UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA FACULTATEA DE AUTOMATICĂ SI CALCULATOARE SPECIALIZAREA: AUTOMATICĂ SI INFORMATICĂ APLICATĂ

PROIECT IDENTIFICAREA SISTEMELOR INDENTIFICAREA UNEI AXE ACTIONATE CU MOTOR BLDC

Student: Ghiran Lorena Roxana

Grupa: 30131

Coordonator:

Prof. Dr. Ing. Dobra Petru

ANUL UNIVERSITAR: 2019-2020

CUPRINS

1. Identificarea unei axe actionate cu motor BLDC

1.1 Obtinerea datelor experimentale

În figurile următoare sunt prezentate: un CNC acționat cu motoare BLDC, sistemul mecanic de poziționare și sistemul de acționare cu motor BLDC pentru o axă.

Figura 1.1 CNC cu motoare BLDC

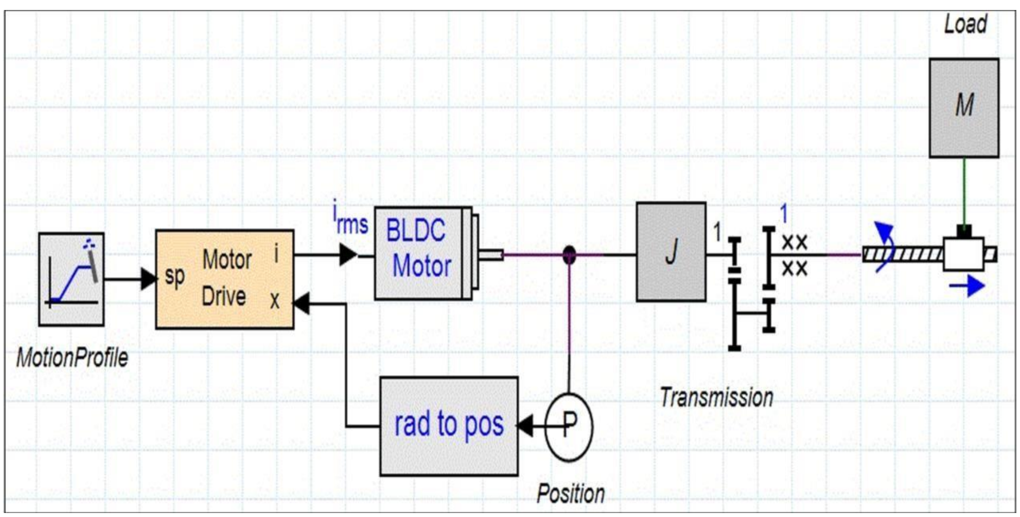

Figura 1.2 Sistemul mecanic de poziționare și sistemul de acționare

Motorul este comandat cu ajutorul unui driver de putere comandat in PWM. Viteza unghiulară și poziția se masoară pe baza semnalelor provenite de la cei trei senzori Hall montați în statorul motorului. Rotorul motorul BLDC are cinci perechi de poli magnetici, iar caracteristicile electro-mecanice ale motorului sunt prezentate în figura de mai jos.

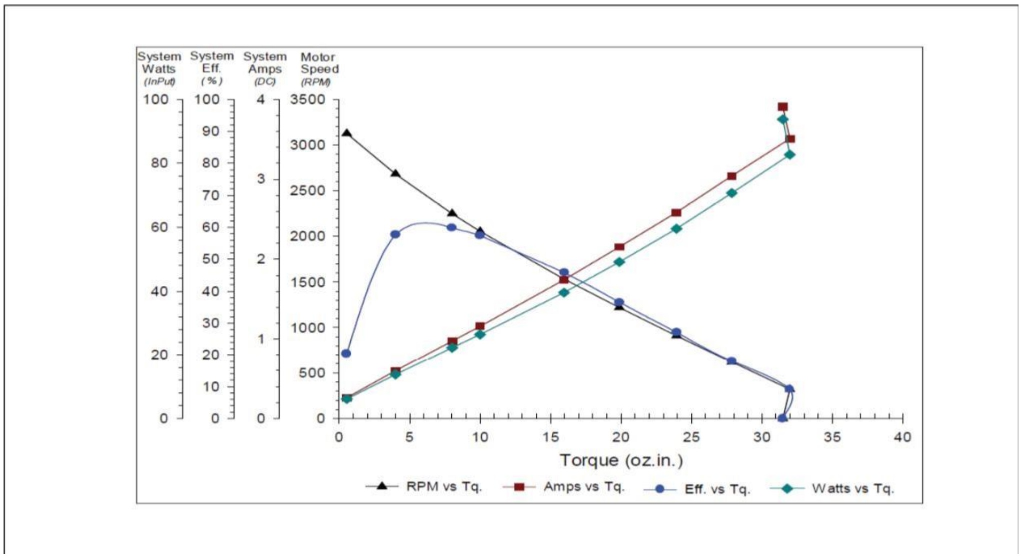

Figura 1.3 Caracteristicile electro-mecanice ale motorului

Aparatura utilizata: sursa de alimentare, multimetru, driver de putere osciloscop, sistem numeric de comanda si achizitie a datelor.

Utilizand un sistem numeric de comanda se genereaza semnale de comanda pentru motorul BLDC si se achizitioneaza datele de intrare si cele de iesire in vederea procesarii ulterioare (comanda, factor de umplere PWM, d), viteza unghiulara(rad/sec, ω) si pozitia unghiulara(impulsuri, Θ theta).

Se alege un timp de esantionare, mai exact diferenta dintr-o oricare doua constante de timp consecutive Te=t(2)-t(1). In cazul acesta avem **Te=4.000e-04 sec (0.4 milisecunde).**

1.2 Vizualizara datelor

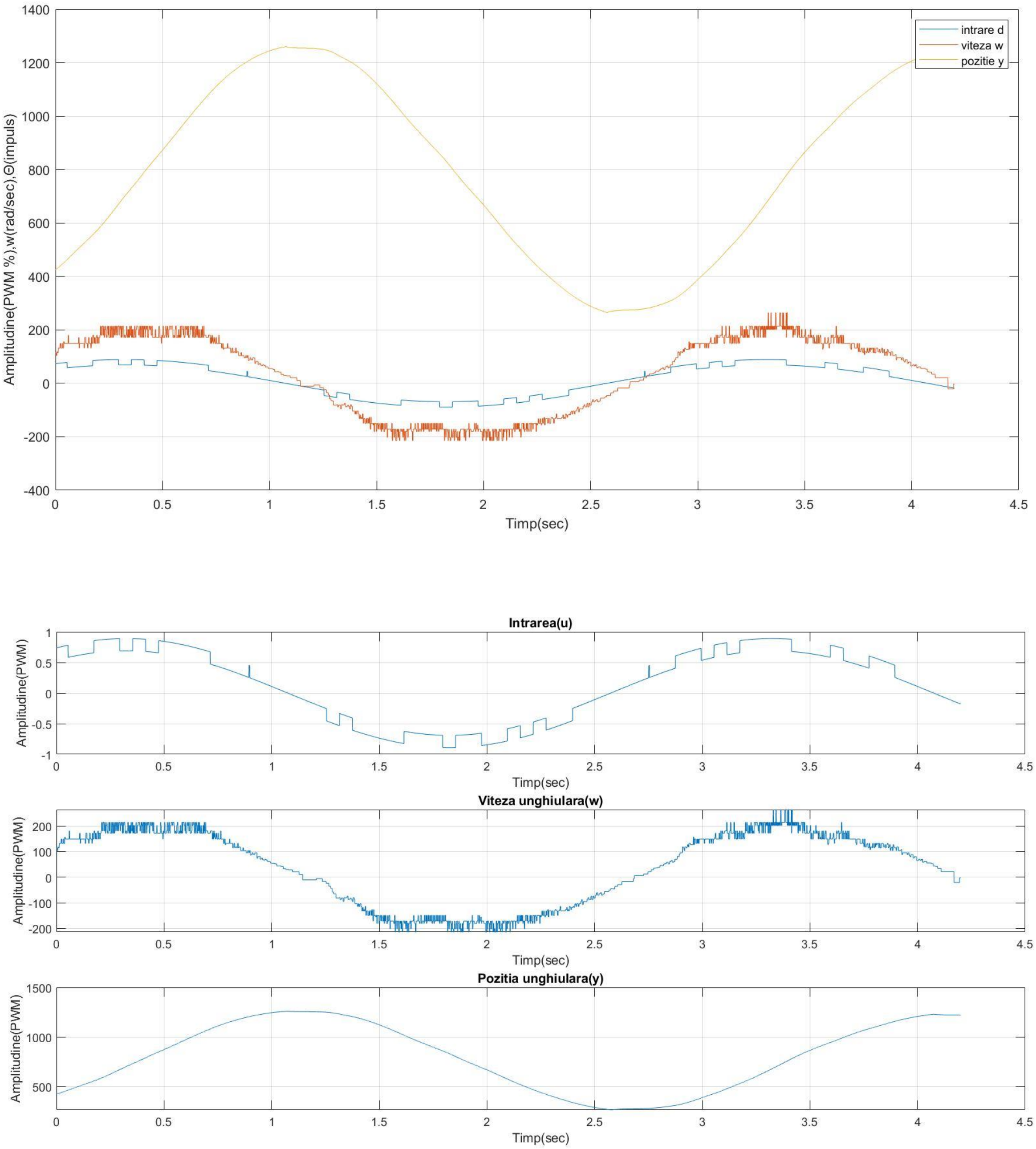

Figura 2.1 Factorul de umplere, viteza unghiulară și poziția

Figura 2.1 reprezintă vizualizarea datelor experimentale, cu ***u*** s-a notat factorul de umplere a PWM-ului pentru comanda motorului BLDC, cu **w** viteza unghiulară și cu **theta** poziția măsurată în impulsuri , 30 de impulsuri reprezentând o rotație completă.

Deoarece avem zone in semnal unde nu s-au putut citi datele, mai exact la trecerile prin zero, cand motorul se opreste, sunt introduse erori de la senzori. Motorul este teoretic oprit, iar senzorul nu da semnal.

Acolo vom interpola datele ca sa scapam de erorile provocate de schimbarea sensului de rotatie.

Alegem indecsii pentru interpolare:

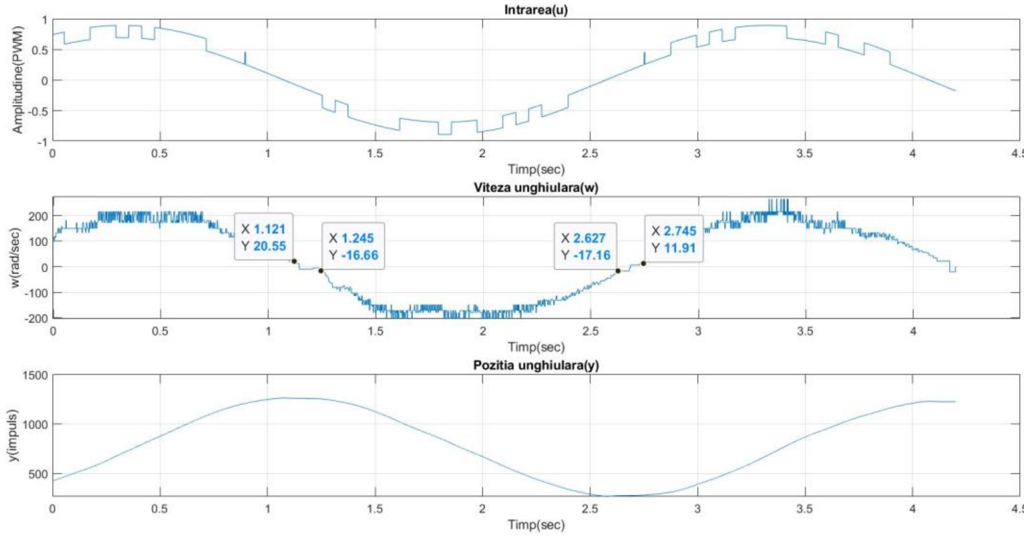

Fig. 2.2 Datele inainte de interpolare

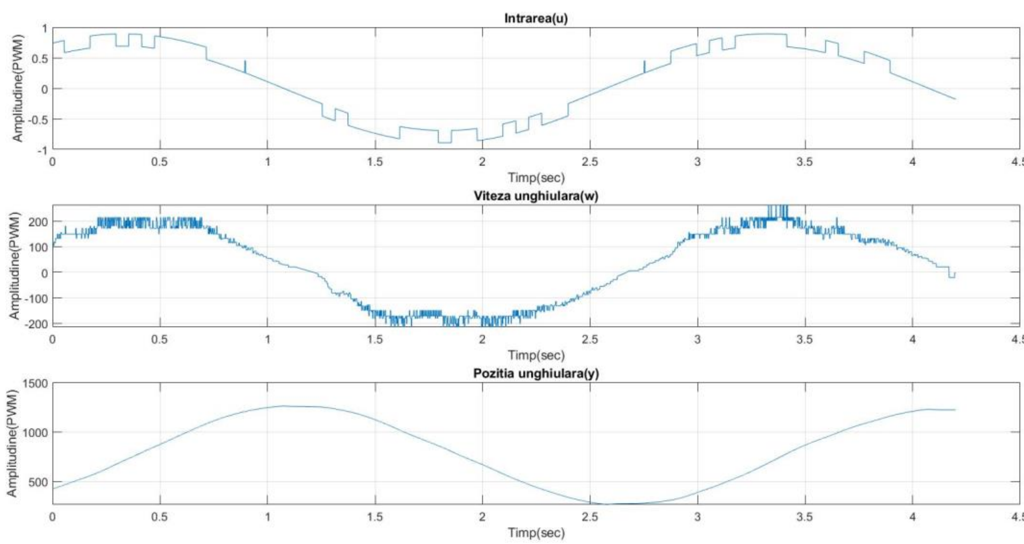

Fig. 2.3 Datele dupa interpolare

```
wi=w;
wi(i1:i2)=interp1( [t(i1) t(i2)], [wi(i1) w(i2)], t(i1:i2));
wi(i3:i4)=interp1( [t(i3) t(i4)], [wi(i3) w(i4)], t(i3:i4));
w=wi;
```

1.3 Identificarea datelor

Pentru identificare am afisat graficul de la viteza cu comanda: plot(t,w) si am ales doi indici i1,i2. Primii doi indecsi i-am ales pentru un sens al axului corespunsator unui sens de miscare.

1.4 Validarea datelor

Pentru validare avem nevoie de indicii i3 si i4 care sunt prezentati mai jos. Validarea se face pe celalalt sens al axului si reprezinta decelerarea.

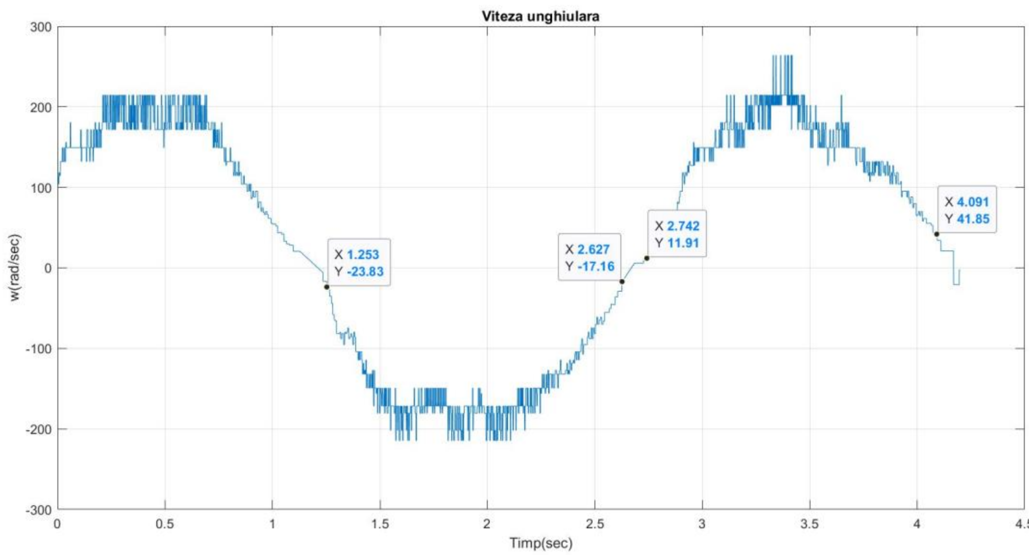

Fig. 4.1 Alegerea datelor de identificare si validare

```
t1=3165;
t2=6478;
t3=6907;
t4=10184;
```

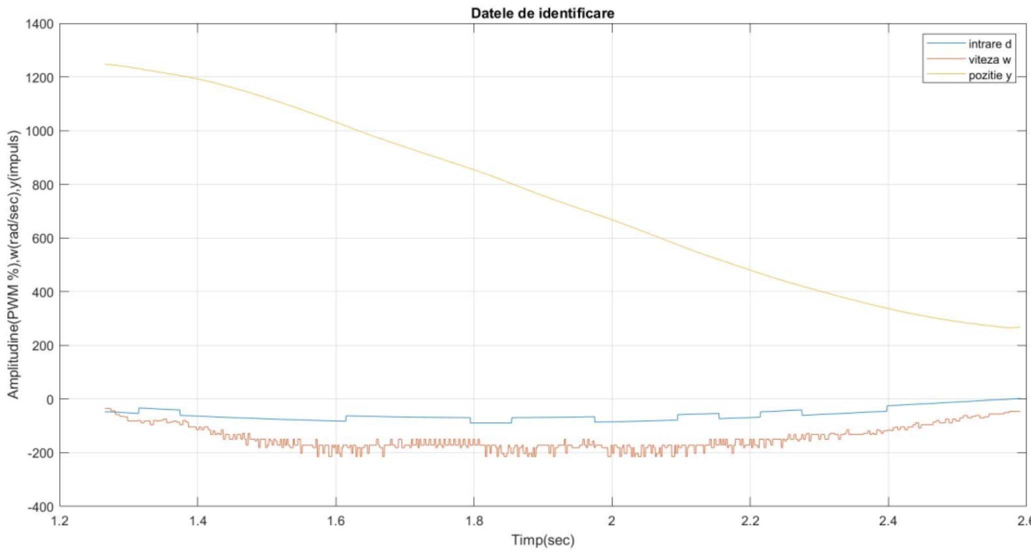

Fig. 4.2 Datele de identificare

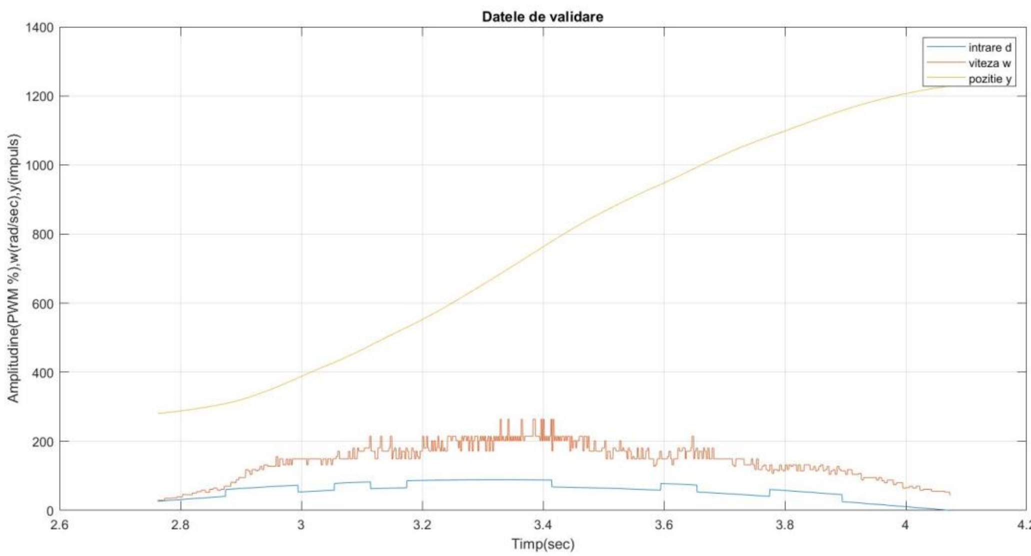

Fig. 4.3 Datele de validare

După ce am făcut identificarea și validarea, declarăm câte o variabila pentru identificare, respectiv validare si o variabila pentru datele generale.

```
data_id_w = iddata(w(t1:t2), d(t1:t2), Te);
data_id_th = iddata(theta(t1:t2), w(t1:t2), Te);
data_v_w = iddata(w(t3:t4), d(t3:t4), Te);
data_v_th = iddata(theta(t3:t4), w(t3:t4), Te);
data_g_w = iddata(w,d,Te);
data_g_th = iddata(theta,w,Te);
```

1.5 Identificarea functiei de transfer

Functia de transfer corespunzatoare este:

$H(s) = \frac{k}{(T_m s+1)(T_e s+1)}$ T_m – constanta de timp mecanica;

T_e – constanta de timp electrica;

Pentru identificarea functiei de transfer de la intrare la viteza si de la viteza la pozitie vom apela metodele: MCMMPE(Metoda celor mai mici patrat extinsa-ARMAX), MEI(Metoda erorii de iesire-OE).

A. MCMMPE-ARMAX(Metoda celor mai mici patrate extinsa)

a) Obtinerea functiei de transfer de la intrare la viteza unghiulara

Metoda MCMMPE a fost dezvoltata pentru identificarea unui sistem a carui model discret este de tip „proces+perturbatie”.

A(z−1)Y (z) = z−ndB(z−1)U(z) + C(z−1)E(z),

Folosind metoda ARMAX trebuie setati parametrii nA, nB, nC, d, unde nA, nB, nC reprezinta gradele polinoamelor modelului corespunzator, iar d reprezinta intarzierea cu un tact introdusa de metoda de discretizare “zoh”.

Astfel am ales nA=1, nB=1, nC=1, d=1.

```
m_armax_w_dec=armax(data_id_w_dec, [1 1 1 1]);
```

In cazul nostru:

A(z) = 1 - z^-1; B(z) = 0.002019; C(z) = 1 - 0.7037 z^-1

Functia de transfer obtinuta in discret este: $H1 = \frac{12.41z{-1}}{1{-}0.9498z{-1}}$

Functia de transfer obtinuta in continuu este urmatoarea: $H1 = \frac{1.666e04}{s+69.94}$

Functia ‘compare’ realizeaza o simularea ca cea facuta de ‘lsim’ si calculeaza eroarea relativa intre graficele comparate, afisand diferenta de 100%e, unde e este eroarea relativa, a carei forumla este norma diferentei intre valoarea masurata si cea calculata, impartit totul la norma valorii masurate inmultita la norma valorii calculate.

Functia ‘resid’ in Matlab returneaza testele de autocorelatie, ‘albirea erorii de predictie’ (ce reprezinta o norma a eroriilor de predictie, normalizate la prima eroare de predicite), si de intercorelatie, ‘decorelarea vectorului de observatii, masuratori, si eroarea de predictie’ (ce reprezinta o norma a produsului intre eroarea de predictie si iesirea calculata, normalizata la produsul normelor erorii de predictie si iesirii calculate). Aceste teste se aplica pe un numar de puncte ale functiilor calculate, testele fiind trecute daca intra intro banda de incredere, in cazul functiei ‘resid’, aceea banda este de 1%.

Pentru a valida acest model trebuie sa fie trecut unul din testele de autocorelatie si intercorelatie. Pentru sistemul obținut cu datele de identificare, se verifică pentru date de validare, eroarea de urmărire. Astfel rezultatul este prezentat in figura urmatoare:

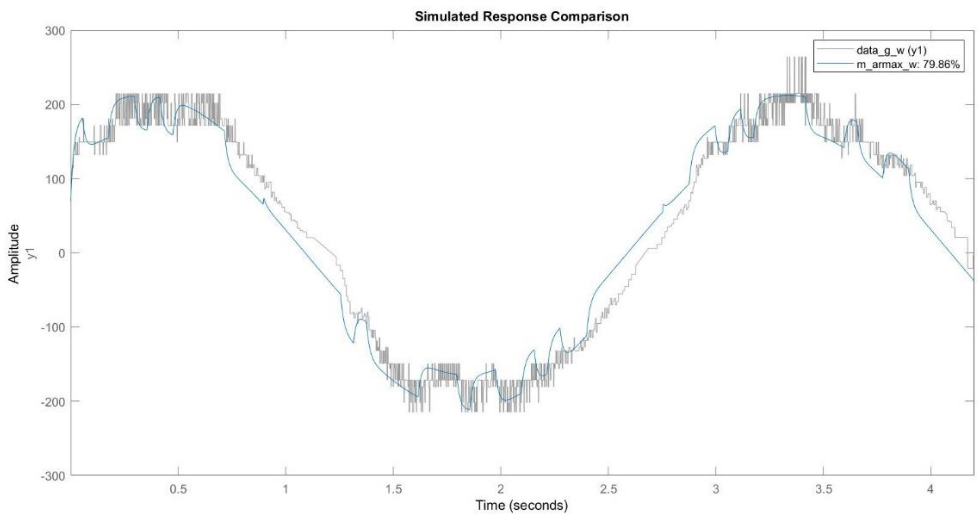

Fig.5.1 Gradul de suprapunere intre iesirea modelului si iesirea masurata

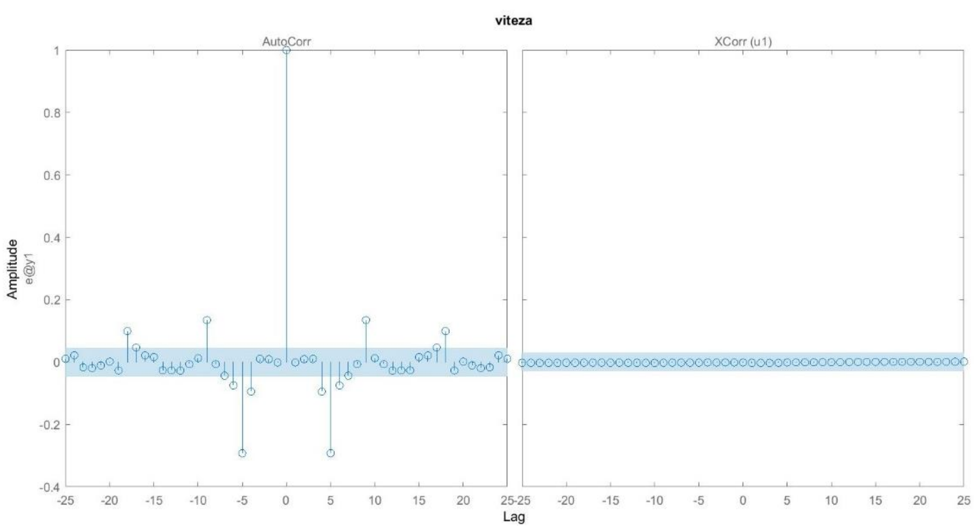

Fig. 5.2 Autocorelatia si intercorelatia

In figura de mai sus se observa ca doar testul de intercorelatie este trecut, cel de autocorelatie fiind picat. Iar suprapunerea nu este foarte buna.

b) Obtinerea functiei de transfer de la viteza unghiulara la pozitie

Folosind metoda ARMAX trebuie setati parametrii nA, nB, nC, d, unde nA, nB, nC reprezinta gradele polinoamelor modelului corespunzator, iar d reprezinta intarzierea cu un tact introdusa de metoda de discretizare “zoh”. De data aceasta nA=nB=nC=1, iar d=0 deoarece nu avem timp mort de la viteza la pozitie.

```
m_armax_th_dec=armax(data_id_th_dec, [1 1 1 0])
```

Functia de transfer in discret obtinuta este: $H2 = \frac{0.002019}{1-z-1}$

Functia de transfer in continuu obtinuta este: $H2 = \frac{0.002019s+5.048}{s+0.01938}$

Pentru sistemul obținut cu datele de identificare, se verifică pentru datele de validare, eroarea de urmărire, rezultatul fiind prezentat in figura urmatoare:

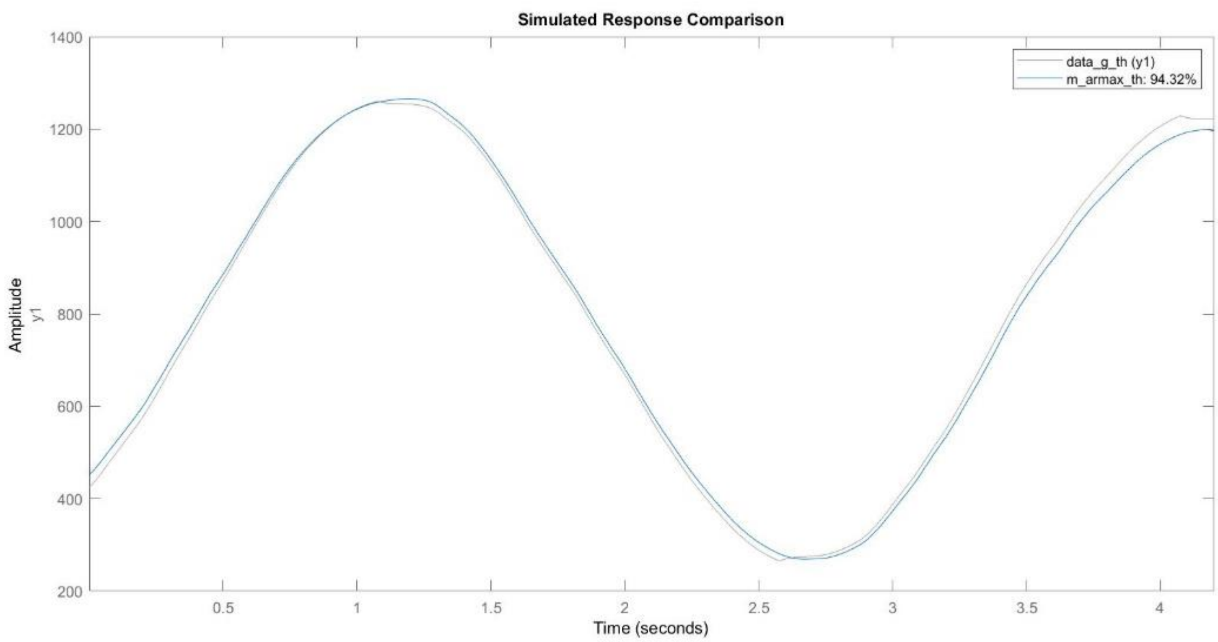

Fig.5.3 Gradul de suprapunere intre iesirea modelului si iesirea masurata

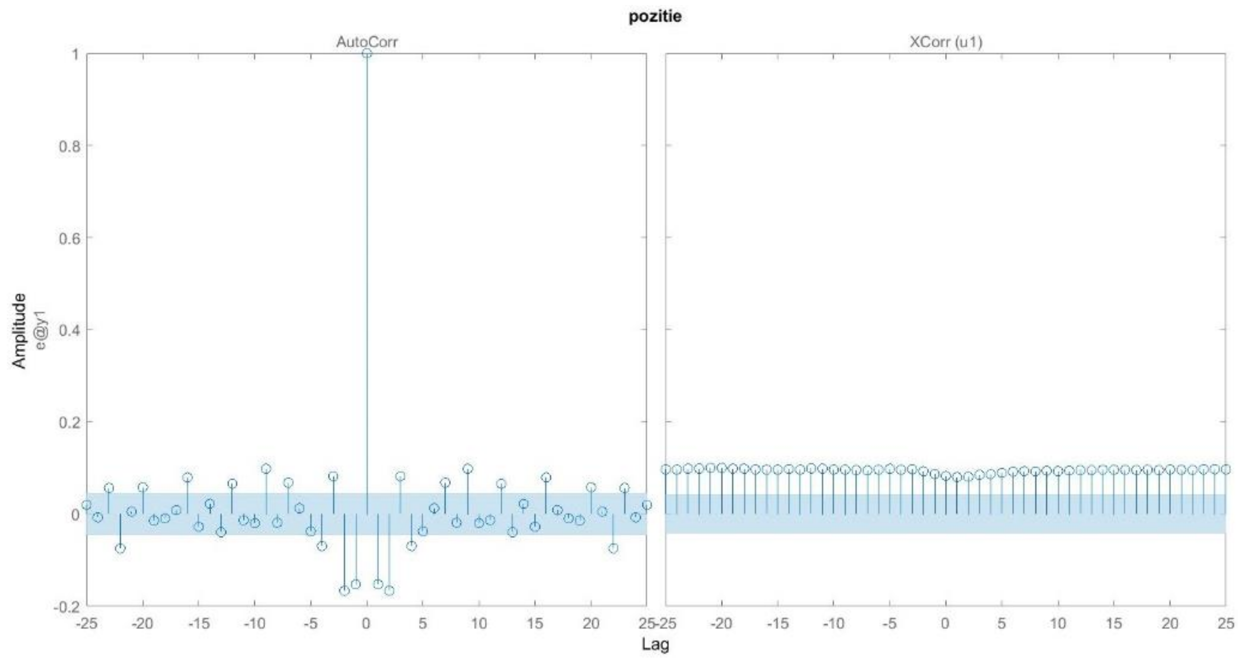

Fig.5.4 Autocorelatia si intercorelatia

Nu se respecta niciun test, chiar daca suprapunerea este una foarte buna.

Deoarece nu se respecta testul de autocorelatie cu metoda MCMMPE am ales sa decimam datele. Adica, sa scapam de valorile egale. Am verificat si celelalte metode, anume: MCMMPR-ARX, VI-IV, MEP-OE. Modelele nu respecta testul de autocorelatie fara decimare, ca urmare nu vom avea nicio functie de transfer valida.

In urma compararii rezultatelor obtinute prin folosirea tuturor metodelor, am ales sa folosesc MCMMPE-Armax deoarece am observant ca imi rezulta cel mai bun model.

Pentru decimare am ales doi indici (doua puncte de maxim de pe viteza) si am aflat cate valori maxime la viteza sunt egale. In cazul nostru i7=8460; i8=8469;
N=i8-i7+1=10;
Putem verifica valorile egale prin comanda: w(i7:i8);

Vom avea o alta perioada de esantionare care ne ajuta sa evitam valorile egale din date, asa rezultand date mai putine.

```
Te_dec=Te*N;
```

Vom alege din nou si la fel indecsii pentru datele de identificare, respectiv de validare. Indecsii isi schimba valoare deoarece dupa decimare avem date mai putine.

```
t1=312; t2=670; t3=708; t4=1031;
```

Declaram din nou cate o variabila pentru identificare si validare, dar pentru datele decimate:

```
data_id_w_dec = iddata(w_dec(t1:t2), d_dec(t1:t2), Te_dec);
data_id_th_dec = iddata(theta_dec(t1:t2), w_dec(t1:t2), Te_dec);
data_v_w_dec = iddata(w_dec(t3:t4), d_dec(t3:t4), Te_dec);
data_v_th_dec = iddata(theta_dec(t3:t4), w_dec(t3:t4), Te_dec);
data_g_w_dec = iddata(w_dec,d_dec,Te_dec);
data_g_th_dec = iddata(theta_dec,w_dec,Te_dec);
```

Vom folosi din nou metoda MCMMPE dar pe datele decimate pentru a avea un model care trece testul de autocorelatie.

c) Obtinerea functiei de transfer de la intrare la viteza unghiulara

Metoda MCMMPE a fost dezvoltata pentru identificarea unui sistem a carui model discret este de tip „proces+perturbatie".

A(z−1)Y (z) = z−ndB(z−1)U(z) + C(z−1)E(z),

Folosind metoda ARMAX trebuie setati parametrii nA, nB, nC, d, unde nA, nB, nC reprezinta gradele polinoamelor modelului corespunzator, iar d reprezinta intarzierea cu un tact introdusa de metoda de discretizare "zoh".

Astfel am ales nA=1, nB=1, nC=1, d=1.

```
m_armax_w_dec=armax(data_id_w_dec, [1 1 1 1]);
```

Functia de transfer obtinuta in discret este: $H1 = \frac{12.41z\text{^}{-1}}{1-0.9498z\text{^}{-1}}$

Functia de transfer obtinuta in continuu este: $H1 = \frac{3.184e04}{s+128.8}$

Pentru a valida acest model trebuie sa fie trecut unul din testele de autocorelatie si intercorelatie. Pentru sistemul obținut cu datele de identificare, se verifică pentru date de validare, eroarea de urmărire. Astfel rezultatul este prezentat in figura urmatoare:

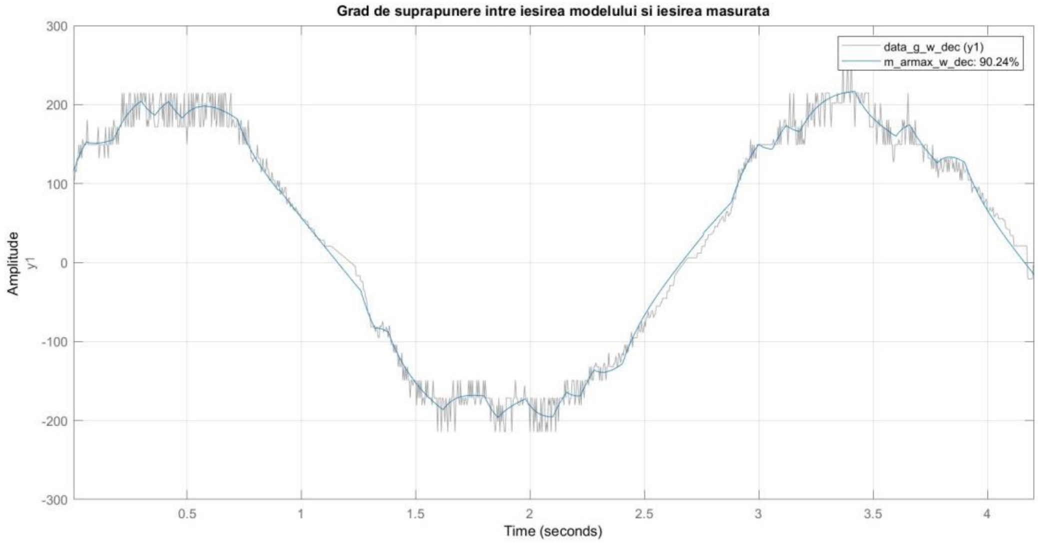

Fig.5.5 Gradul de suprapunere intre iesirea modelului si iesirea masurata

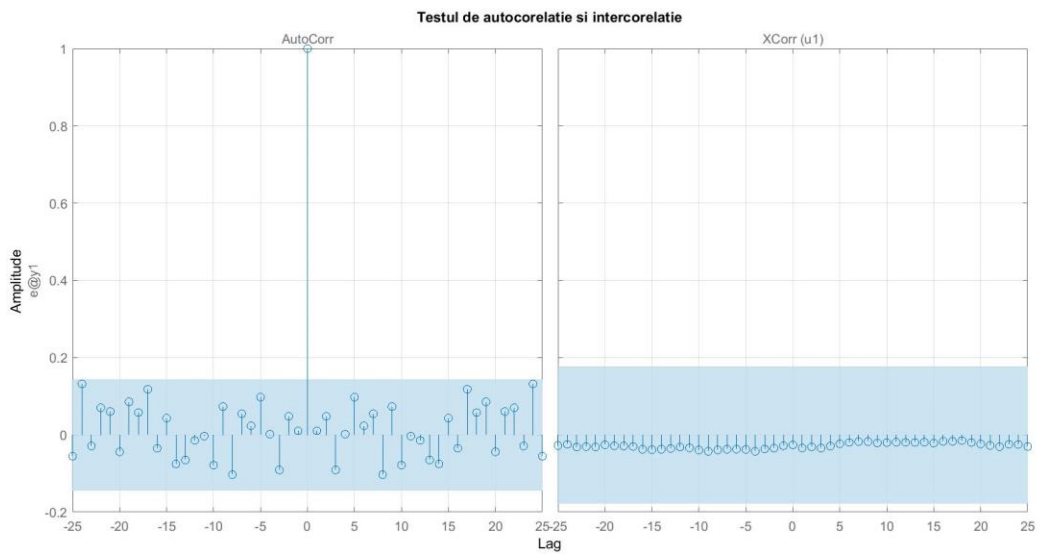

Fig.5.6 Autocorelatia si intercorelatia

Din figura de mai sus se observă că testul de intercorelatie si autocorelatie este trecut, iar suprapunerea este foarte buna.

d) Obtinerea functiei de transfer de la viteza unghiulara la pozitie

Folosind metoda ARMAX trebuie setati parametrii nA, nB, nC, d, unde nA, nB, nC reprezinta gradele polinoamelor modelului corespunzator, iar d reprezinta intarzierea cu un tact introdusa de metoda de discretizare “zoh”. De data aceasta nA=nB=nC=1, iar d=0 deoarece nu avem timp mort de la viteza la pozitie.

```
m_armax_th_dec=armax(data_id_th_dec, [1 1 1 0])
```

Functia de transfer in discret este: $H2 = \frac{0.02027}{1-z\hat{}-1}$

Functia de transfer obtinuta este: $H2 = \frac{0.0202s+50.69}{s+0.011}$

Pentru sistemul obținut cu datele de identificare, se verifică pentru datele de validare, eroarea de urmărire, rezultat fiind prezentat Figura urmatoare

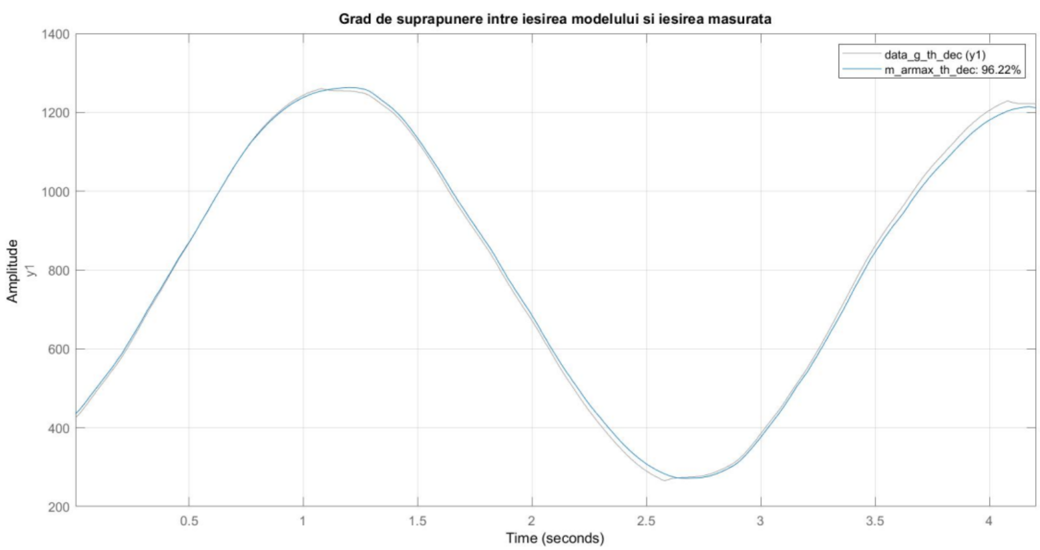

Fig.5.7 Gradul de suprapunere intre iesirea modelului si iesirea masurata

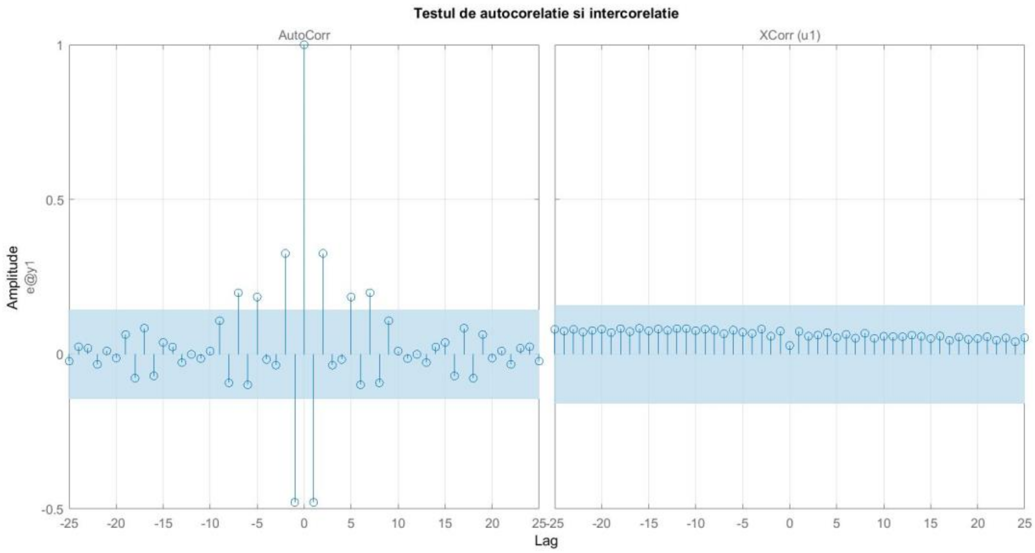

Fig.5.8 Autocorelatia si intercorelatia

Din testul de autocorelație și intercorelație se observă că cel de intercorelație este trecut, iar testul de autocorelație, de la un anumit punct, valiorile se încadrează în banda de încredere.

Cu ajutorul metodei MMCMPE am obtinut un model de la intrare la pozitie care trece testul de autocorelatie.

$$H1 = \frac{3.184e04}{s+128.8}$$

$$H2 = \frac{0.0202s + 50.69}{s + 0.011}$$

H1-functia de transfer de la intrare la viteza unghiulara
H2-functia de transfer de la viteza unghiulara la pozitia unghiulara

H1 trebuie adusa la forma: $= \frac{k_m}{T_m \cdot s + 1}$, unde k_m este factorul de proportionalitate si T_m este constanta de timp.

$$H1 = \frac{3.184e04/128.8}{\frac{s}{128.8} + 1} = \frac{247.2}{0.0078s + 1}$$

De unde rezulta: $k_m = 247.2$

$T_m = 0.0078$ sec

$$H2 = \frac{0.0202s + 50.69}{s + 0.011}$$

Datorită faptului că coeficientul lui „s” este foarte aproape de 0 putem să îl neglijăm, la fel si 0.0019. H2 trebuie adusa la forma: $= \frac{1}{T_i \cdot s}$, unde T_i este constanta de timp.

$$H2 = \frac{50.69}{s} = \frac{1}{0.019s}$$

Astfel avem un integrator cu perioada Ti=0.019 sec.

Functia de transfer caracteristica modelului care trece testul de autocorelatie este :

$Hfinal = \frac{247.2}{0.019s(0.0078s+1)}$ si o obtinem prin inserierea H1 si H2.

Hfinal=series(H1,H2);

B. MEI-OE (Metoda erorii de iesire)

a) Obtinerea functiei de transfer de la intrare la viteza unghiular

Apelăm modelul „oe” corespunzător matlabului.
Formula generala :F(q^-1)*y(t)=(q^-d)*B(q^-1)*u(t) + e(t)
B(z) = 11.7 z^-1; F(z) = 1 - 0.9526 z^-1

m_oe=oe(data,[n_F n_B n_k]), unde n_F este ordinul polinomului F (numarul de poli), n_B ordinul polinomului B + 1 (numarul de zerouri + 1), n_k este timpul mort.

Alegem gradul polinoamelor n_F = 1, n_B = 1 si n_k = 1 după care impreună cu variabila în care am salvat datele de la identificare apelam functia „oe” din matlab:

```
m_oe_w_dec = oe(data_id_w_dec,[1 1 1]);
```

Functia de transfer in discret obtinuta este: $H1 = \frac{1.179z\text{^}{-1}}{1-0.9952z\text{^}{-1}}$

Functia de transfer in continuu obtinuta este: $H1 = \frac{2955}{s+12}$

Pentru sistemul obținut cu datele de identificare, se verifică pentru datele de validare, eroarea de urmărire, rezultat fiind prezentat in figura urmatoare:

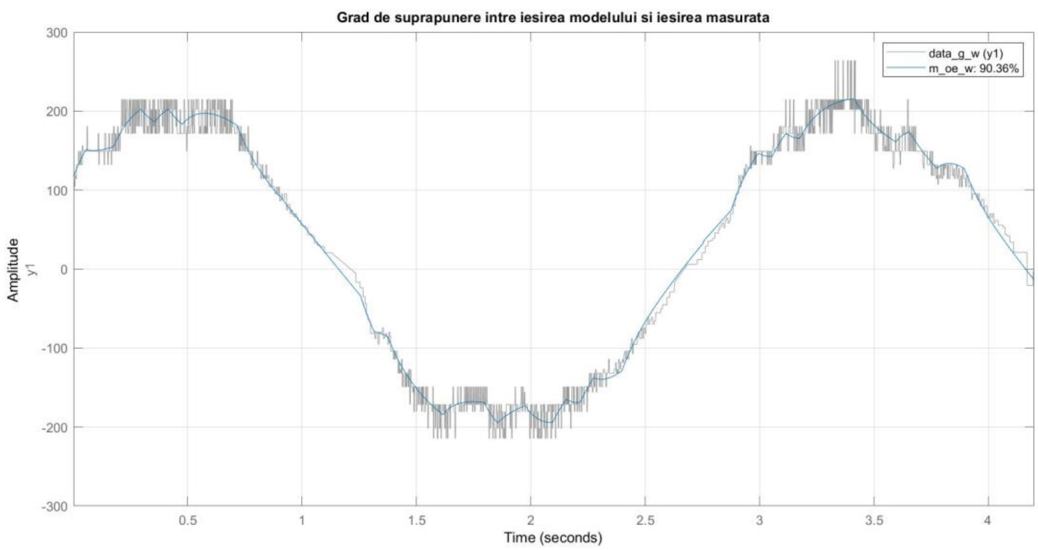

Fig.5.9 Gradul de suprapunere intre iesirea modelului si iesirea masurata

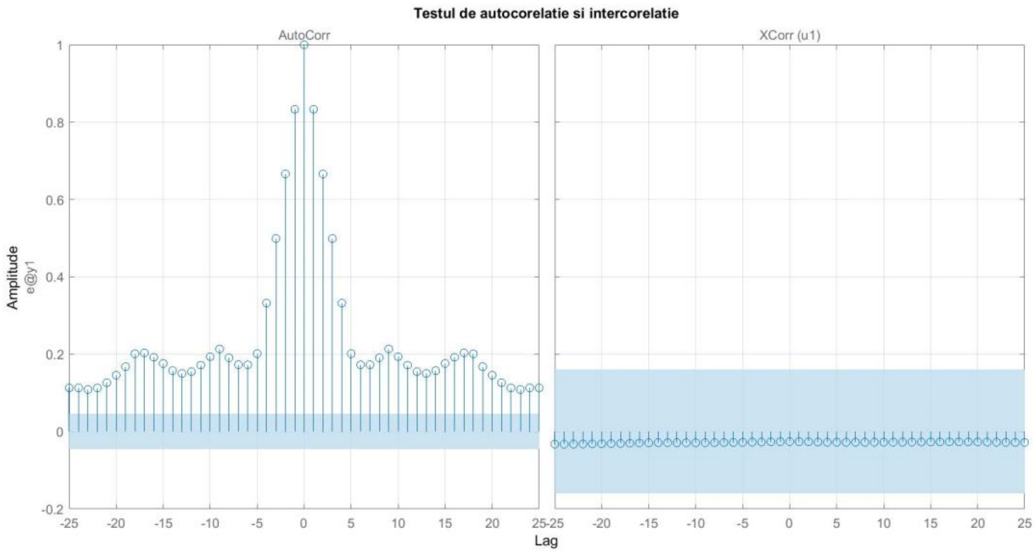

Fig.5.10 Autocorelatia si intercorelatia in OE

Observam ca in acest caz testul de autocorelatie este cazut, dar testul de intercorelatie se respecta. Si se obtine o valoare de urmarire foarte buna.

b) Obtinerea functiei de transfer de la viteza unghiulara la pozitie

Apelăm modelul „oe" corespunzător matlabului.
Formula generala :F(q^-1)*y(t)=(q^-d)*B(q^-1)*u(t) + e(t)
B(z) = 0.01879;   F(z) = 1 - z^-1

m_oe=oe(data,[n_F n_B n_k]), unde n_F este ordinul polinomului F (numarul de poli), n_B ordinul polinomului B + 1 (numarul de zerouri + 1), n_k este timpul mort.

Alegem gradul polinoamelor n_F = 1, n_B = 1 si n_k = 0 după care impreună cu variabila în care am salvat datele de la identificare apelam functia „oe" din matlab:

```
m_oe_th_dec = oe(data_id_th_dec,[1 1 0])
```

Functia de transfer in discret este: $H2 = \frac{0.00197}{1-z^{\wedge}-1}$

Functia de transfer in continuu este: $H2 = \frac{0.0019s+4.925}{s+0.04347}$

Pentru sistemul obținut cu datele de identificare, se verifică pentru datele de validare, eroarea de urmărire, rezultat fiind prezentat in figura urmatoare:

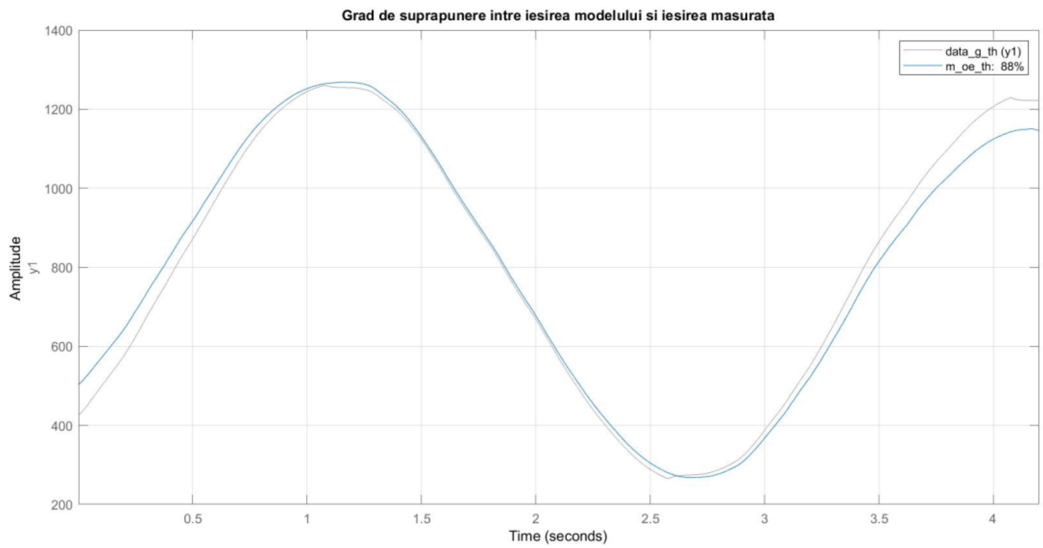

Fig.5.11 Gradul de suprapunere intre iesirea modelului si iesirea masurata

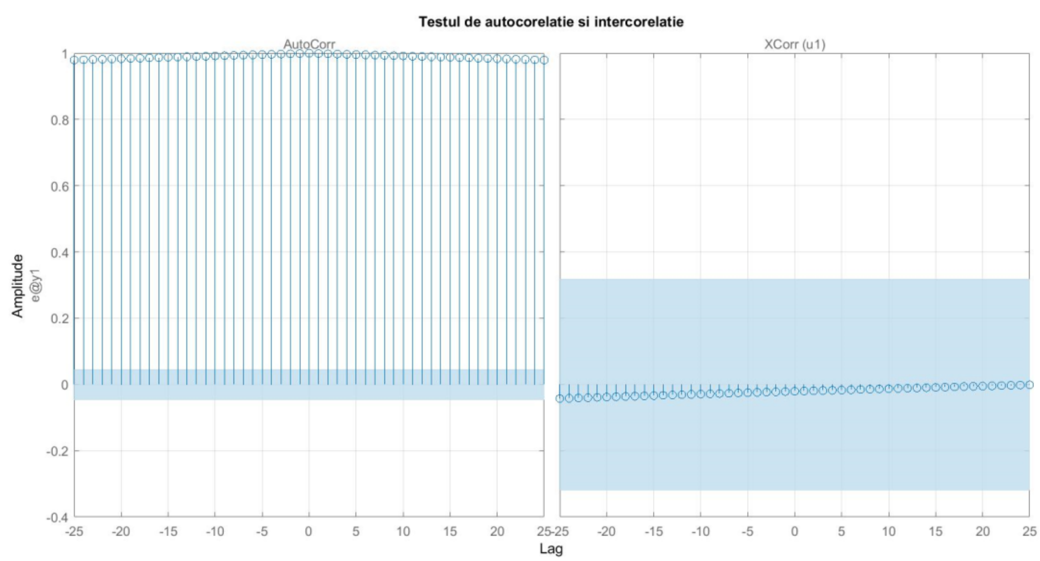

Fig.5.12 Gradul de suprapunere intre iesirea modelului si iesirea masurata

Observam ca testul de intercorelatie se respecta, dar cel de autocorelatie a cazut. Avem un model de la intrare la pozitie care trece testul de intercorelatie.

Cu ajutorul metodei MEI am obtinut un model de la intrare la pozitie care trece testul de intercorelatie.

$$H1 = \frac{2955}{s+12}$$

$$\mathrm{H2} = \frac{0.0019\mathrm{s} + 4.925}{\mathrm{s} + 0.04347}$$

H1-functia de transfer de la intrare la viteza unghiulara
H2-functia de transfer de la viteza unghiulara la pozitia unghiulara

H1 trebuie adusa la forma: $= \frac{k_m}{T_m \cdot s + 1}$, unde k_m este factorul de proportionalitate si T_m este constanta de timp.

$$H1 = \frac{2955/12}{\frac{s}{12} + 1} = \frac{246.2}{0.083s + 1}$$

De unde rezulta: $k_m = 246.2$

$T_m = 0.083$ sec

$$H2 = \frac{0.0019s + 4.925}{s + 0.04347}$$

Datorită faptului că coeficientul lui „s” este foarte aproape de 0 putem să îl neglijăm, la fel si 0.04347. H2 trebuie adusa la forma: $= \frac{1}{T_i \cdot s}$, unde T_i este constanta de timp.

$$H2 = \frac{4.925}{s} = \frac{1}{0.2s}$$

Astfel avem un integrator cu perioada Ti=0.2 sec.

Functia de transfer caracteristica modelului care trece testul de autocorelatie este :

$Hfinal = \frac{246.2}{0.2s(0.083s+1)}$ si o obtinem prin inserierea lui H1 si H2.

Hfinal=series(H1,H2);

Modelul intrare-pozitie validat prin autocorelatie: $\boldsymbol{Hfinal = \frac{247.2}{0.019s(0.0078s+1)}}$

Modelul intrare-pozitie validat prin intercorelatie: $\boldsymbol{Hfinal = \frac{246.2}{0.2s(0.083s+1)}}$

1.6 Validarea modelului

Autocorelație	***Intercorelație***
$\epsilon_{MPN\ \omega u}$ = ***0.974***	$\epsilon_{MPN\ \omega u}$ = ***0.964***
$\epsilon_{MPN\ \theta u}$ = ***0.374***	$\epsilon_{MPN\ \theta u}$ = ***1.2***