



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2016 00660

(22) Data de depozit: 20/09/2016

(41) Data publicării cererii:  
30/03/2018 BOPI nr. 3/2018

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN  
CLUJ-NAPOCA, STR. MEMORANDUMULUI  
NR.28, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(72) Inventatori:  
• MUREȘAN CRISTINA-IOANA,  
STR. TULGHEȘULUI NR. 10, AP. 3,  
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;  
• DULF EVA- HENRIETTA, STR. LIVEZII  
NR. 28, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(54) **PROCEDEU DE ACORDARE A REGULATOARELOR  
FRAȚIONARE PENTRU PROCESE MULTIVARIABILE  
CU TIMPI MORȚI (MIMO FO-IMC)**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de acordare a regulatoarelor fracționare pentru procese multivariabile cu timpi morți. Procedeu conform invenției constă în definirea de către utilizator a modelului procesului multivariabil pentru care se dorește proiectarea regulatoarelor, prin introducerea parametrilor: amplificări, constante de timp și timpi morți, urmată de realizarea unei analize RGA (Relative Gain Array) pentru alegerea semnalelor de intrare-ieșire din sistemul multivariabil pentru care se vor proiecta regulatoarele, etapă urmată

de introducerea specificațiilor de performanță dorite, pentru fiecare buclă de reglare, sub forma unor criterii legate de frecvența de tăiere,  $\omega_{gc}$ , și marginea de fază,  $\phi_m$ , și calcularea automată a parametrilor regulatorului în baza ecuațiilor:  $\alpha\pi/2 = \pi - \phi_m$  și  $\lambda = 1/\omega_{gc}^\alpha$ , unde  $\alpha$  este ordinul fracționar al filtrului IMC (Internal Model Controller), iar  $\lambda$  este o constantă de timp.

Revendicări: 2  
Figuri: 10



## DESCRIEREA INVENȚIEI

### Procedeu de acordare a reguletoarelor fracționare pentru procese multivariabile cu timpi morți (MIMO FO-IMC)

Reguletoarele de ordin fracționar reprezintă o generalizare a reguletoarelor clasice, având avantajul de a permite asigurarea a mai multor specificații de performanță, inclusiv robustețea sporită a algoritmilor de reglare. Datorită complexității acestor reguletoare, aplicabilitatea lor a fost restrânsă la procesele cu o intrare și o ieșire, relativ recent apărând și studii legate de aplicabilitatea acestora la procesele multivariabile. La ora actuală, există o serie de procedee pentru acordarea sau implementarea strict a unor reguletoare de tip PID fracționar, exclusiv pentru procese cu o intrare și o ieșire.

Potrivit invenției, se propune un procedeu adecvat proiectării unor **reguletoare avansate de ordin fracționar** pentru procese multivariabile și cu timpi morți. Procedeu are la bază o structură de reglare descentralizată, în timp ce reguletoarele fracționare sunt calculate pe baza abordării IMC (Internal Model Controller). Structura unui astfel de regulator, prezentată simplificat, pentru o singură buclă de reglare, este:

$$H_{FO-IMC}(s) = \frac{T_s + 1}{k} \frac{1}{\lambda s^\alpha + 1}$$
 Algoritm de reglare utilizat presupune un procedeu direct,

mult mai simplu, ușor de implementat, în comparație cu algoritmi existenți, pentru determinarea parametrilor regulatorului fracționar IMC, și anume: ordinul fracționar al filtrului IMC, notat  $\alpha$ , respectiv constanta de timp, notată  $\lambda$ .

Brevete cu conținut asemănător discută metodele de proiectare automată a unor reguletoare PID clasice, adică de ordin întreg (de exemplu în „METHOD FOR AUTOMATICALLY TUNING PID GAIN IN DIGITAL GOVERNOR CONTROL APPARATUS”, WO2016080613 (A1)). După cunoștința noastră brevet care implică calculul fracționar se referă doar la modelarea matematică: „METHOD OF IDENTIFYING COMPLEX CONTROLLED OBJECT OF FRACTIONAL ORDER”, RU2592464 (C1), la metode de control empirice: „Fractional order-based adaptive fuzzy sliding-mode control method for active power filter”, CN105610163 (A) sau cu aplicații specifice: „Nonlinear fractional order auto disturbance rejection damping control method of doubly fed induction generators”- CN105554862 (A), „Fractional order step optimal ITAE speed control method for permanent magnet synchronous motor”- CN105391352 (A), dar nimeni nu oferă soluții generale, aplicabile oricărui proces cu timp mort, așa cum oferă prezenta propunere.



**Originalitatea procedului** potrivit invenției constă în simplificarea acordării reguletoarelor IMC fracționar pentru procese multivariabile și cu timpi morți. Pașii necesari folosirii interfeței aferente procedului sunt:

1. Se pornește aplicația tastând „mimopar” în mediul Matlab®. Panoul principal este prezentat în Figura 1.
2. Se definește de către utilizator modelul procesului multivariabil pentru care se dorește proiectarea reguletoarelor de ordin fracționar, prin introducerea parametrilor: amplificări  $k$ , constante de timp  $T$  și timpi morți în căsuțele din stânga sus ai panoului, Figura 2.
3. Se realizează o analiză RGA (Relative Gain Array), pentru alegerea perechilor de semnale de intrare-ieșire din sistemul multivariabil pentru care se vor proiecta reguletoarele, apăsând butonul „RGA”, Figura 3. Această analiză se realizează automat, în baza datelor de identificare ale procesului multivariabil, introduse de către utilizator.
4. Se introduc specificațiile de performanță dorite, pentru fiecare buclă de reglare în parte, sub forma unor criterii legate de frecvență de tăiere,  $\omega_{gc}$ , și margine de fază,  $\varphi_m$ , Figura 4.
5. Conform acestor criterii, aplicația va calcula automat parametrii reguletoarelor multivariabil de tip IMC fracționar, în baza ecuațiilor:  $\frac{\alpha\pi}{2} = \pi - \varphi_m$  și  $\lambda = \frac{1}{\omega_{gc}^\alpha} = \omega_{gc}^{-\alpha}$ , apăsând butonul „Controller parameters”, Figura 5.
6. Pentru a se putea simula rezultatele obținute în Matlab®, se aproximează reguletorul de ordin fracționar cu o serie de reguletoare de ordin întreg. Ordinul de aproximare dorit se introduce de către utilizator în căsuța prevăzută în colțul de stânga jos din interfață, Figura 6.
7. Prin apăsarea butoanelor „Plot:R1=0,R2=1” sau „Plot:R1=1,R2=0” se pot vizualiza răspunsurile indiciale corespunzătoare obținute, Figura 7.
8. Ieșirea se realizează prin apăsarea butonului „EXIT”, Figura 8.

Spre deosebire de procedeele existente la ora actuală, procedeul propus prin invenția de față generează automat parametrii reguletoarelor, dar în același timp permite și analiza și validarea rezultatelor în buclă închisă. Datorită simplității, timpului foarte de scurt de obținere a parametrilor reguletoarelor multivariabil IMC fracționar și a eficacității procedului, este ușurată foarte mult posibilitatea implementării directe a algoritmului de reglare rezultat



procese și instalații reale. În general, proiectarea și implementarea acestor algoritmi este greoaie, necesită un timp foarte lung și experiență în teoria calculului fracționar din partea utilizatorului. Invenția asigură din acest punct de vedere, posibilitatea proiectării unor astfel de regulatoare, fără cunoștințe suplimentare ale utilizatorului legate de calculul fracționar.

În Figura 9 sunt redate rezultatele obținute în mediul de simulare Matlab®, utilizând algoritmul de reglare propus pentru un proces multivariabil folosit ca și studiu de caz. Pentru comparație, sunt prezentate și răspunsurile experimentale obținute utilizând regulatorul generat automat de către procedeul propus. Este ușor de constatat o foarte bună echivalență între rezultatele obținute (simulare Matlab®, respectiv experimental, utilizând interfața procedeului propus), dovedind aceeași precizie, eficacitate și corectitudine a metodei propuse.

În Figura 10 este redată o schemă a standului experimental utilizat ca și studiu de caz, reglarea nivelului într-un sistem de rezervoare.



*Adrian S.*

## REVENDICĂRI

1. Procedeu adecvat proiectării unor regulatoare avansate de ordin fracționat pentru procese multivariabile și cu timpi morți **caracterizat prin aceea că** folosește un algoritm de reglare aplicabil în mod direct, mult mai simplu, ușor de implementat, în comparație cu algoritmi existenți, pentru determinarea parametrilor regulatorului fracționat.
2. Procedeu conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** generează automat parametrii regulatorului, dar în același timp permite și analiza și validarea rezultatelor în buclă închisă.



*Redevis*

DESENE

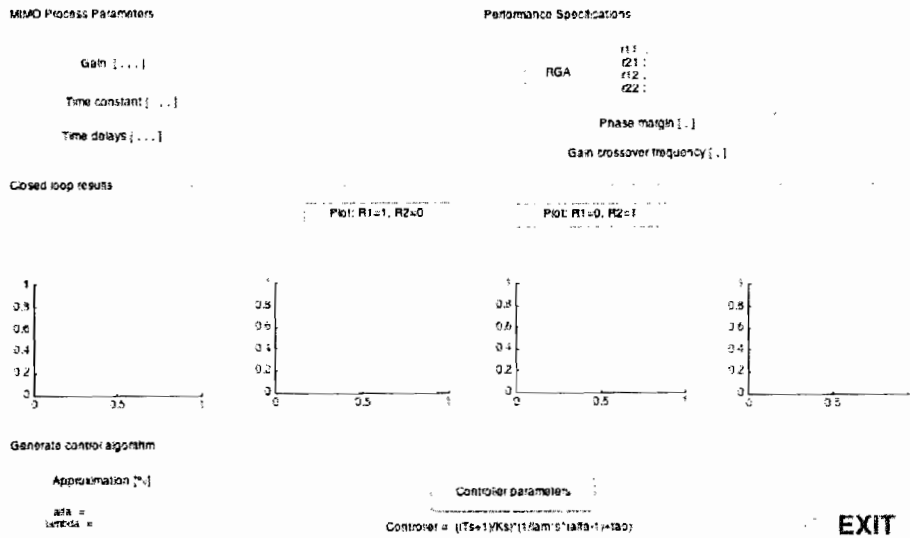


Figura 1. Interfața procedului pentru proiectarea reguletoarelor MIMO FO-IMC

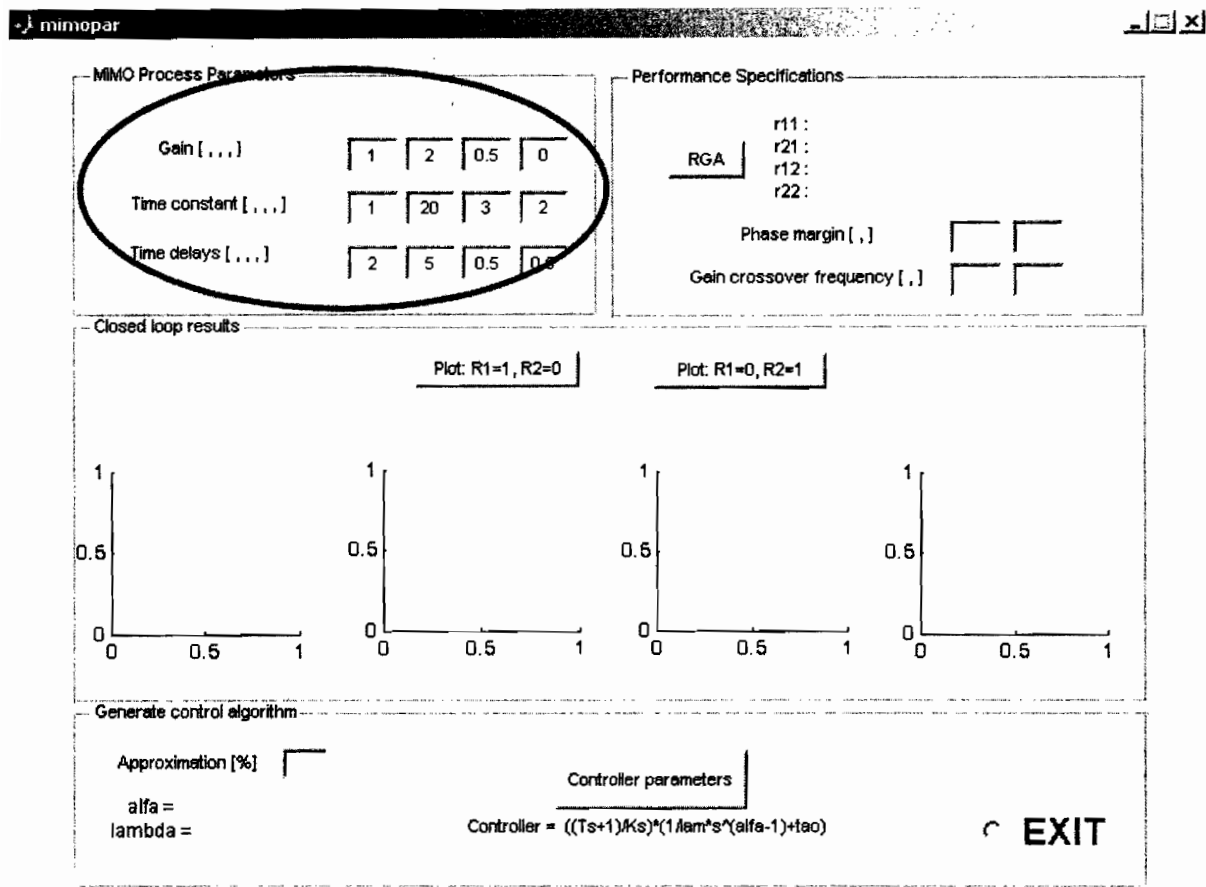


Figura 2. Definirea parametrilor procesului



mimopar

MIMO Process Parameters

Gain [...]	1	2	0.5	0
Time constant [...]	1	20	3	2
Time delays [...]	2	5	0.5	0.5

Performance Specifications

**RGA**

r11: 8.32667e-0  
r21: 17  
r12: 1  
r22: 1

Phase margin [.]

Gain crossover frequency [.]

Closed loop results

Plot: R1=1, R2=0

Plot: R1=0, R2=1

Generate control algorithm

Approximation [%]

Controller parameters

Controller =  $((Ts+1)/Ks)^*(1/\lambda m*s^{(\alpha-1)}+t_{ao})$

EXIT

Figura 3. Analiza RGA



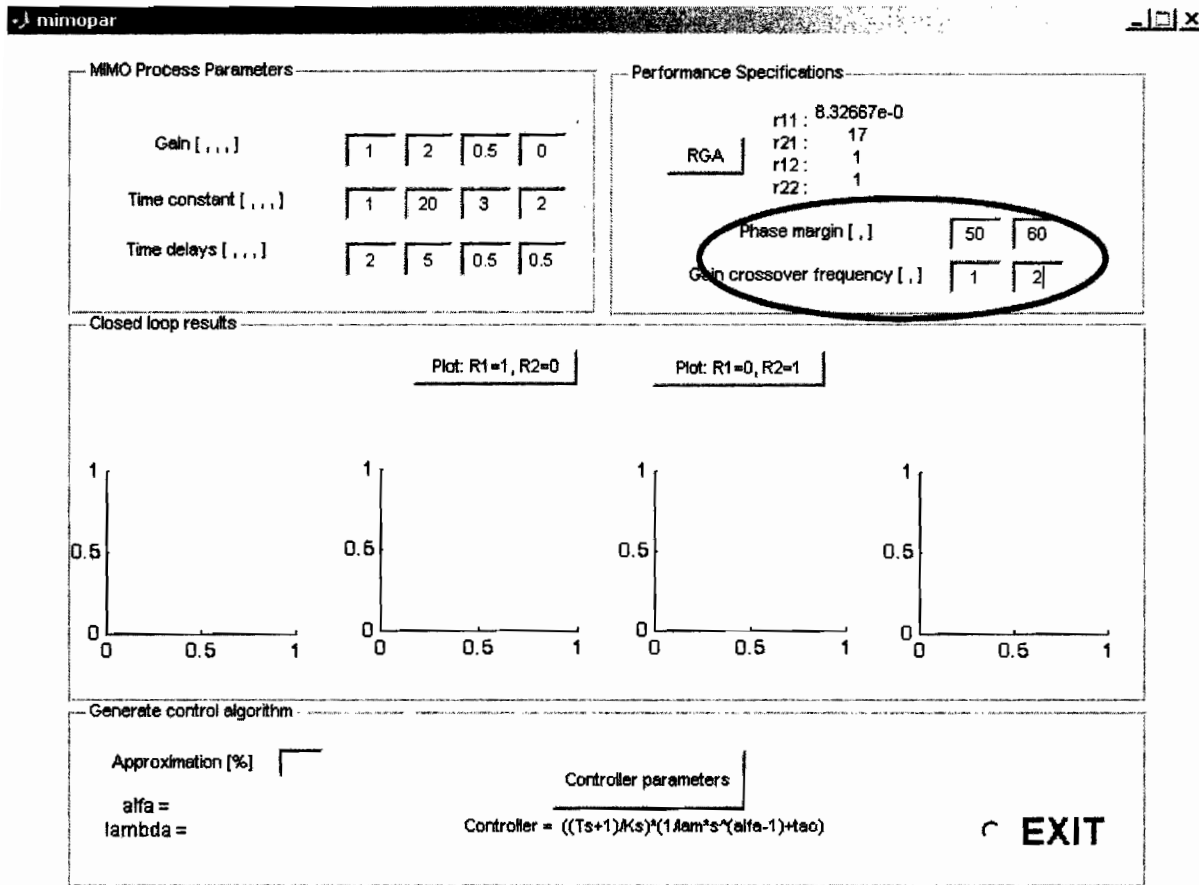


Figura 4. Introducerea specificațiilor de performanță

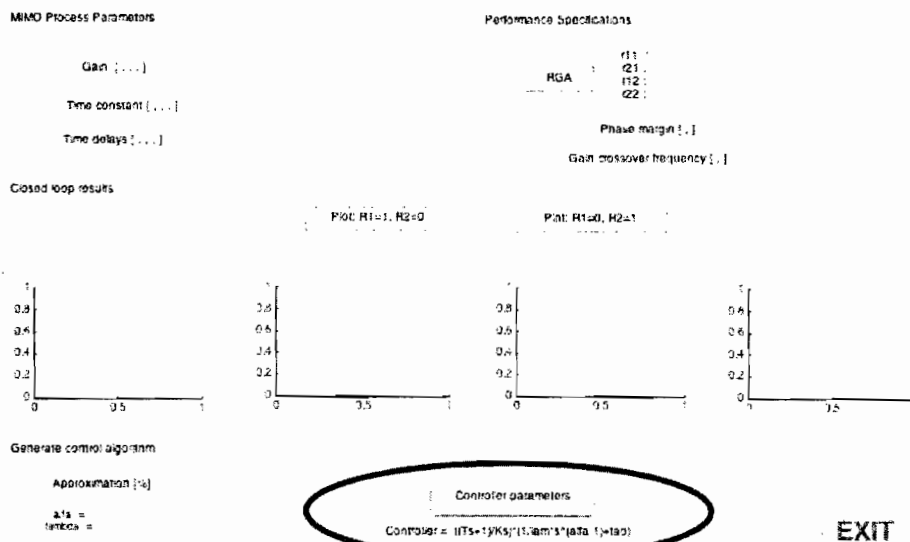


Figura 5. Proiectarea propriu-zisă a reguletoarelor de ordin fracționar





15

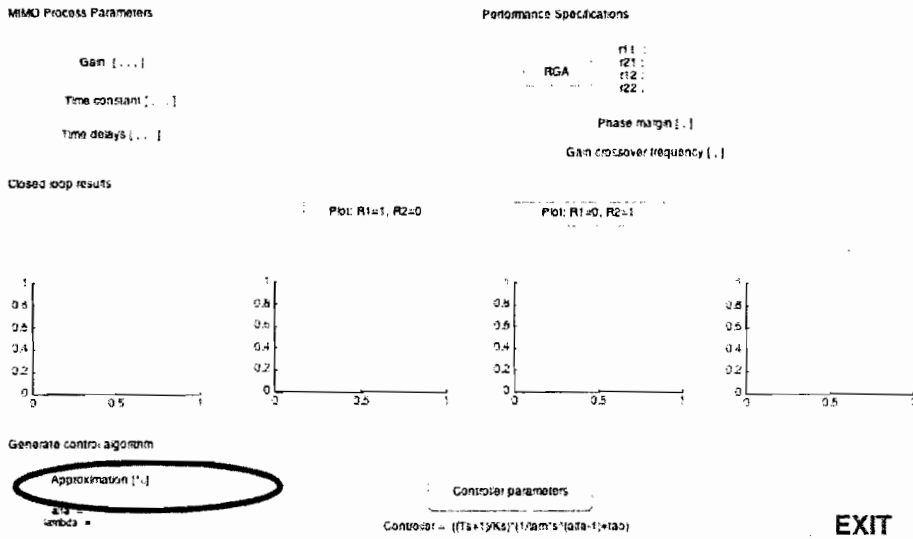


Figura 6. Introducerea ordinului de aproximare a regulatorului de ordin fracționar

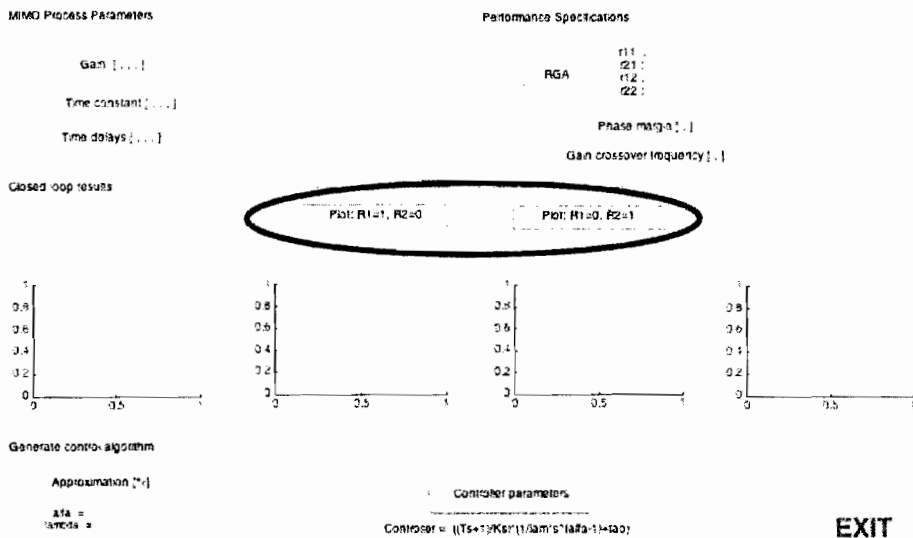


Figura 7. Afișarea rezultatelor



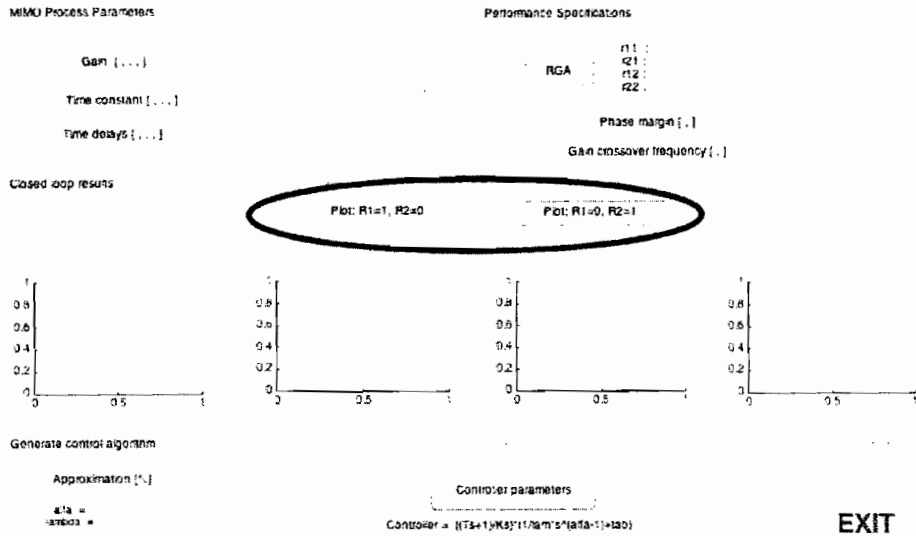


Figura 8. Ieșirea din aplicație

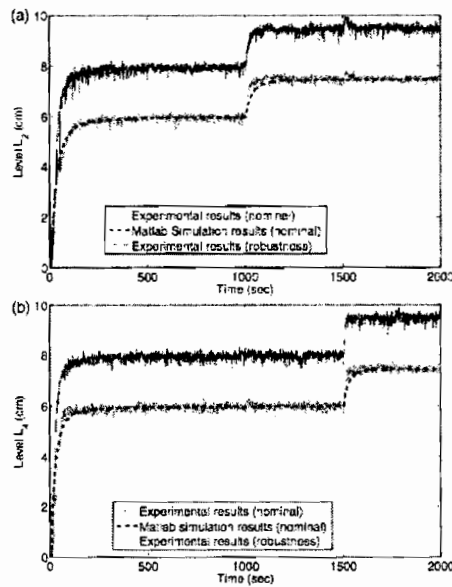


Figura 9. Rezultate experimentale obținute utilizând regulatorul proiectat cu procedeul propus



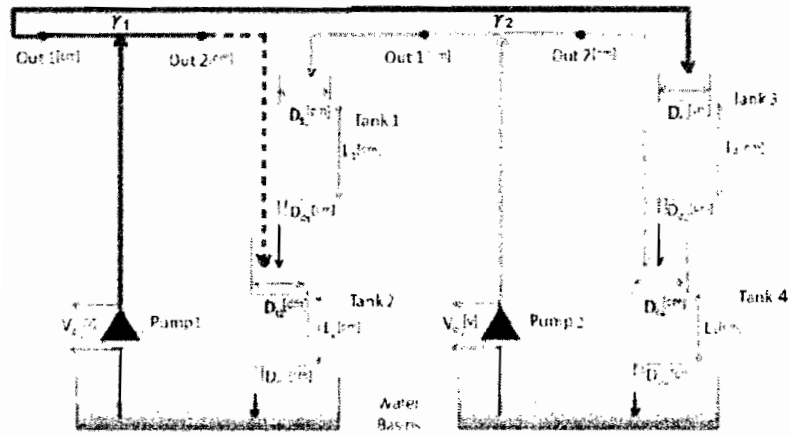


Figura 10. Sistem de rezervoare – studiu de caz experimental

