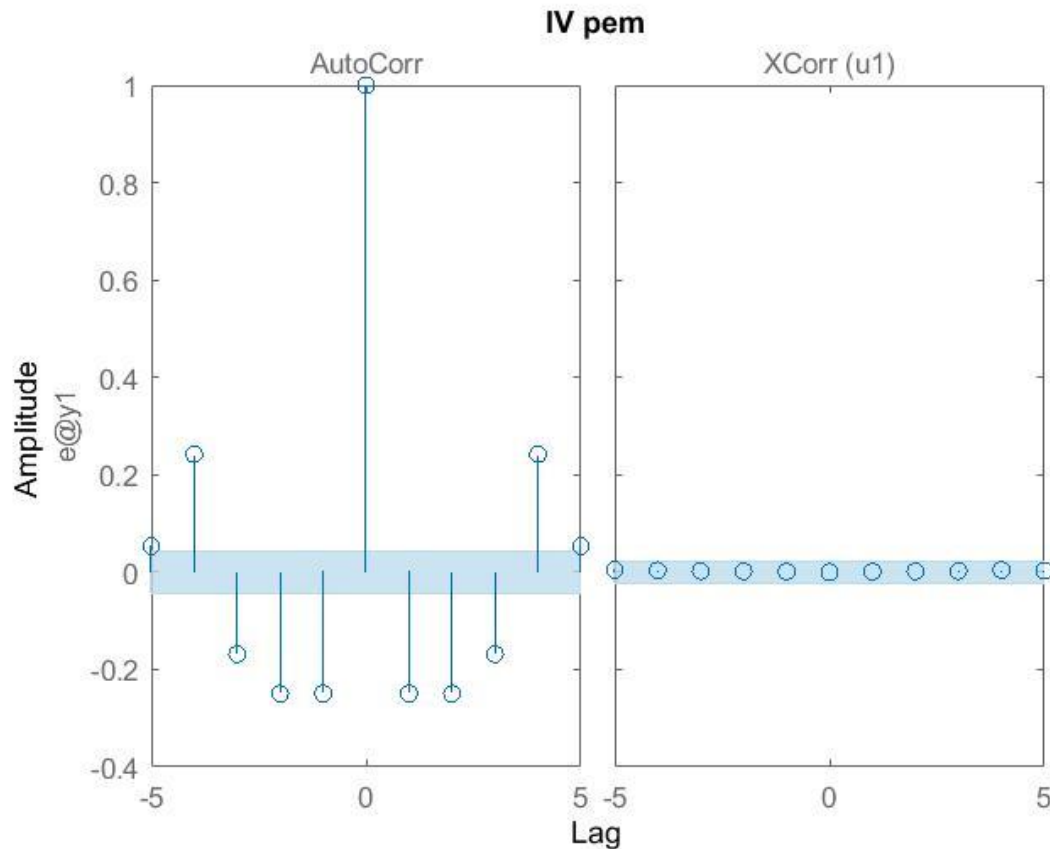


Figura 12. Validarea IV

Observăm o potrivire de 98.35%, iar testul de intercorelație este trecut

Funcția de transfer aferente metodei OE:

$$H(s) = \frac{5.082}{s}$$

## Identificarea pentru viteza unghiulară

- Pentru identificarea pentru viteza unghiulara m-am folosit de filtrarea datelor prin metoda Tukey53h
- Acest filtru este o extensie a filtrului median
- Tukey53h se calculează astfel:

1. Se aplică o filtrare mediană de lungime 5 semnalului inițial.

2. Se aplică o filtrare mediană de lungime 3 semnalului obținut la pasul anterior

3. Se aplică o fereastră Hanning semnalului obținut la pasul 2:

$$u^{(3)}[k] = \frac{1}{4}(u^{(2)}[k-1] + 2 \cdot u^{(2)}[k] + u^{(2)}[k+1])$$

4. Vectorul final se extinde la capete cu câte 4 valori în stânga și în dreapta, folosind prima, respectiv ultima valoare

Cod Matlab:

```
function out=Tuckey53H(in)
out=medfilt1(in,5); %aplicare filtru median de lungime 5
out=medfilt1(out,3); %aplicare filtru median de lungime 3
N=length(out);
%aplic o fereastră Hanning pentru semnalul deja filtrat
out_aux=zeros(1,N);
for i=2:N-1
    out_aux(i)=(1/4)*out(i-1)+(1/2)*out(i)+(1/4)*out(i+1);
end
out_aux(1)=out_aux(2);
out_aux(N)=out_aux(N-1);
out=out_aux
end
```



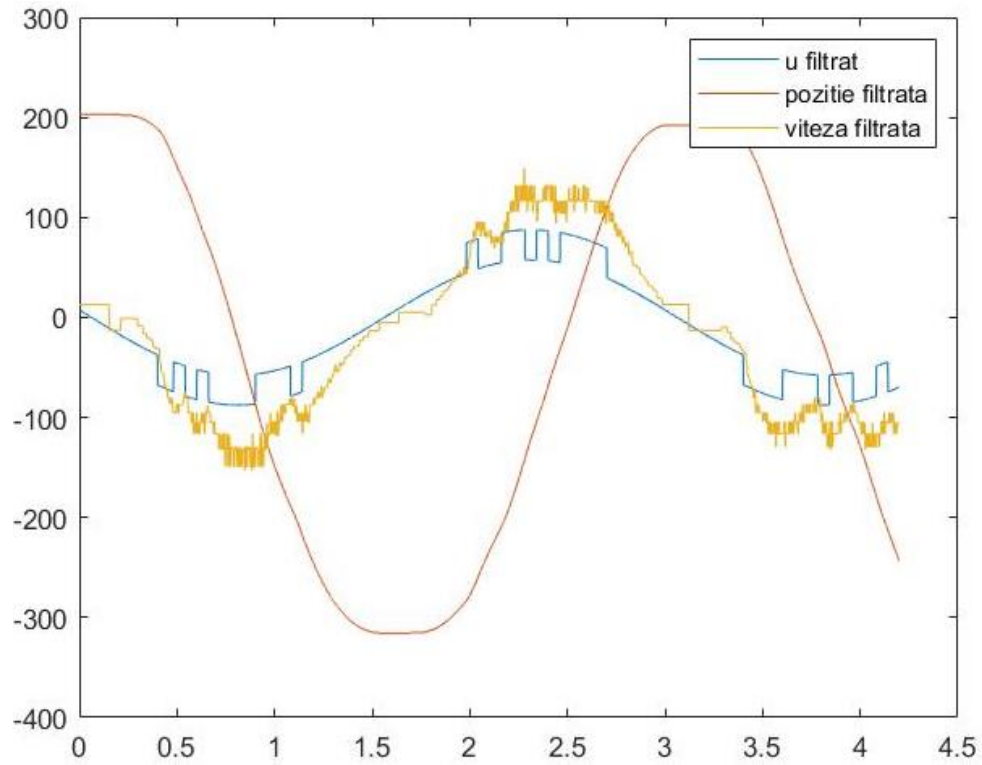


Figura 13. Semnalul inițial filtrat: u-intrarea filtrată, vit-viteza filtrată, poz-poziția filtrată

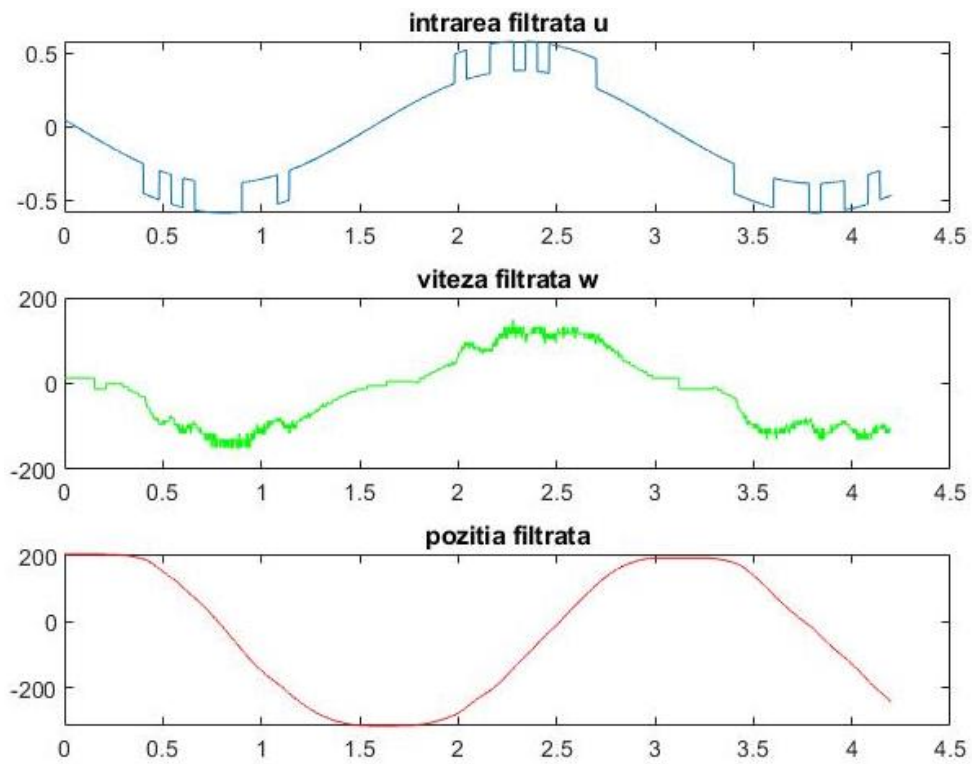


Figura 14. Intrarea filtrată-Poziția filtrată-Viteza filtrată

## Autocorelația:

### Metoda celor mai mici pătrare extinsă (MCMMPPE) – ARMAX

- Cunoscuta sub numele de Auto-Regressive method (metodă recursivă)
- Este o metodă recursivă bazată pe criteriul pătratic de minimizare (Moving Average method), ceea ce presupune existența unui model aplicat perturbațiilor (with eXogenous input)
- Sunt modelate și ieșirile exogene (atât intrarea de control  $u$ , cât și perturbațiile  $e$ )

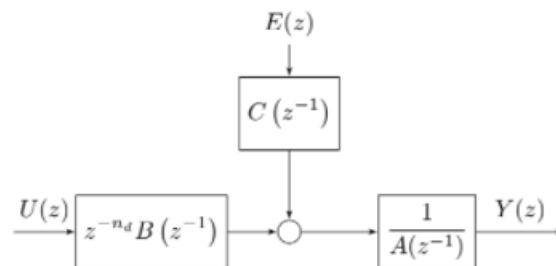


Figura 15. Schema bloc a metodei ARMAX

- Modelul discret de tip proces + perturbație:  
$$A(z^{-1}) \cdot Y(z) = z^{-n_d} B(z^{-1}) \cdot U(z) + C(z^{-1}) \cdot \varepsilon(z)$$
- Identificarea constă în estimarea coeficienților polinoamelor  $A$ ,  $B$  și  $C$ . Parametrii de structură ai sistemului sunt  $n_A = \deg(A)$ ,  $n_B = \deg(B)$ ,  $n_C = \deg(C)$  și  $n_d$  numărul tăciilor de întârziere.

Cod Matlab:

```
modelAUTOvit = armax(data_ident_vit,[1 1 1 1])
subplot(121)
compare(data_val_vit,modelAUTOvit);
title('armax');
subplot(122)
resid(modelAUTOvit,data_val_vit,5);
title('armax');
```

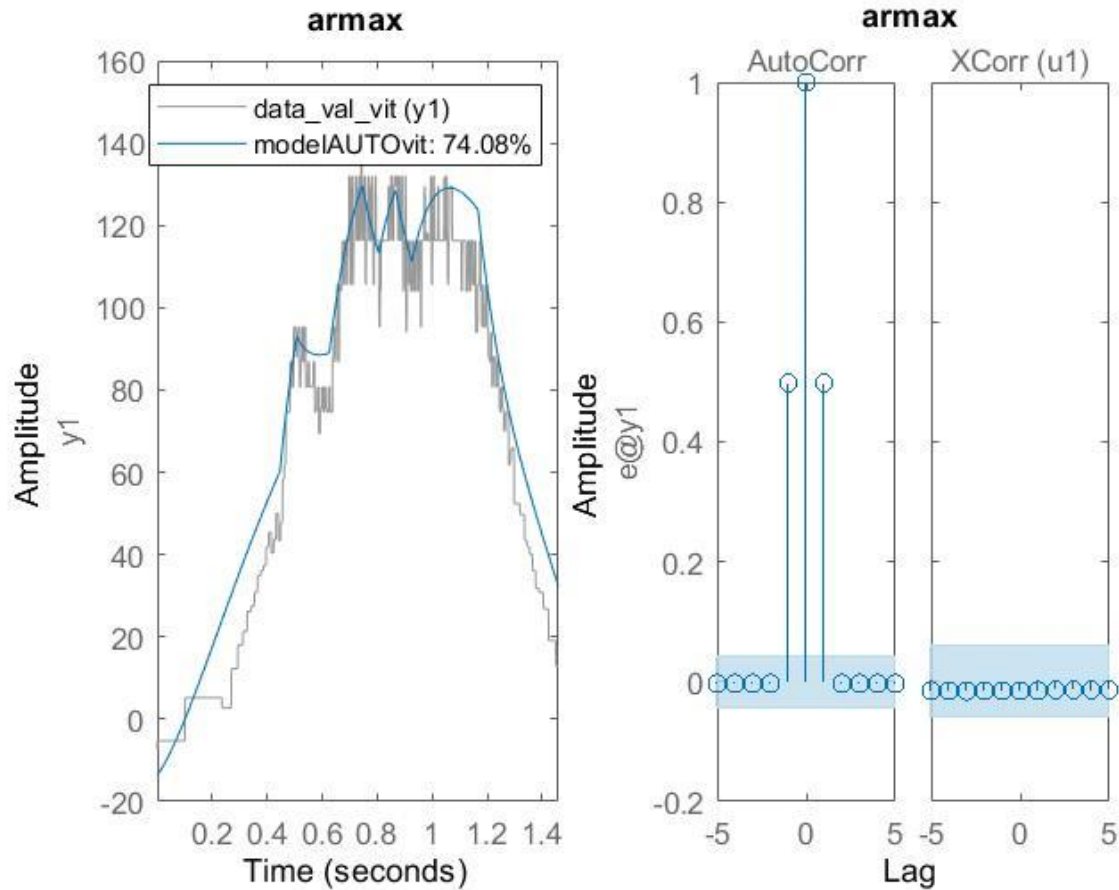


Figura 16. Compararea răspunsului experimental cu răspunsul modelului

Se poate observa o potrivire a simulării de 74.08%, adică o eroare de 25.92%.

Observăm o potrivire de 74.08%, iar testul de autocorelație trecut

Funcția de transfer aferente metodei ARMAX:

$$H(s) = \frac{2759.6}{s + 11.09}$$

## Intercorelația:

### Metoda Variabilelor Individuale (IV) – iv4

- Cunoscută sub denumirea Instrumental Variables
- Pornește de la aceeași structură ca metoda ARX, diferența fiind utilizarea unor valori „noi” (variabile instrumentale) în vectorul parametrilor.
- Structura corespunzătoare metodei IV:

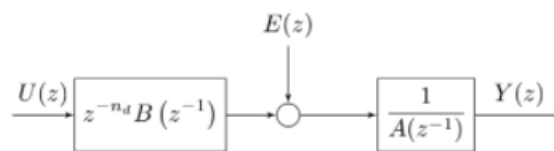


Figura 10. Structura bloc corespunzătoare metodei IV

- Modelul discret de tip proces + perturbație:  
$$A(z^{-1}) \cdot Y(z) = z^{-n_d} B(z^{-1}) \cdot U(z) + \varepsilon(z)$$

Cod Matlab:

```
modelINTERvit = iv4(dv_id_dec, [2 1 1])  
figure,  
subplot(121);  
compare(dv_vd_dec, modelINTERvit);  
title('iv4');  
subplot(122);  
resid(modelINTERvit, dv_vd_dec, 5);  
title('iv4');
```

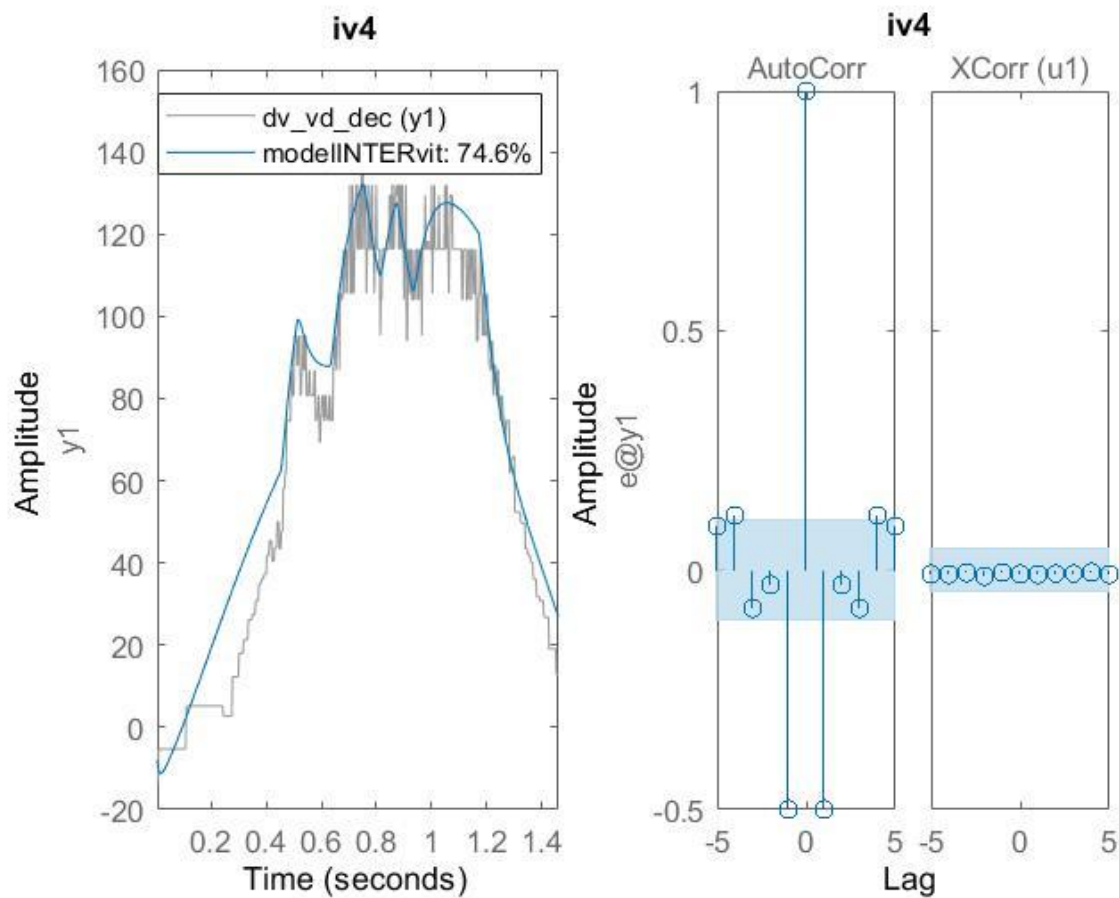


Figura 18. Compararea răspunsului experimental cu răspunsul modelului

- aceste date au fost decimate obținând nivelul de suprapunere de 74.6%, adică o eroare de 25.4%

Funcția de transfer aferente funcției iv4:

$$H(s) = \frac{-4772.6 (s-4668)}{(s+953.6) (s+96.06)}$$

## Bibliografie:

1. Matlab 2021b
2. Cursul IS
3. Îndrumătorul de laborator IS