

Detectția și localizarea anomaliilor unei centrale eoliene

Absolvent

Alexandru Cohal

Îndrumător

Conf. dr. ing. Letiția Mirea

Iulie 2015



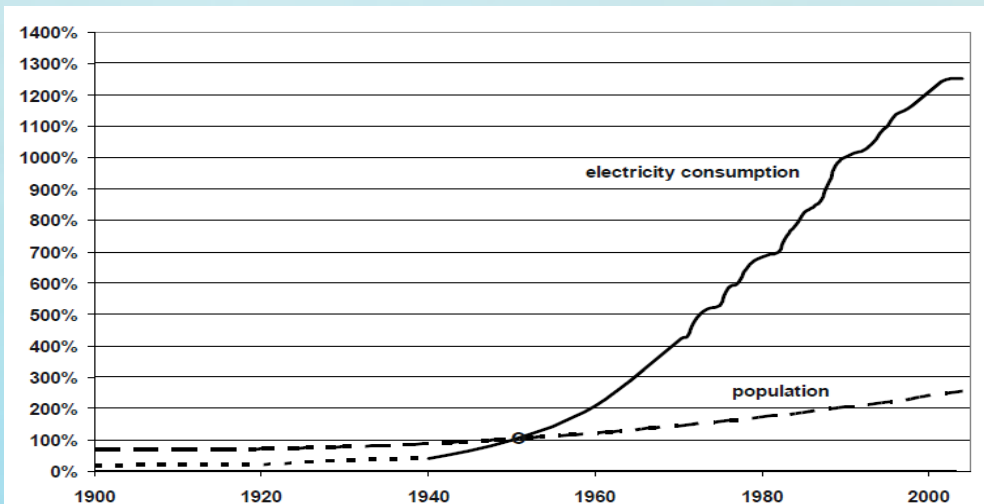
Cuprins

- ❑ Introducere
 - Energia eoliană
 - Centralele eoliene
- ❑ Detecția și localizarea anomaliilor
- ❑ Rezultate experimentale obținute. Implementarea practică
- ❑ Concluzii

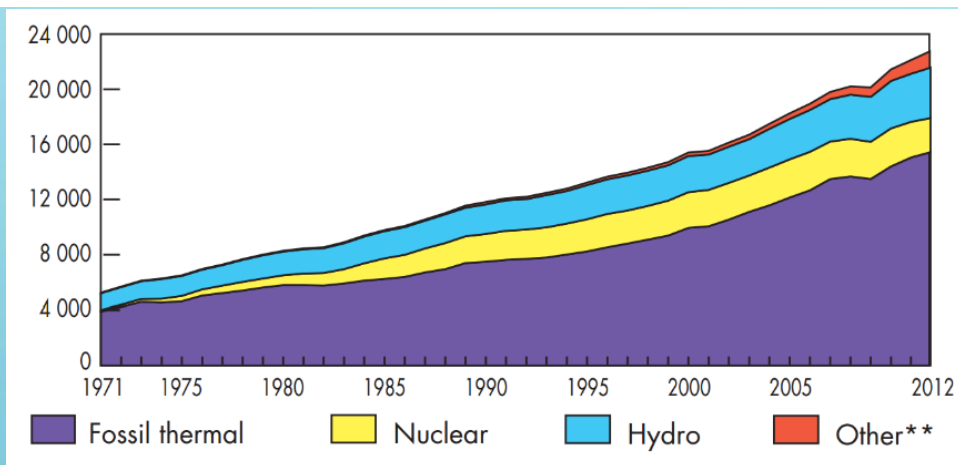


Energia eoliană

Creșterea consumului de energie electrică raportată la populația globală (Gasch & Twele, 2012)



Raportul surselor energiei electrice (TWh) produsă între anii 1971 și 2012 (International-Energy-Agency, 2014)

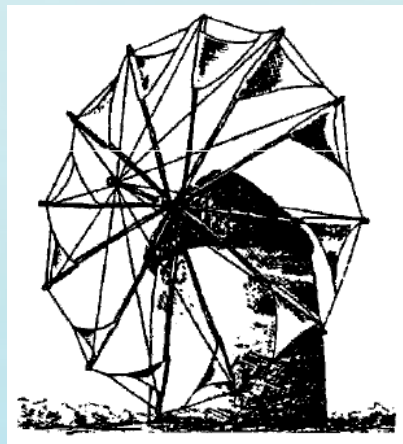


Dezavantaje

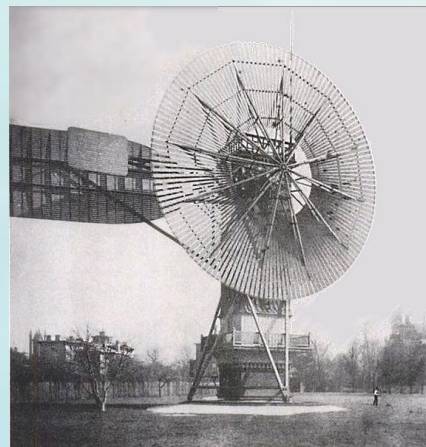
- ~~Nu~~ ~~pot~~ ~~fi~~ ~~usate~~ variabile în timp
- ~~Exagerată~~ ~~per~~ ~~toată~~ ~~în~~ ~~fața~~ ~~globalizării~~
- ~~Disponibilitate~~ ~~a~~ ~~apă~~ ~~și~~ ~~folosirii~~ ~~fără~~ ~~costuri~~
- ~~Interferență~~ ~~electromagnetică~~ ~~care~~ ~~este~~ ~~mai~~ ~~ieftină~~
- Nu este monopolizată
- Nu poate produce accidente
- Timpul redus de construcție a dispozitivelor care folosesc energia eoliană



Centralele eoliene



Moară de vânt mediteraneană cu pânze (Gasch & Twele, 2012)



Centrala eoliană introdusă de către Charles Brush (SUA) (Richter, 1996)



Centrala eoliană Éole de tip Darrieus dezvoltată în Canada (Hau, 2013)

1700 î.e.n

1500

1975

2013

1200

1888

1985



Ruine ale unor mori de vânt cu ax vertical de pe teritoriul Afganistanului (Gasch & Twele, 2012)



Moară de vânt de pe teritoriul Angliei (Sathyajith, 2006)



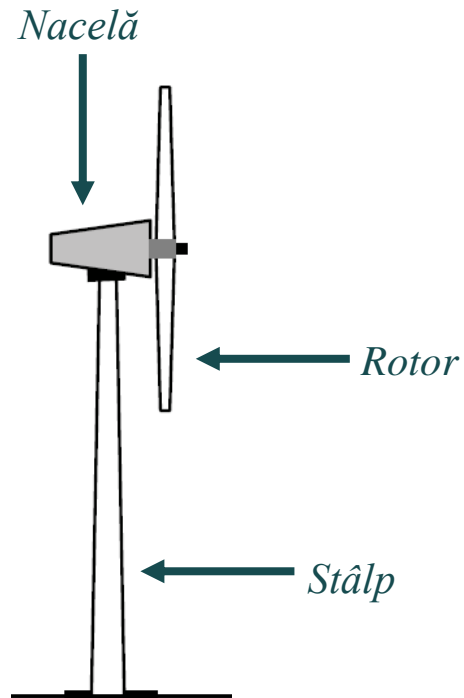
Centrala eoliană MOD-0 dezvoltată de către NASA (SUA) (Hau, 2013)



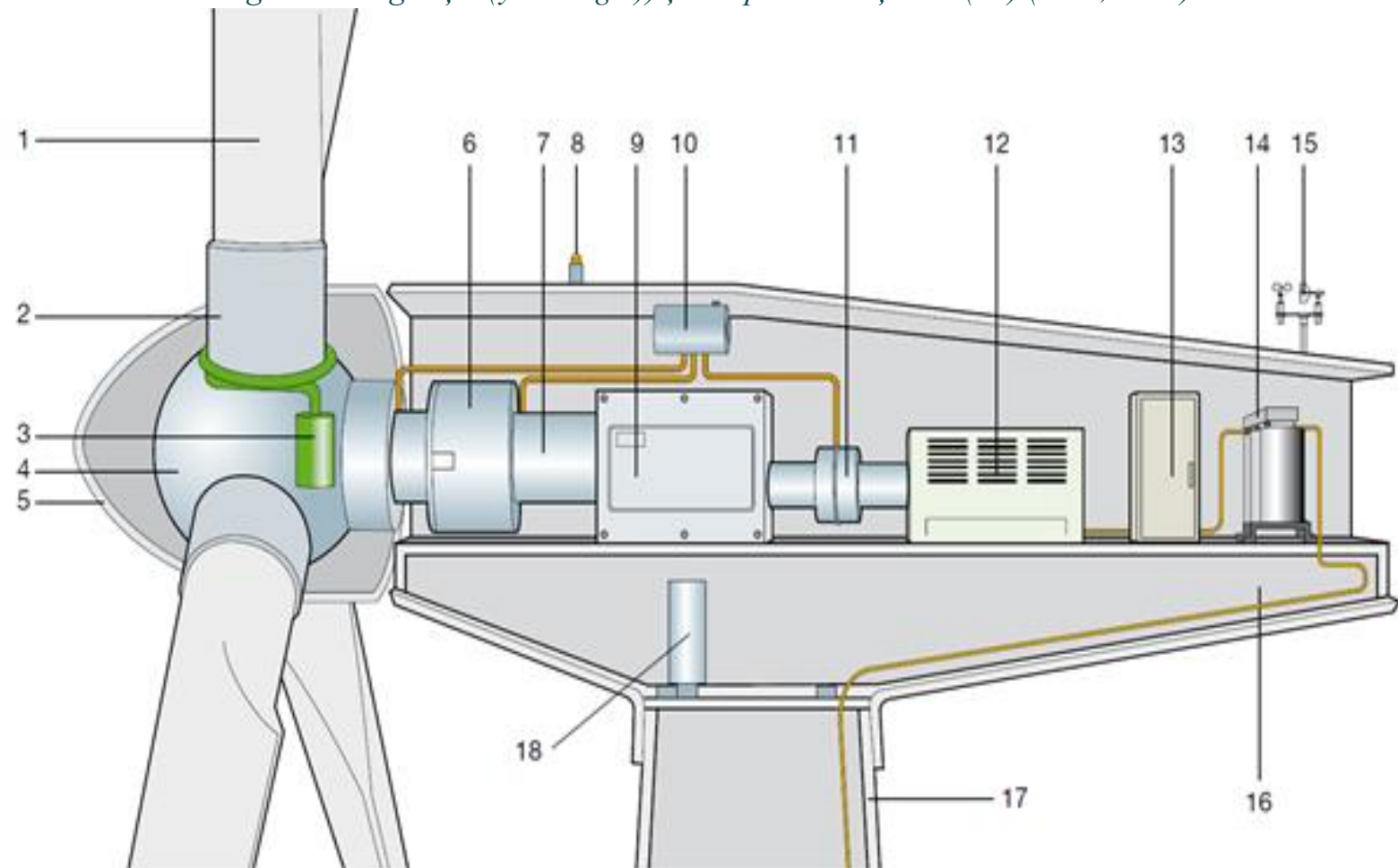
Centrala eoliană Vestas V164 dezvoltată în Danemarca (Renewable-Energy-World, 2014)

Centralele eoliene

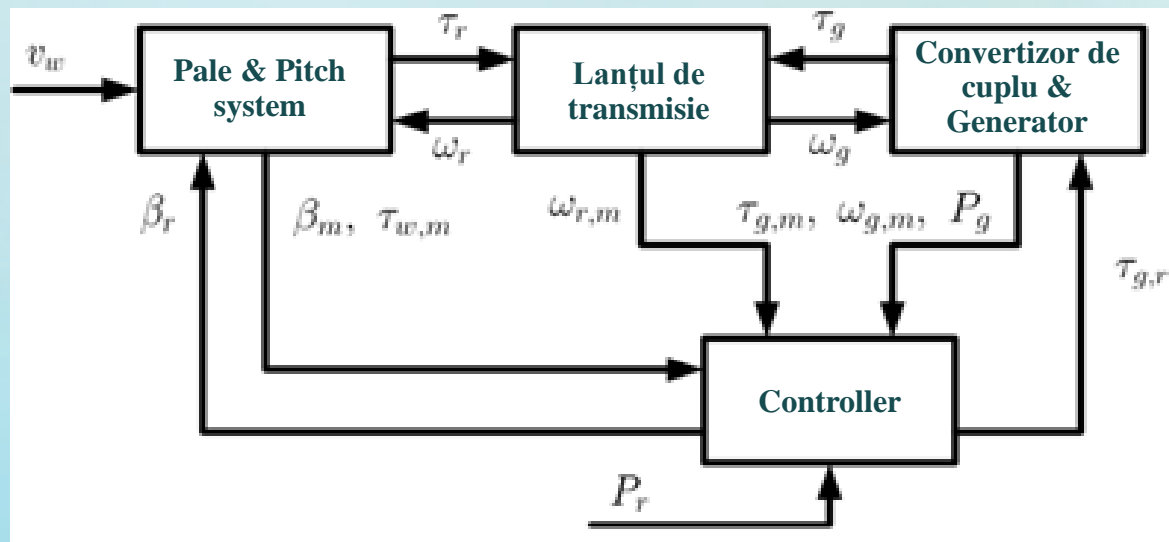
Elementele principale ale unei centrale eoliene



Componentele principale ale unei centrale eoliene: rotor (1 – pală, 2 – suportul unei pale, 3 – dispozitivul de rotire al unghiului de tangaj (pitch angle), 4 – butuc, 5 – carcasa butucului (eng. spinner)), nacelă (6 – suportul axului principal, 7 – axul principal, 8 – lumini de avertizare, 9 – amplificatorul de turație, 10 – frâna mecanică, 11 – sistemul de răcire, 12 – generator, 13 – convertorul, controllerul și dispozitivele de protecție, 14 – transformator, 15 – anemometru, 16 – carcasa nacellei, 18 – dispozitivul de modificare al unghiului de girație (yaw angle)) și stâlpul de susținere (17) (ABB, 2011)



Centralele eoliene



Caracteristici

- Centrală eoliană de viteză variabilă
- Axa de rotație a rotorului este orizontală
- Direcția de acțiune a vântului este din față
- Nacela nu se poate roti
- Rotorul are trei pale
- Există *pitch system*
- Nu există *yaw system*
- Generatorul este cuplat la un convertizor de cuplu
- Puterea dezvoltată este de 4,8 MW

P_g – puterea electrică generată

P_r – valoarea de referință a puterii electrice generate

v_w – viteza vântului

β_r – valoarea de referință a unghiului de tangaj (*pitch angle*)

β_m – valoarea măsurată a unghiului de tangaj (*pitch angle*)

τ_r – cuplul rotorului

τ_g – cuplul generatorului

$\tau_{g,r}$ – valoarea de referință a cuplului generatorului

$\tau_{g,m}$ – valoarea măsurată a cuplului generatorului

ω_r – viteza rotorului

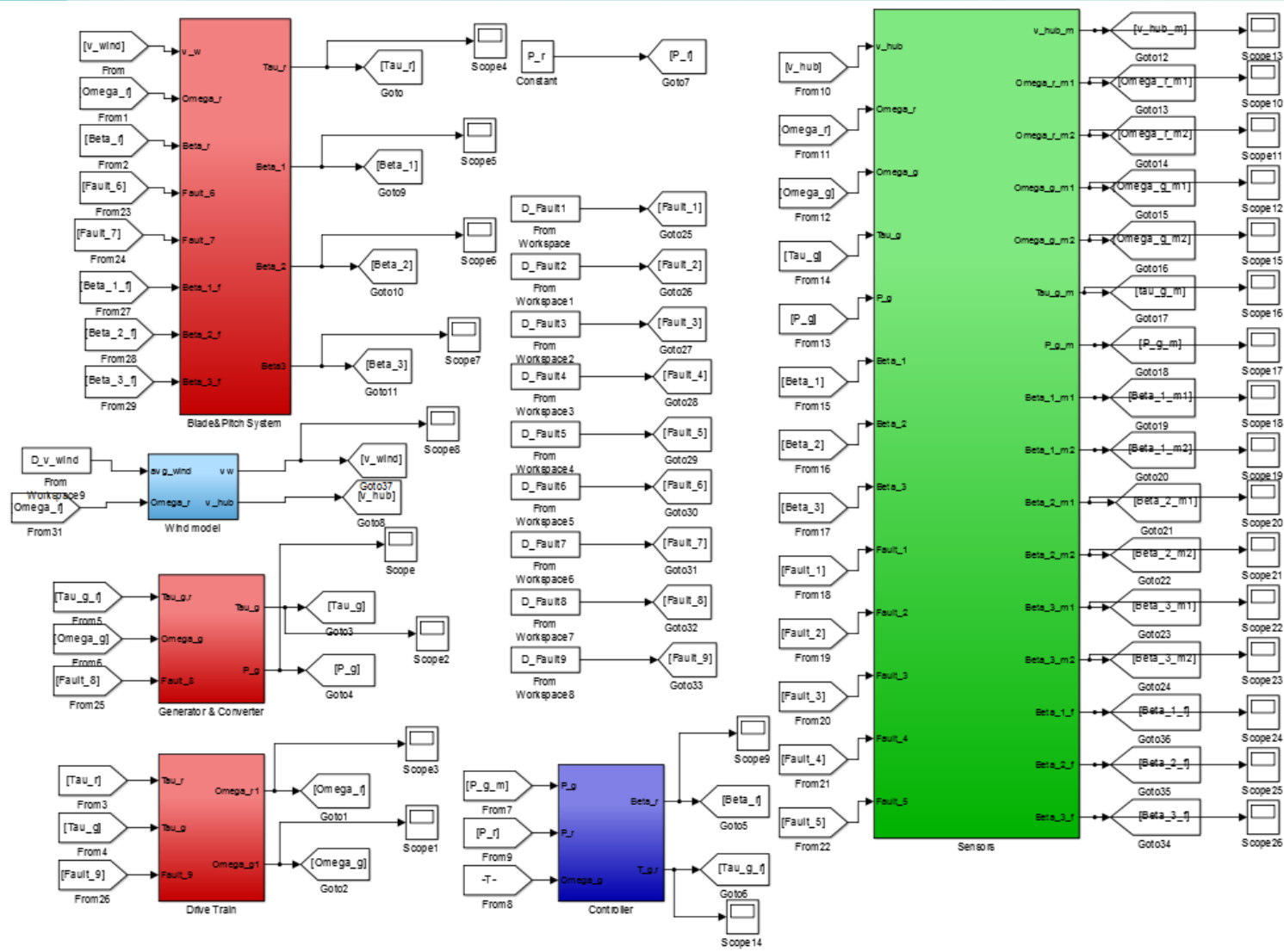
ω_g – viteza generatorului

$\omega_{r,m}$ – valoarea măsurată a vitezei rotorului

$\omega_{g,m}$ – valoarea măsurată a vitezei generatorului



Centralele eoliene



Model al unei centrale eoliene

realizat de către compania
kk-electronic și referit în (*Odgaard, et al., 2009*)

Blocurile componente:

- Modelul vântului
- Controller-ul
- Modelul palelor și a sistemului de rotație a palelor în jurul axelor longitudinale proprii
- Modelul lanțului de transmisie
- Modelul convertizorului de cuplu și a generatorului
- Modelul senzorilor



Detecția și localizarea anomaliilor

O **anomalie** (*eng. fault*) → fenomenul care determină schimbarea comportării unui sistem în așa fel încât performanțele funcționării sale sunt degradate.

Anomaliile simulate în modelul centralei eoliene:

- Anomalii în Senzori (5) → de tip valoare constantă
→ de tip multiplicativ
- Anomalii în Elementele de Execuție (3) → de tip aditiv
→ schimbarea parametrilor
- Anomalii în Lanțul de transmisie (1) → schimbarea parametrilor

Etape ale **Diagnozei**:

- 1) Detecția anomaliei
- 2) Localizarea anomaliei
- 3) Identificarea anomaliei
- 4) Estimarea severității anomaliei



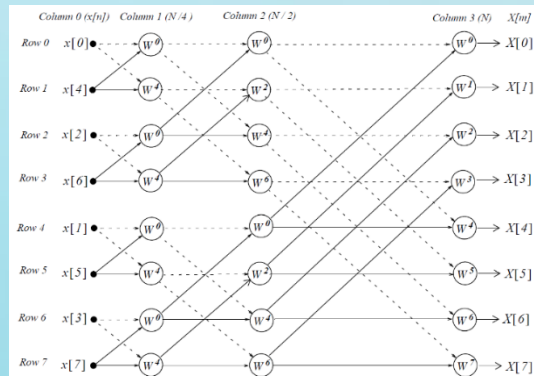
Detecția și localizarea anomaliilor

Metode de detecție folosite:

- Bazate pe modelul analitic al procesului (estimator de stare)
- Bazate pe procesarea directă a semnalelor

➡ **Analiză în domeniul frecvențial** – Transformata Fourier Rapidă (FFT)

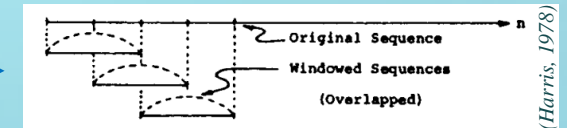
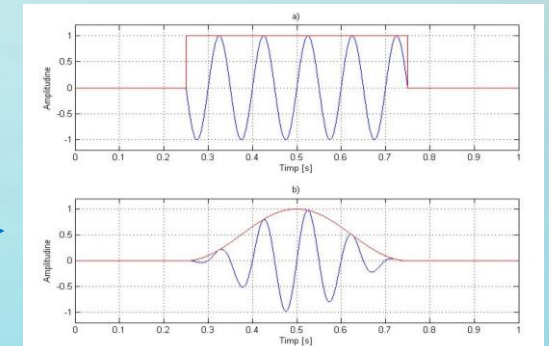
➡ Algoritmul de decimare în baza 2 (Cooley & Tukey, 1965)



Ilustrarea grafică a metodei de calcul a FFT pentru cazul unui semnal cu N = 8 eșantioane (Karris, 2003)

Sunt necesare și operații de:

- Împărțire în ferestre temporale
- Folosire de funcții de ferestruire
- Suprapunere a ferestrelor



➡ **Analiză în domeniul timp** – calcularea mediei, dispersiei, autocorelației

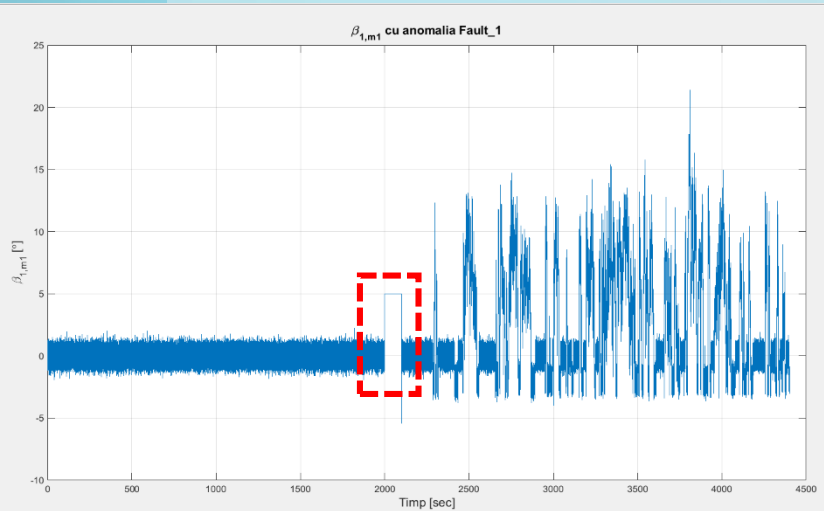
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

$$s^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}$$

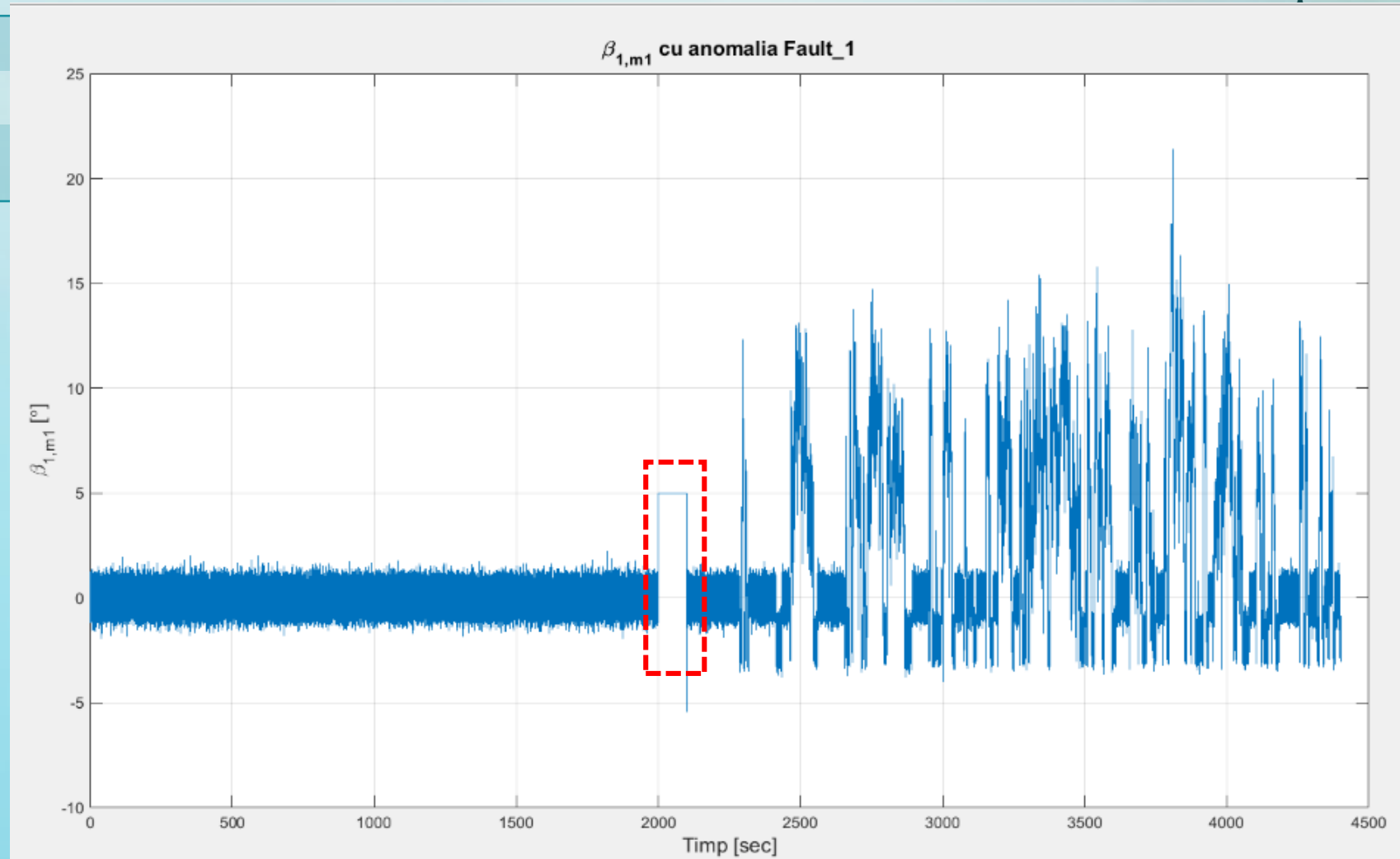
$$\phi_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t) \cdot x(t + \tau) dt$$

Anomalii în Senzori de tip valoare constantă

Numele anomaliei	Componenta afectată de către anomalie	Valoarea returnată	Intervalul de timp
Fault_1			
Fault_3			
Fault_4			



Efectul anomaliei Fault_1

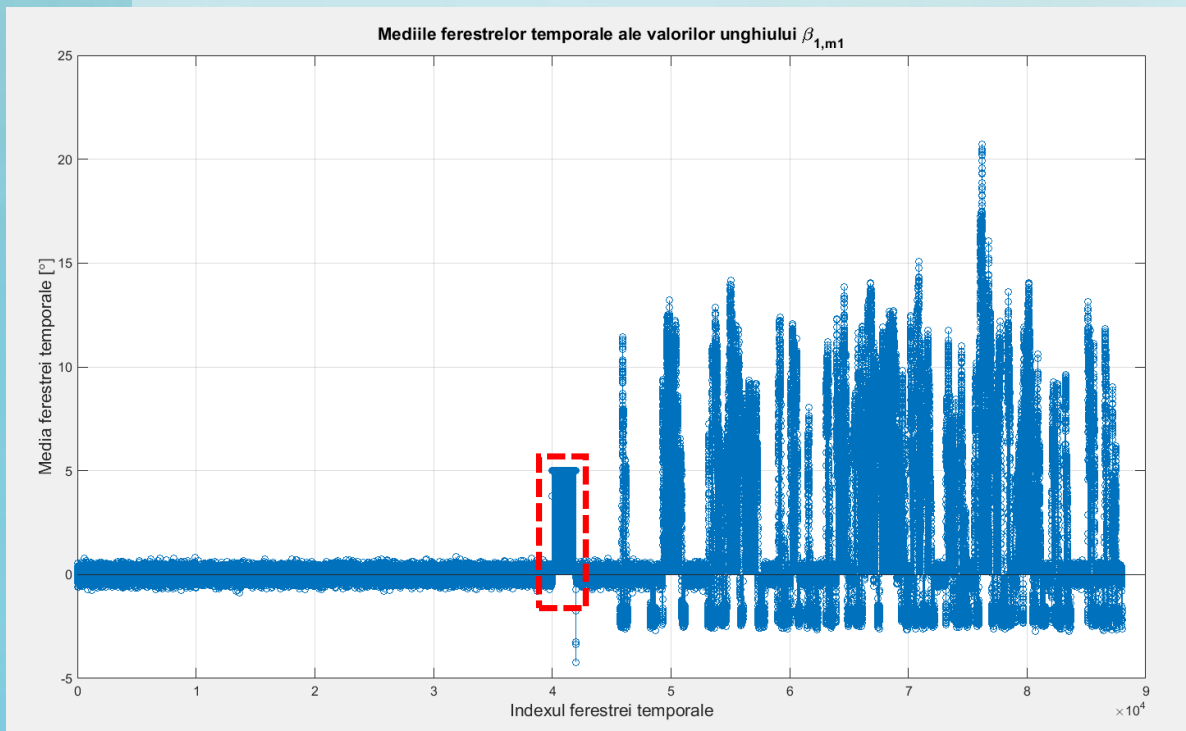


Efectul anomaliei Fault_1

Anomalii în Senzori de tip valoare constantă

Detecția acestui tip de anomalie

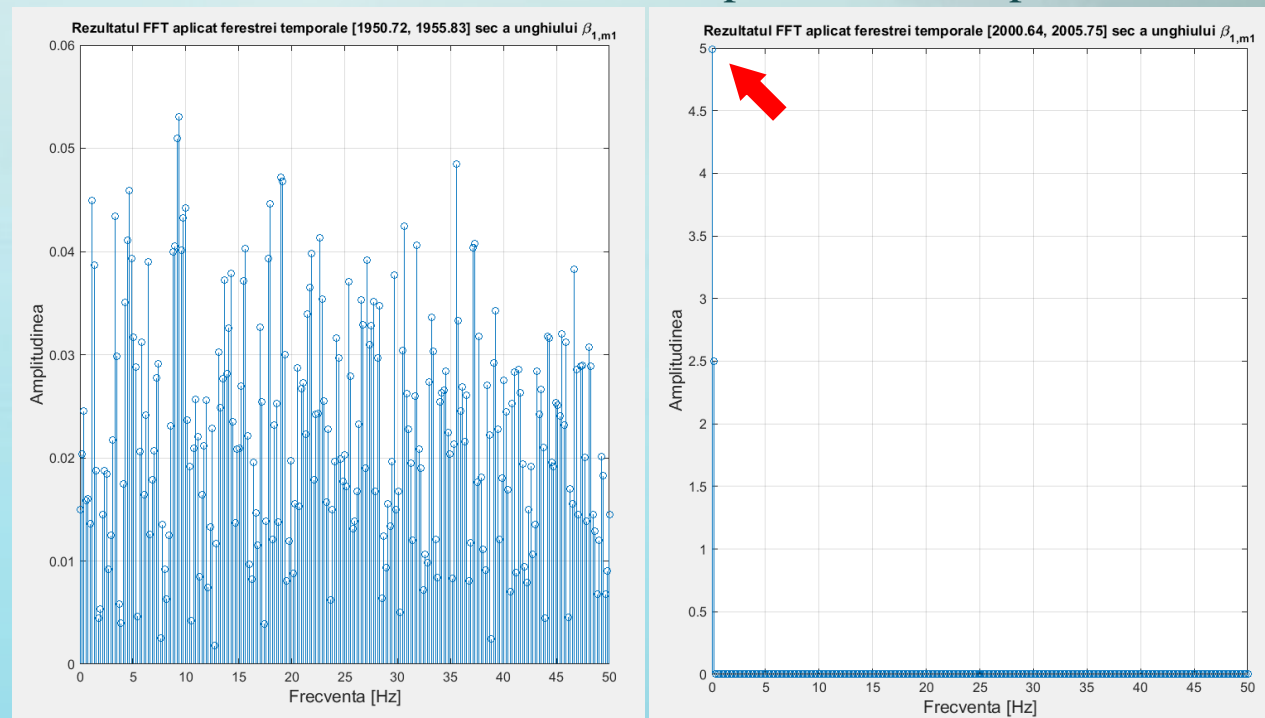
Calcularea mediilor valorilor returnate de către senzor, folosind ferestre temporale



Valorile obținute în urma calculării mediilor ferestrelor temporale de câte 5 eşantioane ale semnalului $\beta_{1,m1}$ afectat de anomalia *Fault_1*

Condiție ➡ Se va verifica dacă valorile mediilor ultimelor trei ferestre temporale sunt egale între ele. Dacă da, atunci anomalia este prezentă.

Calcularea spectrului frecvențial al semnalului de la ieșirea senzorului, folosind FFT pe ferestre temporale

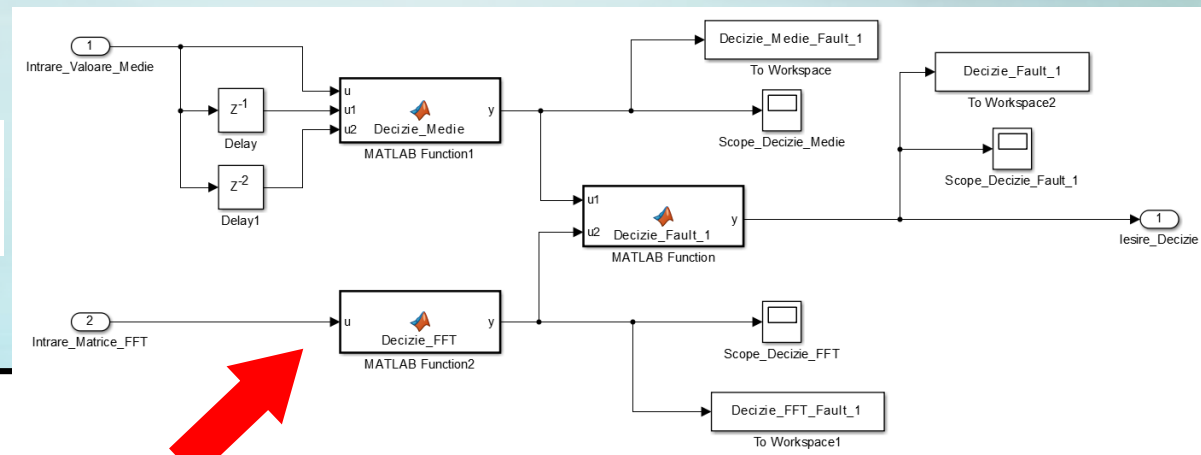
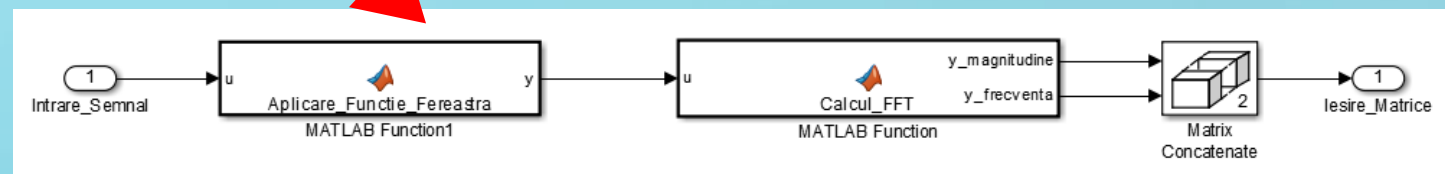
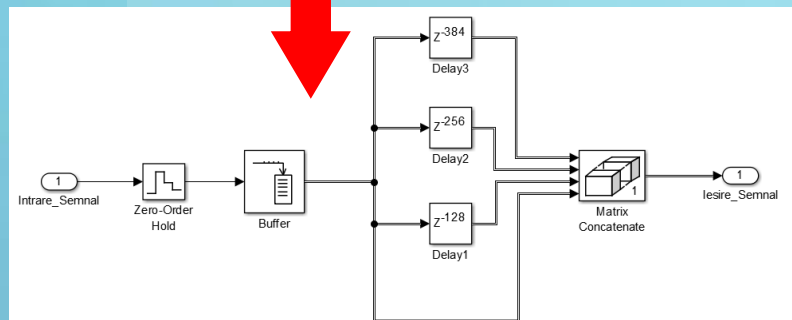
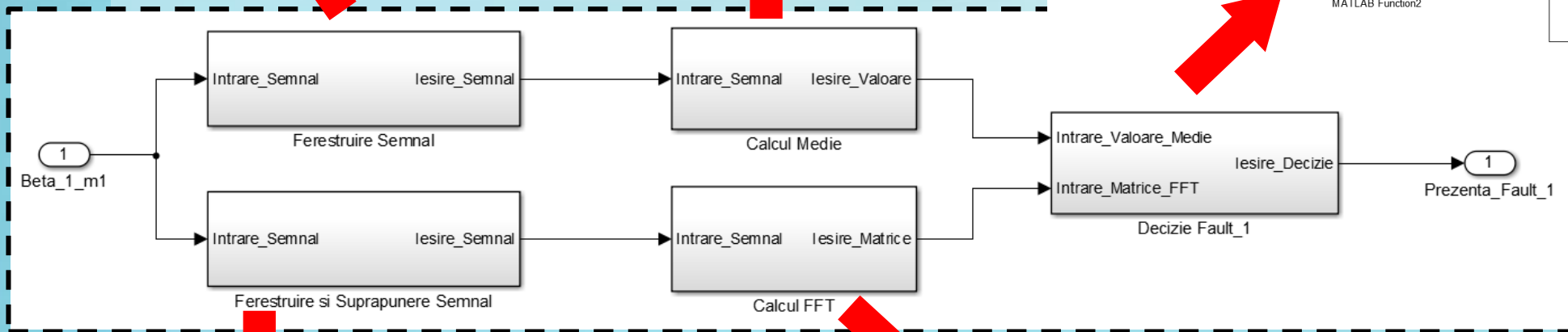
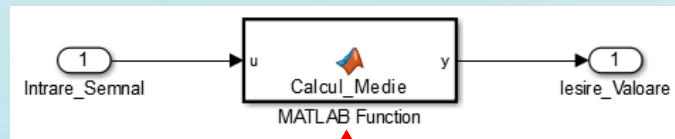
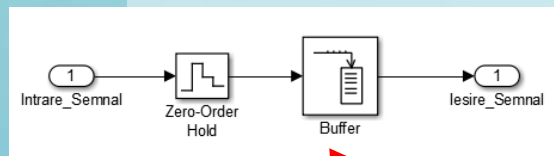


Rezultatele aplicării FFT semnalului $\beta_{1,m1}$ în 512 puncte pe ferestre temporale de 512 eşantioane suprapuse în proporție de 75%

Condiție ➡ Se va verifica dacă amplitudinea frecvenței de 0 Hz este cea mai mare din întreg spectrul, iar celelalte frecvențe nu intervin deloc

Anomalii în Senzori de tip valoare constantă

Implementarea în *Simulink* a blocului de Detecție pentru acest tip de anomalie

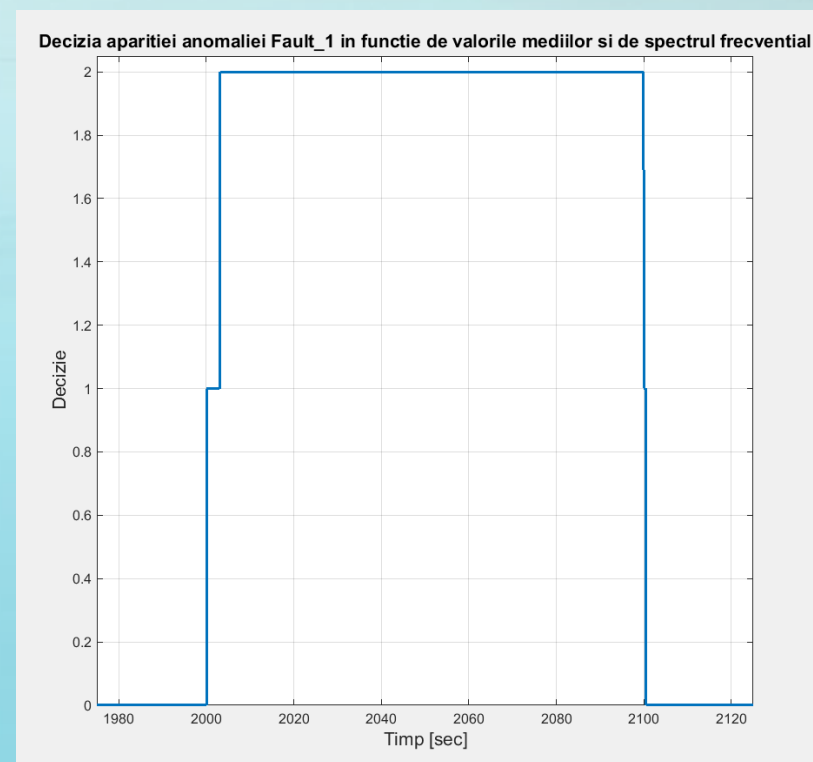
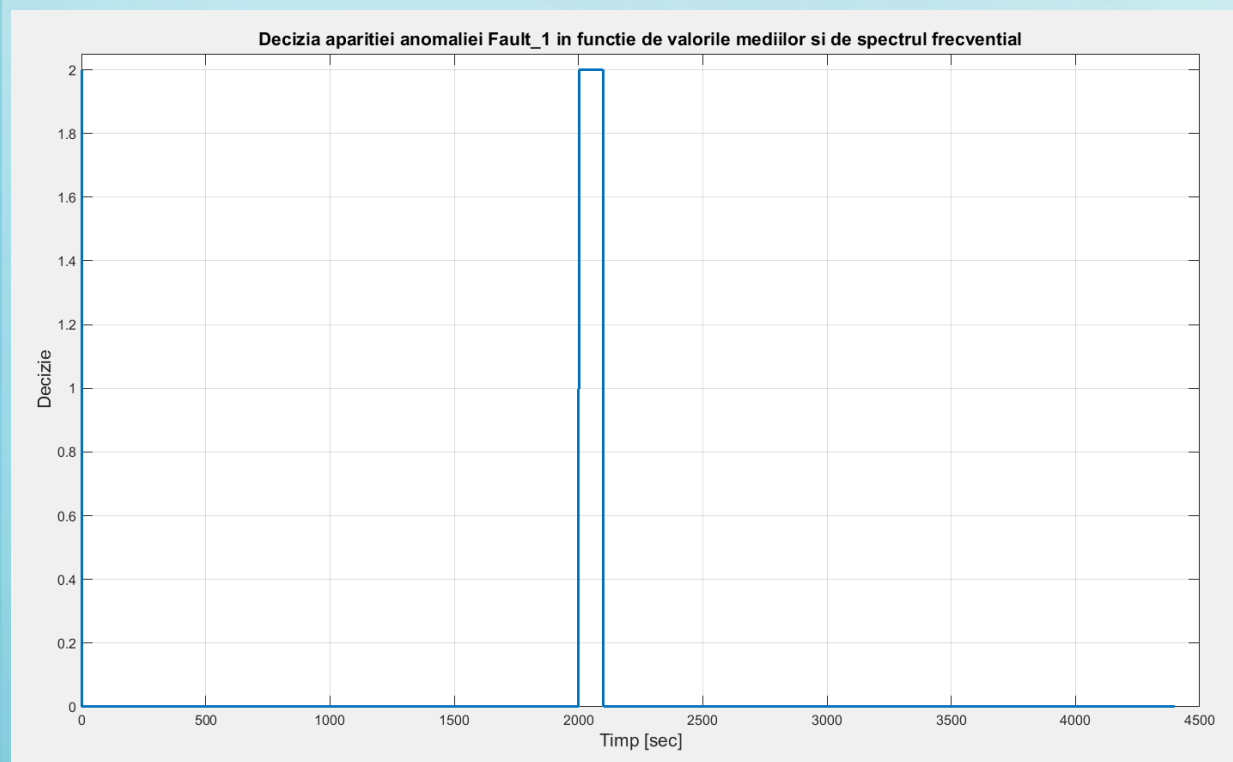


Anomalii în Senzori de tip valoare constantă

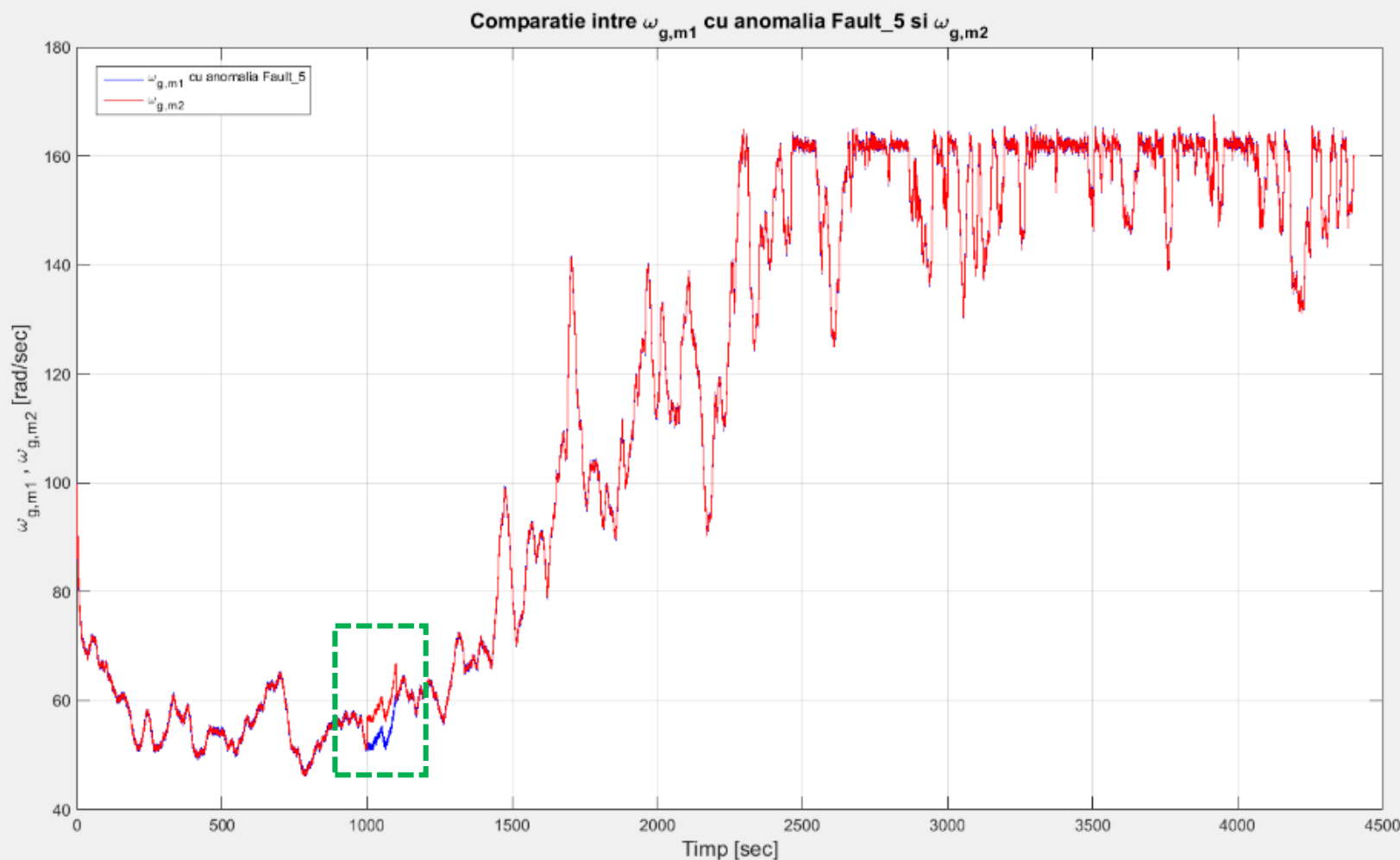
*Rezultatele detecției (bazate atât pe analiza mediilor cât și pe analiza spectrului frecvențial a ferestrelor temporale) a anomaliiei $Fault_1$ care intervine în intervalul **[2000, 2100] sec.***

Stare de avertizare (valoarea 1) → 3 secunde, respectiv 0,43 secunde → datorită diferenței dintre rezultatele celor două metode de analiză

Stare de avarie (valoarea 2) → restul intervalului



Anomalii în Senzori de tip multiplicativ



Efectul anomaliei Fault_5 (semnalul $\omega_{g,m1}$)

returnată

Intervalul de timp

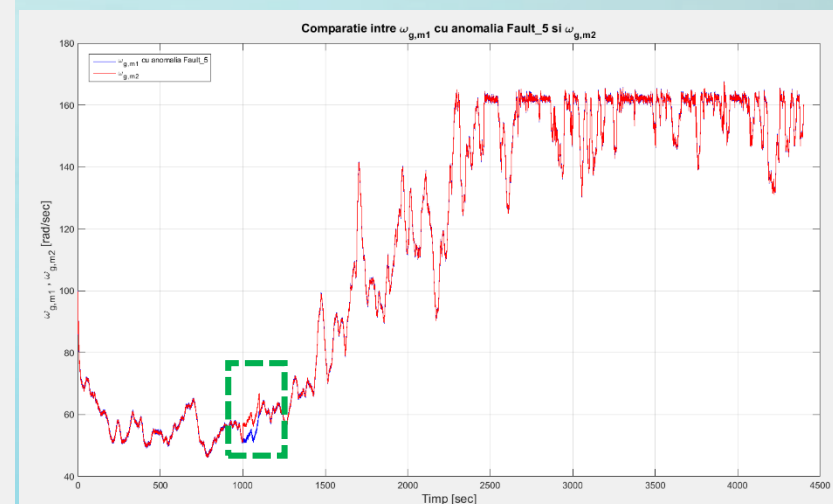
$$1,2 \cdot \beta_{2,m2}$$

[1800, 1900] sec

$$1,1 \cdot \omega_{r,m2}$$

[1000, 1100] sec

$$0,9 \cdot \omega_{g,m1}$$

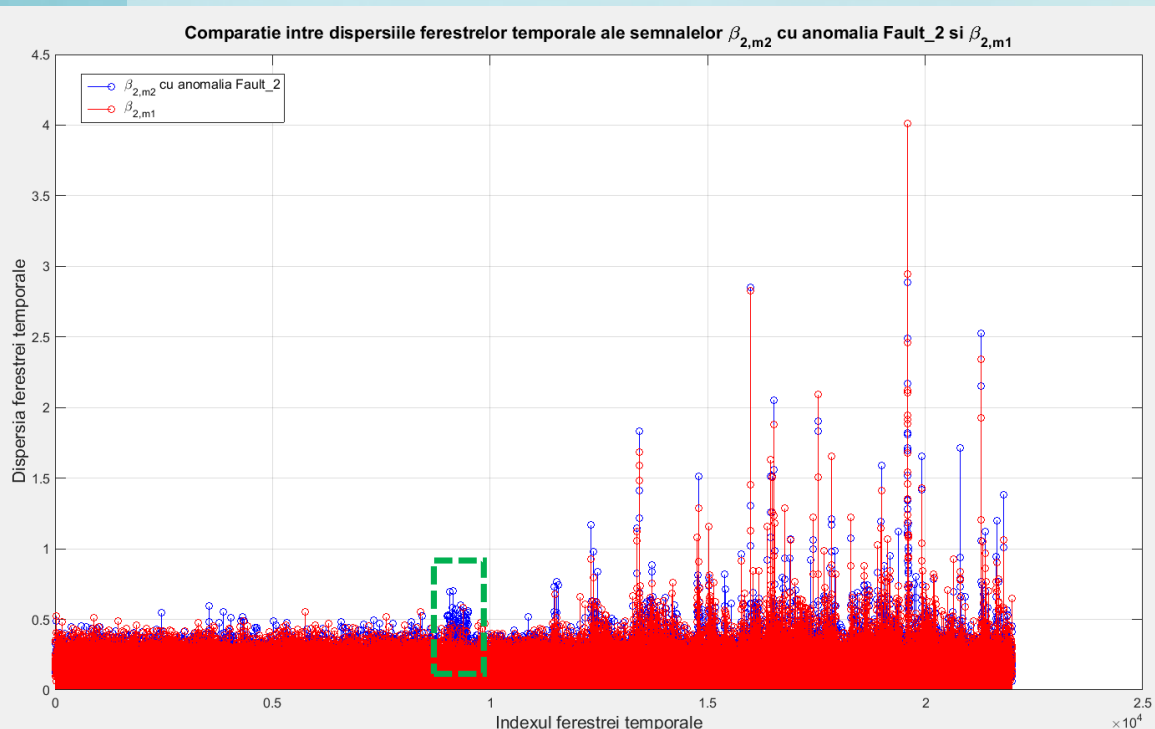


*Efectul anomaliei Fault_5
(semnalul $\omega_{g,m1}$)*

Anomalii în Senzori de tip multiplicativ

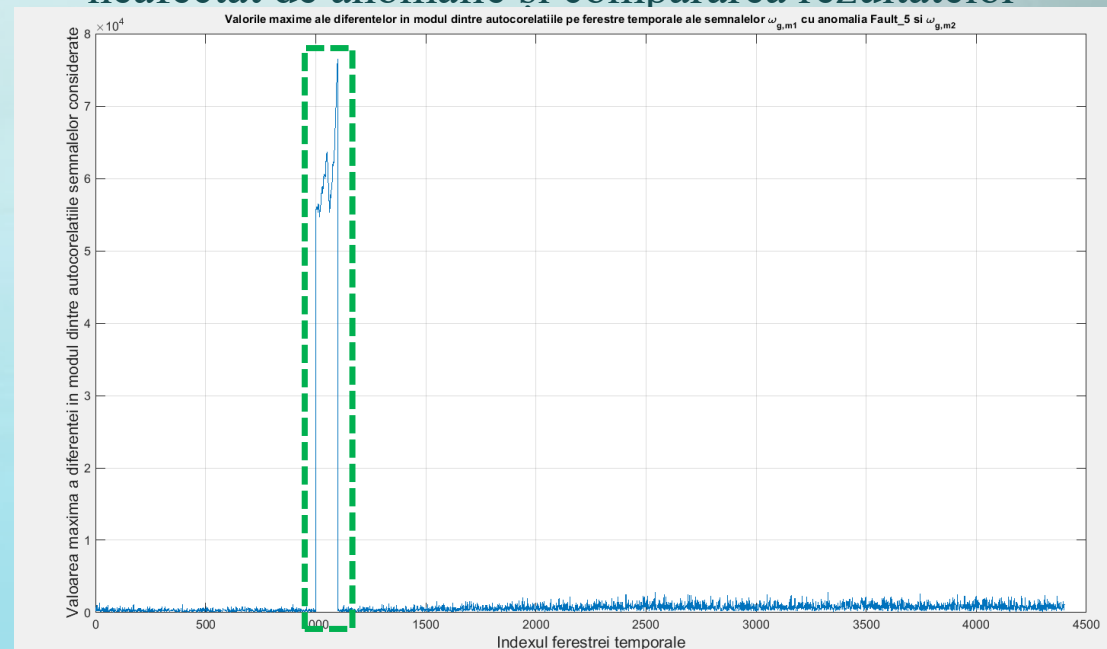
Detecția acestui tip de anomalie

Calcularea dispersiei valorilor returnate de către senzor, folosind ferestre temporale



Valorile obținute în urma calculării dispersiilor ferestrelor temporale de câte 20 eșantioane ale semnalului $\beta_{2,m2}$ afectat de anomalia *Fault_2*

Calcularea autocorelației semnalului de la ieșirea senzorului afectat de anomalie, respectiv de la senzorul redundant neafectat de anomalie și compararea rezultatelor

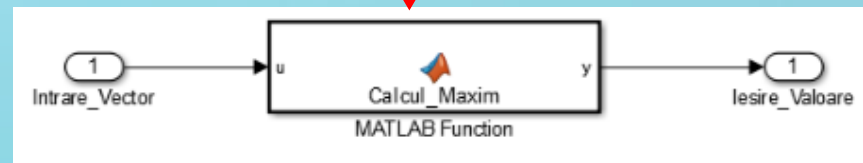
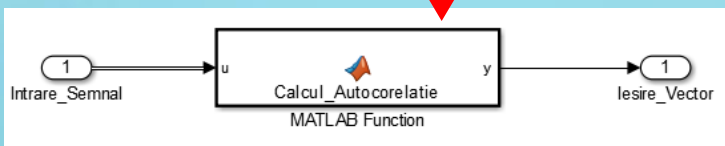
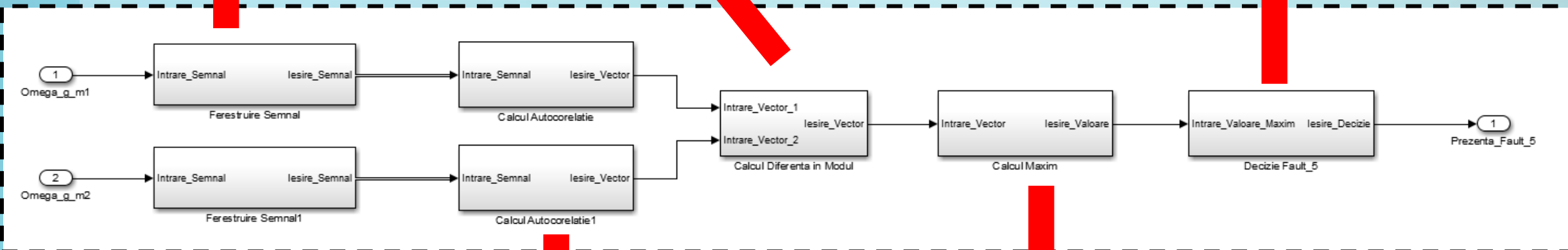
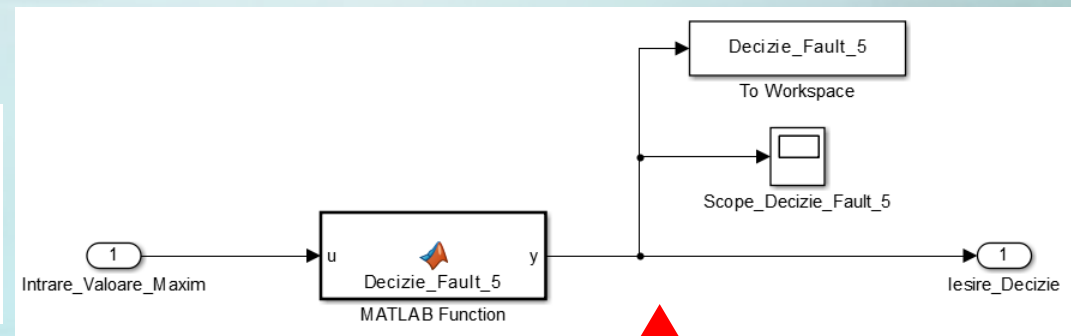
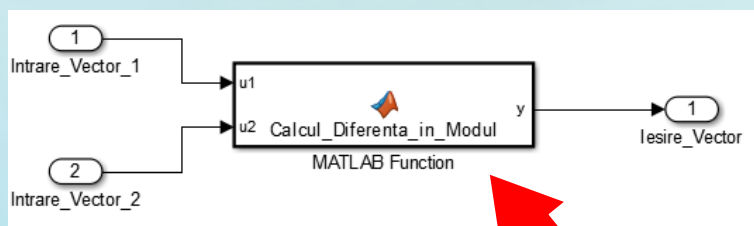
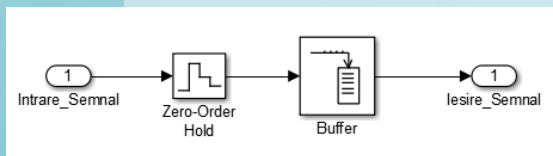


Valorile maxime ale diferențelor în modul dintre rezultatele autocorelațiilor semnalelor $\omega_{g,m1}$ afectat de anomalia *Fault_5* și $\omega_{g,m2}$, calculate pe ferestre temporale de 100 de eșantioane (1 sec)

Condiție → Se va verifica dacă valoarea maximă a diferenței în modul dintre gradele de autocorelație ale semnalelor $\omega_{g,m1}$ și $\omega_{g,m2}$ pentru o fereastră temporală depășește un anumit prag impus

Anomalii în Senzori de tip multiplicativ

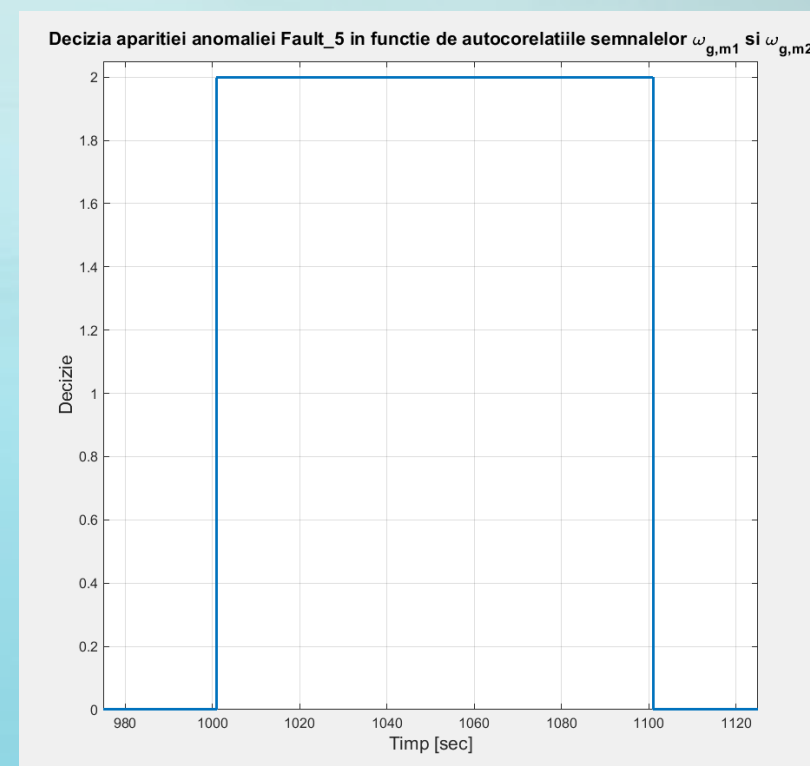
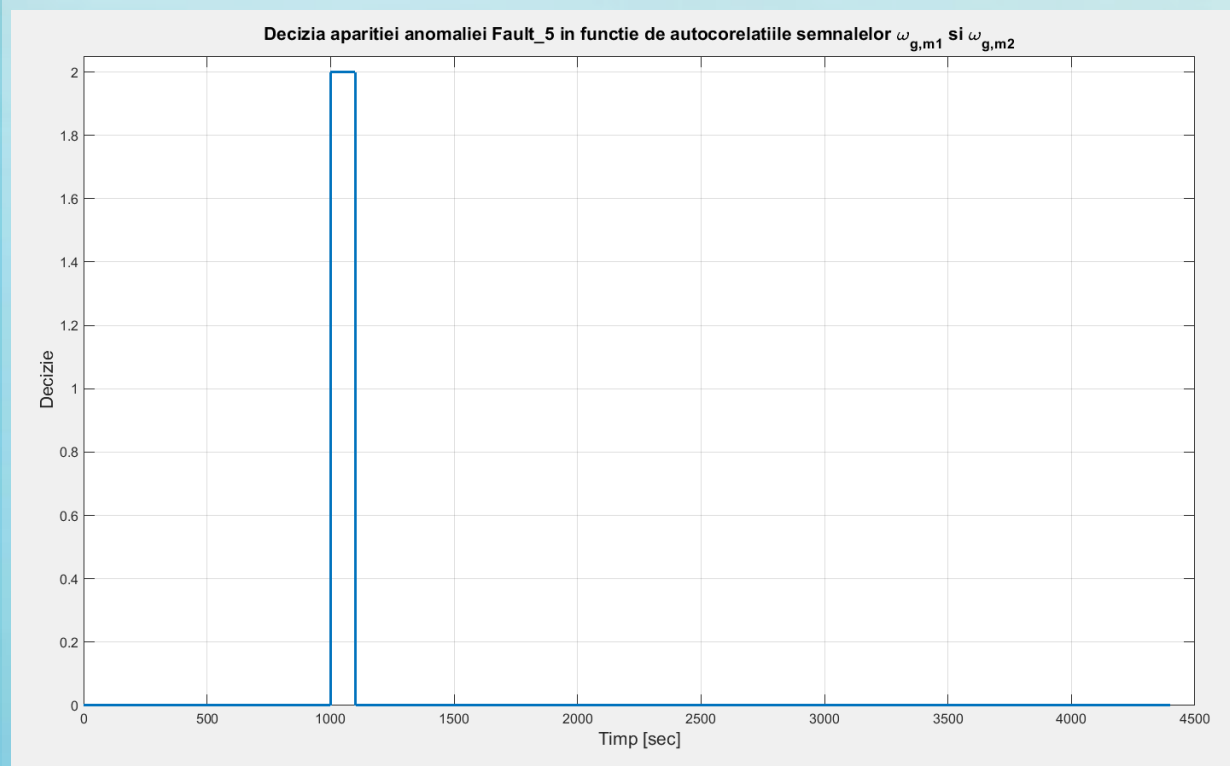
Implementarea în *Simulink* a blocului de Detecție pentru acest tip de anomalie



Anomalii în Senzori de tip multiplicativ

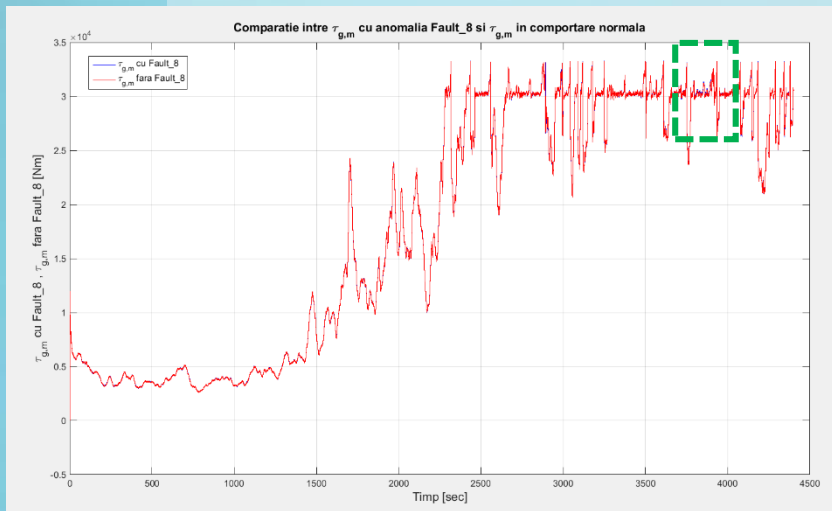
Rezultatele detecției (bazate pe autocorelația semnalelor $\omega_{g,m1}$ și $\omega_{g,m2}$) a anomaliei `Fault_5` care intervine în intervalul $[1000, 1100]$ sec.

Stare de avarie (valoarea 2) → de la 1001,01 sec până la 1101 sec

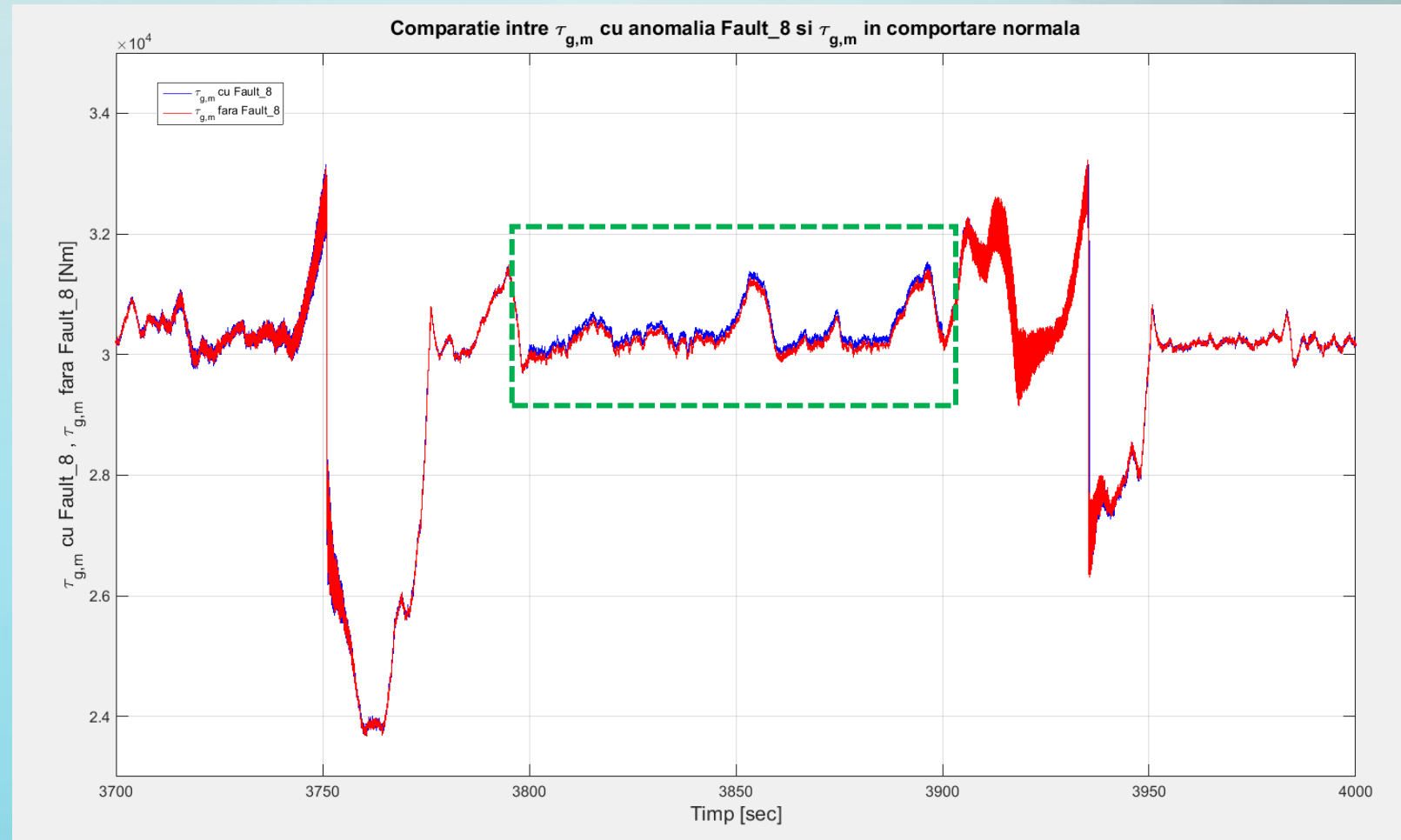


Anomalii în Elementul de Execuție de tip aditiv

Numele anomaliei	Componenta afectată de către anomalie	Valoarea returnată	Intervalul de timp
Fault_8	Convertizorul de cuplu	$\tau_g = \tau_g + 100 \text{ Nm}$	[3800, 3900] sec



Efectul anomaliei Fault_8

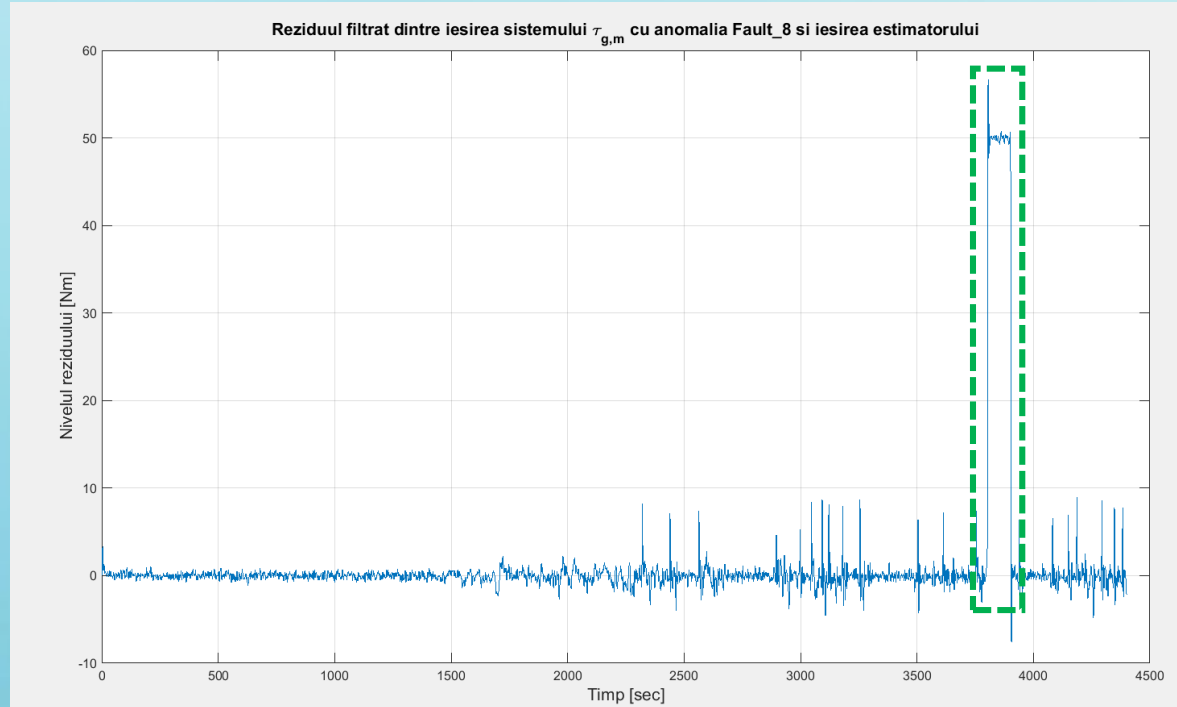
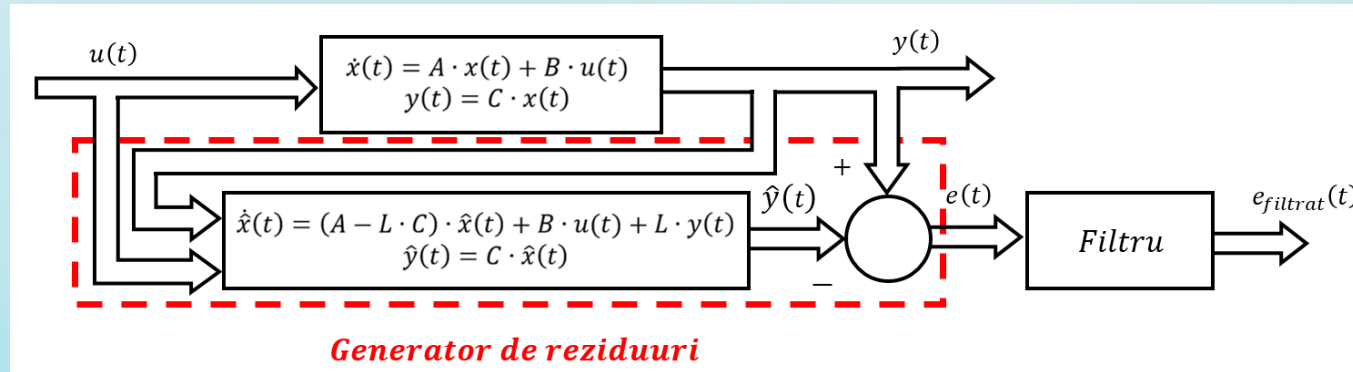


Efectul anomaliei Fault_8 (semnalul $\tau_{g,m}$)

Anomalii în Elementul de Execuție de tip aditiv

Detecția acestui tip de anomalie

Proiectarea unui estimator al elementului de execuție, **calcularea reziduului** și filtrarea acestuia

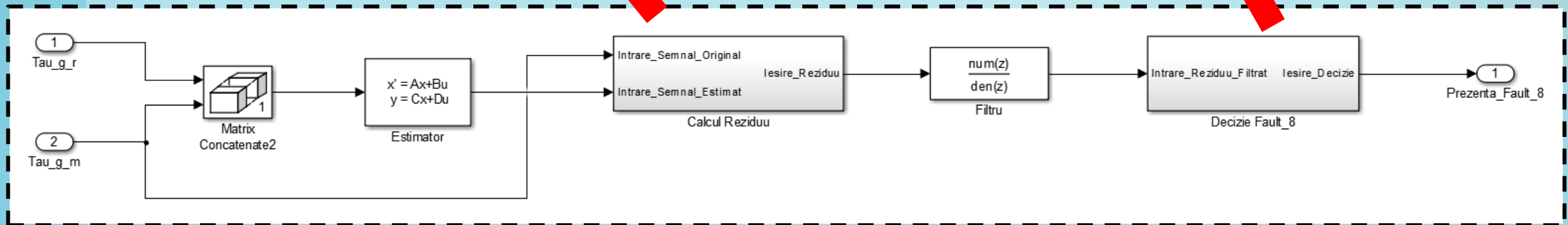
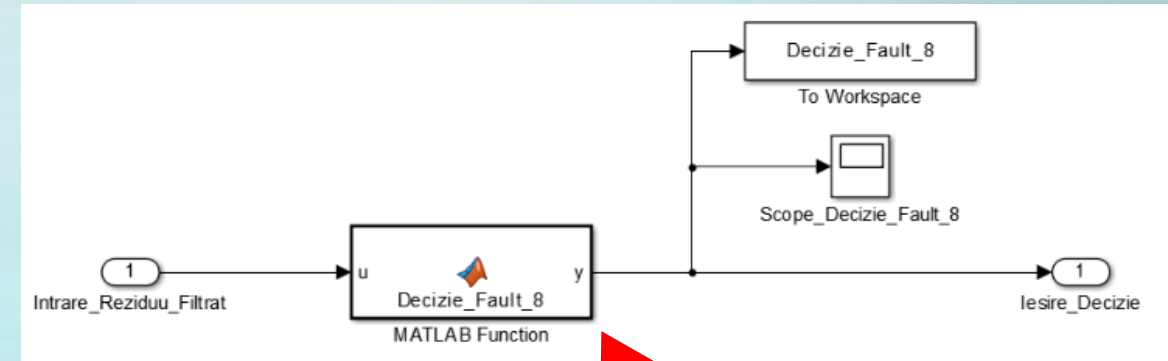
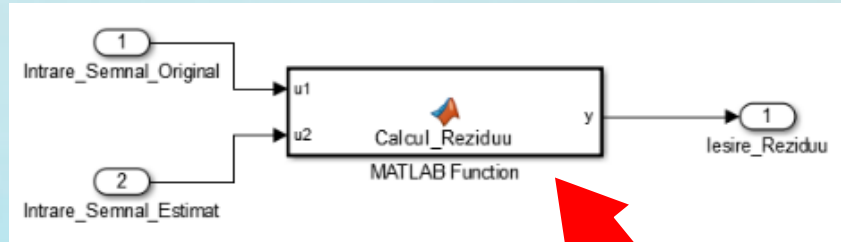


Reziduul filtrat dintre ieșirea sistemului $\tau_{g,m}$ afectat de anomalia Fault_8 și ieșirea estimatorului



Anomalii în Elementul de Execuție de tip aditiv

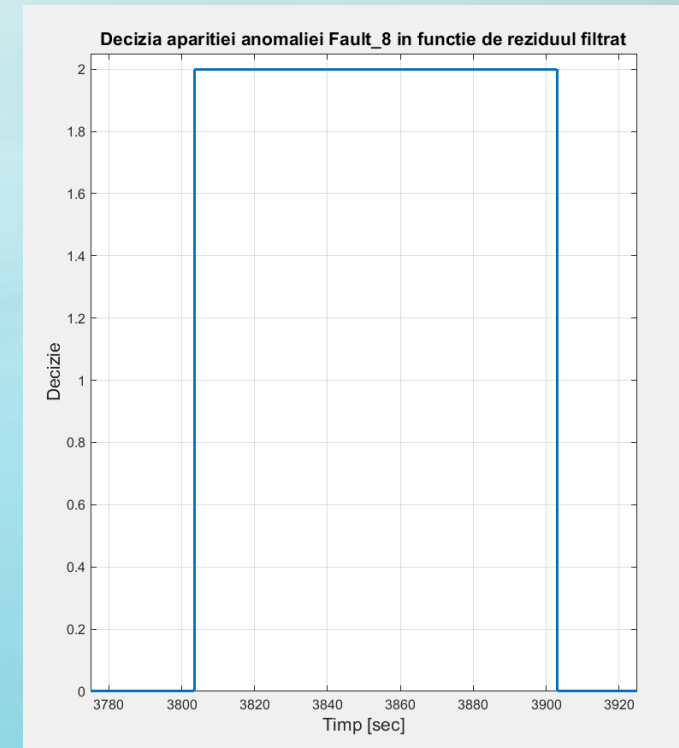
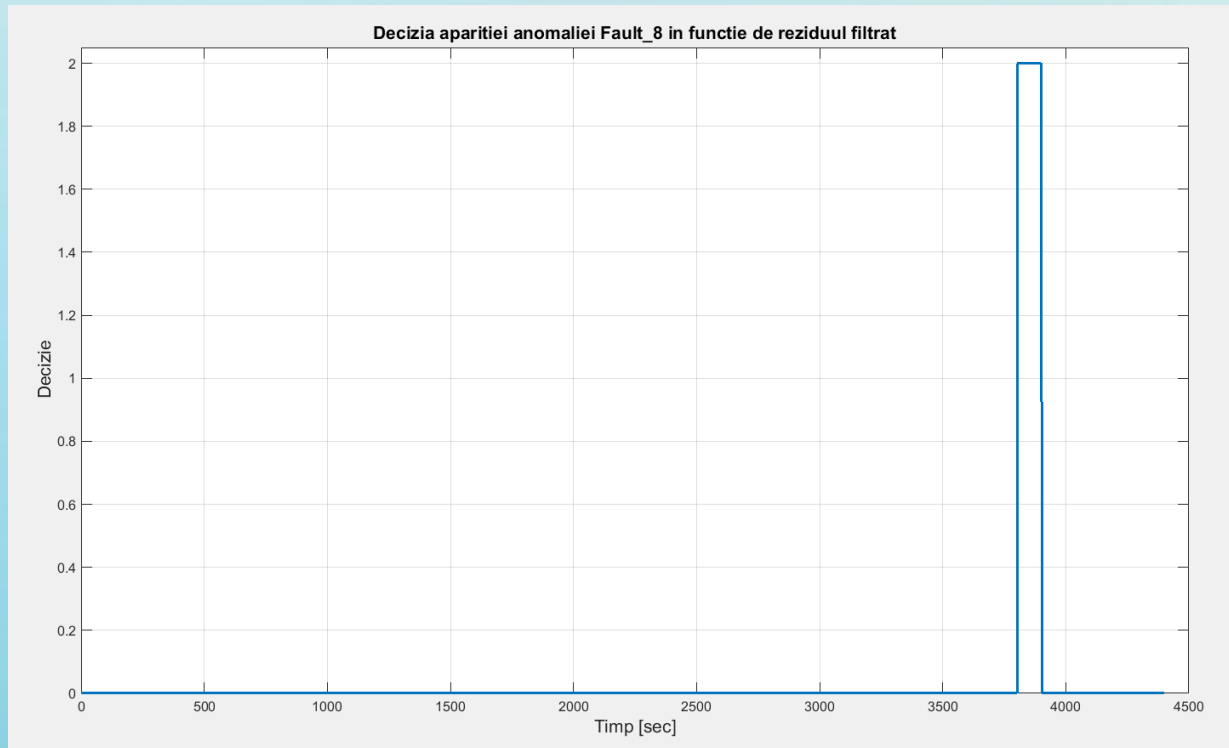
Implementarea în *Simulink* a blocului de Detecție pentru acest tip de anomalie



Anomalii în Elementul de Execuție de tip aditiv

Rezultatele detecției (bazate pe reziduul dintre semnalul $\tau_{g,m}$ și estimația sa) a anomaliei *Fault_8* care intervine în intervalul **[3800, 3900] sec.**

Stare de avarie (valoarea 2) → de la **3803,56 sec** până la **3903,07 sec**

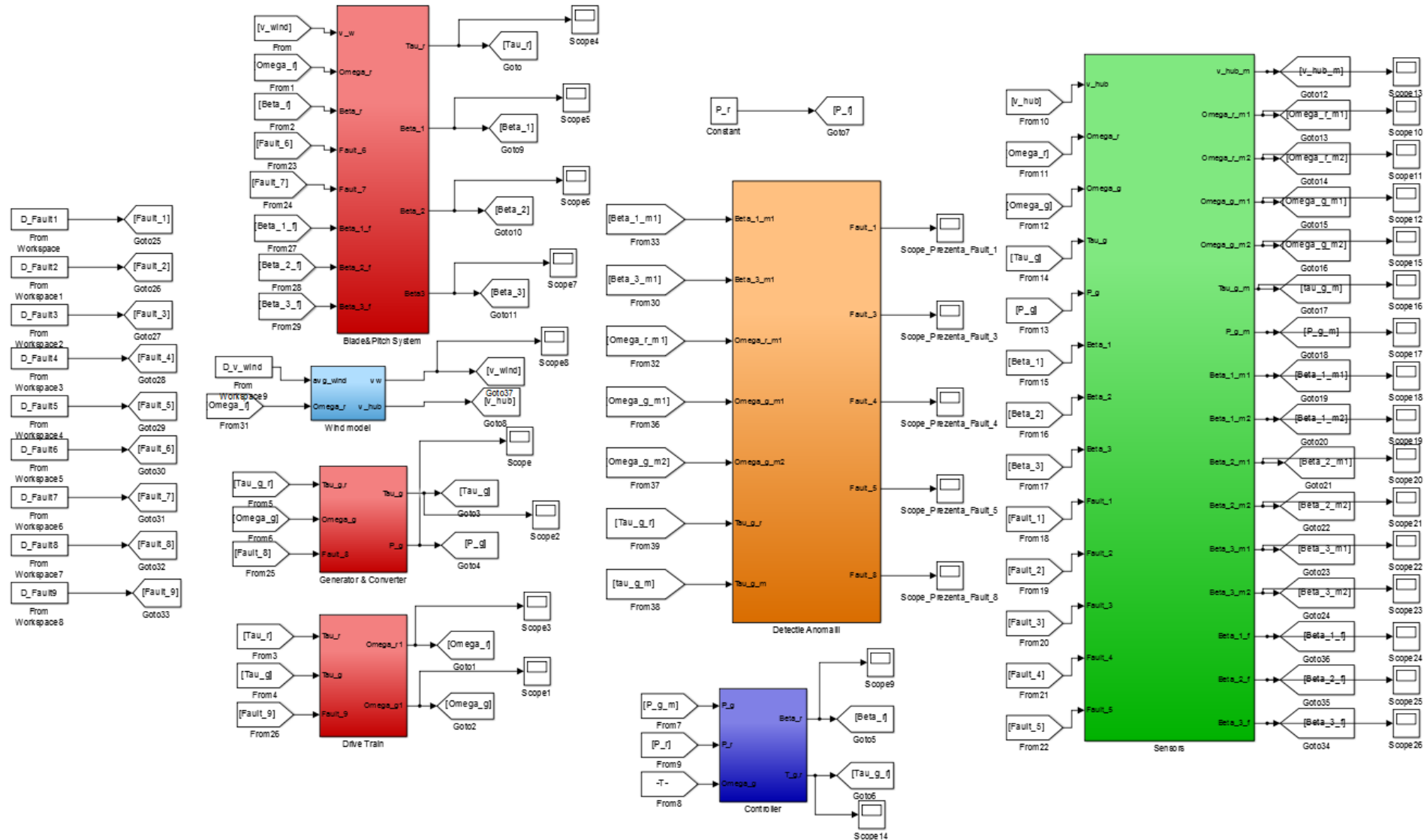


Implementarea practică

Modelul centralei eoliene împreună cu blocul de detecție al anomaliilor

Toa

ncipal.



Concluzii

Scopul lucrării :

- căutarea unor metode de detecție și localizare a anomaliilor de diverse tipuri care pot afecta o centrală eoliană
- testarea acestor metode pe un model al unei centrale eoliene reale
- implementarea unui bloc de detecție a anomaliilor care să funcționeze în timp real

Îmbunătățiri ale soluțiilor găsite :

- găsirea mai multor metode de detecție a anomaliilor studiate și corelarea acestora astfel încât să existe mai multe nivele de avertizare, iar decizia semnalizării stării de avarie să fie mult mai sigură

Dezvoltări ulterioare :

- implementarea unui control tolerant la anomalii
- testarea mai multor metode de diagnoză bazată pe model (filtru *Kalman*, rețele neuronale probabilistice)
- testarea unei abordări de diagnoză bazată pe *Transformata Wavelet*

