

REZUMAT – TEZĂ DE DOCTORAT

Soluții de Conducere Automată cu Hardware-In-The-Loop și Sistem SCADA pentru Proces Tip Boiler-Turbină în Centrale Electrice de Termoficare

Autor: ing. Mihai IACOB

Conducător științific: Prof.dr.ing. Gheorghe-Daniel ANDREESCU

Teză susținută public în data de: 17.02.2012

Capitolul 1 - Introducere și Motivație

Se prezintă mai întâi, pe scurt, situația energetică bazată pe combustibili fosili la nivel global, european și național sprijinită pe proiecții de necesitate energetică Fig.1. Deasemenea, se prezintă: i) concepte de proces privind centrale electrice de termoficare (C.E.T.), randament și funcționalitate și ii) concepte moderne de implementare și testare a strategiilor de conducere automată pentru C.E.T. Fig.2. La final se descrie motivația tezei la nivel de necesitate în implementarea strategiilor de conducere avansate pentru îmbunătățirea răspunsurilor centralelor precum și utilitatea modelării (modele adaptate la C.E.T. Sud Timișoara) și a platformelor de testare pentru strategiile de conducere.

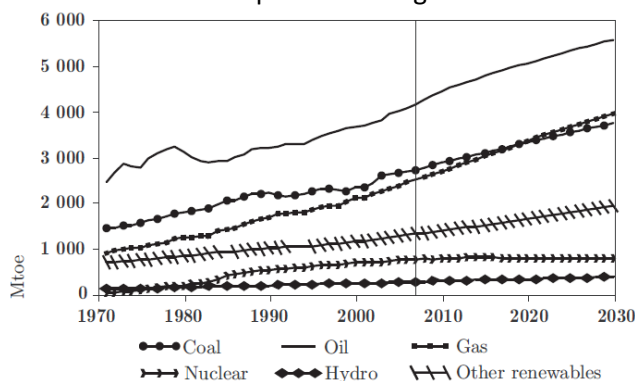


Fig.1. Cerere de energie globală prin combustibili fosili

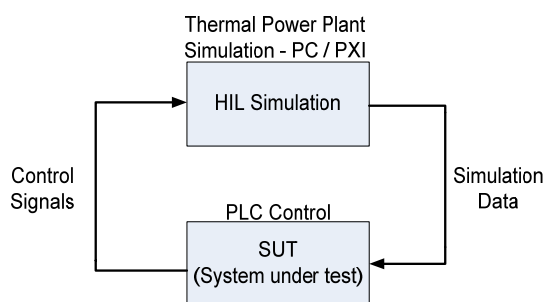


Fig.2. Principiul platformei de test utilizând HIL

Principalele obiective ale tezei sunt:

- Oferirea cunoștințelor necesare în vederea proiectării, integrării și îmbunătățirii strategiilor de conducere automată în centrale electrice de termoficare.
- Realizarea unor simulatoare utilizând principii moderne: „*Hardware-in-the-Loop*” și „*Real-time*” pentru testare/validare/integrare rapidă a strategiilor de conducere propuse pentru C.E.T., și deasemenea pentru instruire dispeceri în vederea obținerii de performanțe superioare în conducerea și operarea proceselor din centrale electrice de termoficare.

Aceste obiective principale sunt realizate prin următoarele:

- Platformă SCADA (hardware și software) pentru integrare conducere automată: proiectarea și execuția unui sistem SCADA pentru COLTERM, C.E.T. Sud Timișoara - *Capitolul 2*.
- Oferirea unui punct de plecare pentru implementare reglaj automat și simulatoare utilizând platforme SCADA, bazate pe aplicații cu tehnologie de ultimă oră: National Instruments și Siemens Automation - *Capitolele 3 & 5*.
- Abordarea fenomenelor fizice din C.E.T. prin implementare/extindere/adaptare a 3 modele (model de ordin redus, model complex cu parametri distribuiți bazat pe legi fizice bine definite, model bazat pe aproximări liniare) – *Capitolele 3 & 4*.
- Proiectare, implementare și testare a 2 strategii de conducere automată (conducere în cascadă cu reglatoare PI, conduce multivariabilă decuplată cu gain-scheduling) pentru sistemul centralizat SCADA – *Capitolele 3 & 4*.

- Dezvoltarea a 2 platforme de test cu echipamente industriale pentru implementarea și testarea metodelor de conducere automată propuse utilizând principiile moderne precum hardware-in-the-loop și real time– *Capitolul 5.*
- Analiză de risc, asupra scenariilor wireless de conducere automată aplicate pe actuatori de proces, atunci când magistralele și cablurile nu sunt o soluție fiabilă - *Capitolul 5.*

Capitolul 2 - Sistem SCADA/DCS pentru Centrala Electrică de Termoficare Sud, Timișoara ca Platformă de Integrare pentru Soluții de Conducere Automată

Capitolul 2, prezintă sistemul SCADA proiectat, implementat și pus în funcție pentru C.E.T. Sud Timișoara. Inițial sunt prezentate avantajele utilizării sistemelor SCADA, DCS și PLC în sistemele moderne de control al proceselor. Apoi, este descrisă necesitatea introducerii unui nou sistem SCADA la centrala electrică de termoficare Timișoara-Sud, precum și arhitectura acestui sistem din punct de vedere hardware și software, Fig.3. Sistemul permite monitorizarea unui număr mare de intrări binare și analogice precum și transmiterea unor comenzi binare pentru dispozitivele electrice de câmp, utilizând echipamente și software Siemens. Utilizarea unor servere de rezerva (redundante) și aplicații bazate pe web permit acționarea la distanță și monitorizarea continuă a procesului. Caracteristicile software și hardware ale sistemului SCADA converg către un sistem robust pregătit pentru a accepta soluții de conducere automată.

Sistemul prezintă următoarele avantaje:

- Operare și monitorizare la distanță.
- Imagini sinoptice sugestive, Fig.4.
- Grafice de evoluție bazate pe arhive.
- Arhivare și sistem de alarmare ușor de interpretat, Fig.5.
- Avantaje fizice: flexibilitate, scalabilitate și structură puternic modulară, având ca scop un sistem fiabil și robust.

Monitorizare și comandă centralizată cu sistem de acces bazat pe utilizatori, ilustrând date în timp real, grafice de evoluție a parametrilor cheie, scheme sinoptice și execuție comenzi de pe stațiile de operare.

Toate aceste caracteristici duc la o scădere semnificativă a timpilor de reacție a operatorilor. În concluzie dispecerii sunt mai puțin expuși erorilor de operare și cu ajutorul „managerului de evenimente”, este posibilă realizarea unei analize a manevrelor precedent executate, în vederea îmbunătățirii secvențelor de conducere/pornire/oprire a boilerelor.

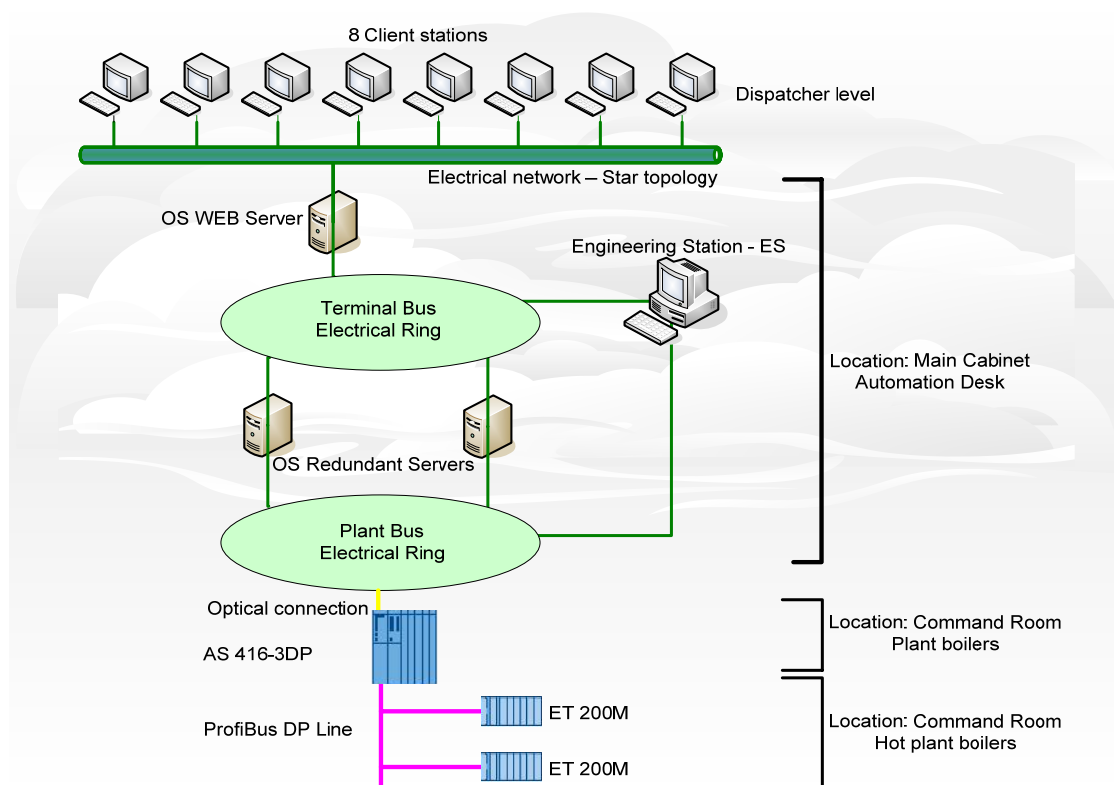


Fig.3.Arhitara sistemului SCADA – C.E.T. Sud Timișoara

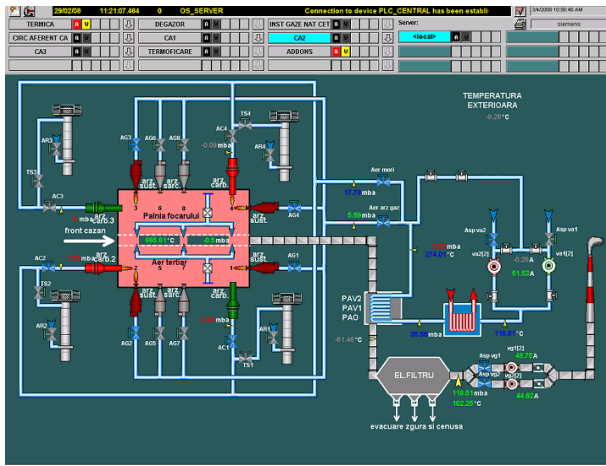


Fig.4.Sistem SCADA – imagine sinoptică a circuitului de aer-gaz

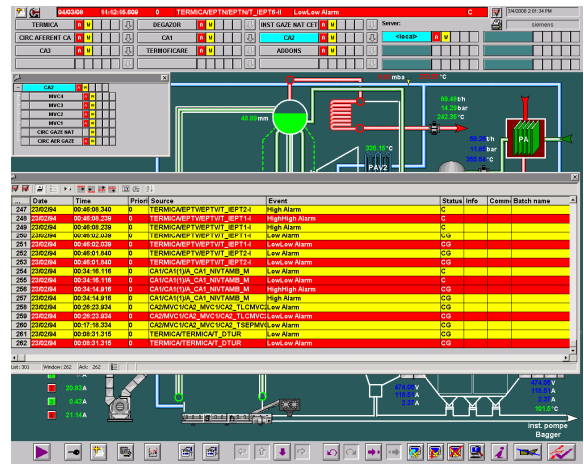


Fig.5.Sistem SCADA – imagine sinoptică a sistemului de alarmare PCS7

Capitolul 3 - Sistem de Conducere Automată pentru Proces tip Boiler cu Tambur pentru Reducerea Efectului de Compresie și Expansiune a Aburului în Centralele Electrice de Termoficare

În capitolul al 3-lea este abordată problema modelării și simulării ansamblului cazan-turbină din centralele electrice de termoficare. Inițial, se prezintă un **sistem de monitorizare și control** al unui model de laborator al unui proces termic, utilizând modulul de achiziție ADAM 6024, server de OPC și programul LabView, cu scopul introducerii principalelor blocuri ce vor fi utilizate în capitolele următoare. Sistemul prezintă un reglaj de temperatură, realizându-se astfel primii pași în conducerea proceselor lente cu timp mort și acordarea reguletoarelor pentru astfel de procese.

Apoi, se realizează o **primă abordare a proceselor termodinamice boiler-turbină**, într-o descriere matematică de ordin redus, Fig.6, adaptată și validată la C.E.T. Sud Timișoara prin teste reale realizate în centrală. Modelul matematic descris are ca finalitate implementarea unui simulator industrial, Fig.7, utilizând platforma Labview și hardware-software de timp-real pentru procesul în buclă deschisă.

O serie de teste au fost realizate simulat pentru verificarea acurateții dinamicilor modelului. Rezultatele prezentate în acest rezumat, sunt cele comparate cu date reale, în urma testelor realizate la C.E.T. Sud Timișoara.

La $t=60s$ se aplică un semnal treaptă în poziția vanei de abur 70%-72%. Presiunea la turbină este cu până la 10% mai mică decât presiunea în tambur, datorită caderii de presiune pe supraîncălzitor. Presiunea scade datorită deschiderii vanei Fig.8. Se observă o creștere bruscă în debitul de abur și implicit în puterea generată (este prezentată în teză), datorită excesului de abut instant, dar apoi viteza fluidului este redusă datorită caderii de presiune, rezultând revenirea aburului la valoarea precedentă Fig.9. La $t=570s$ vana de abur se închide, observându-se același fenomen dar inversat ca și comportament.

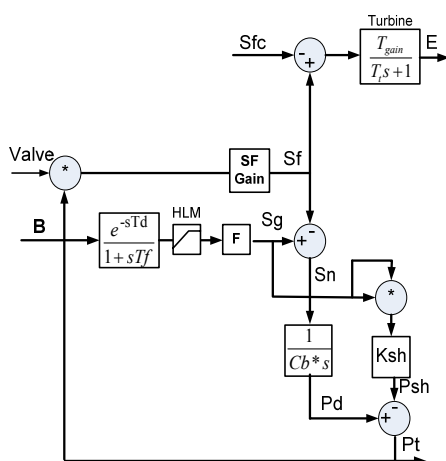


Fig.6.Model de ordin redus pentru ansamblul boiler-turbină

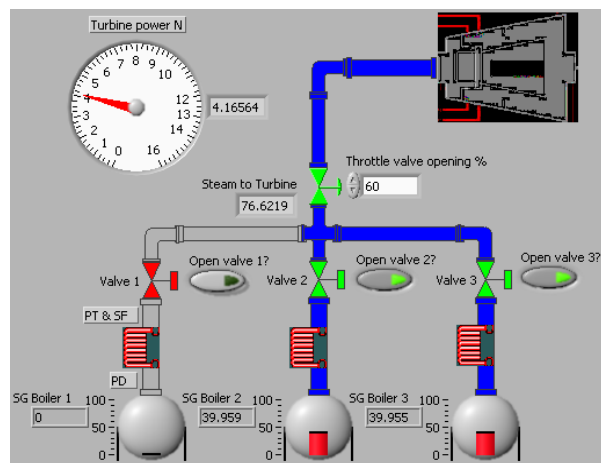


Fig.7.Interfață grafică simulator industrial cu 3 boilere, bară comună de colectare abur și turbină

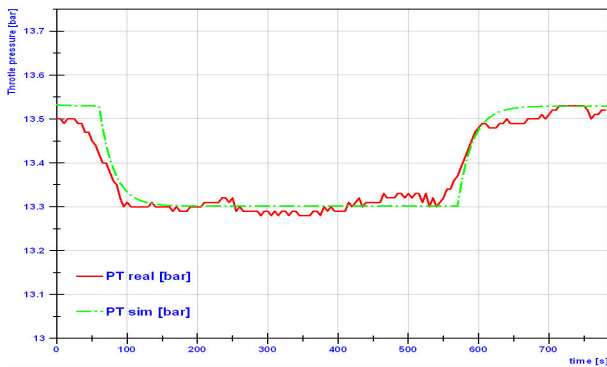


Fig.8. Răspuns presiune la turbină (PT) la semnal treaptă în poziția vanei de abur 70%-72% la t=60s, și 72%-70% la t=570s

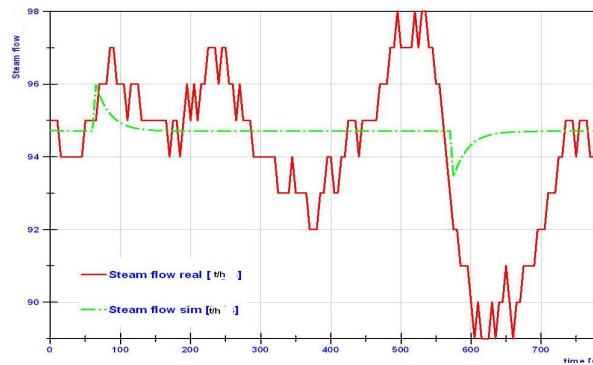


Fig.9. Răspuns abur la turbină (qs) la semnal treaptă în poziția vanei de abur 70%-72% la t=60s, și 72%-70% la t=570s

Prin analiza rezultatelor obținute se observă o validare bună a modelului, și corespunde comportamentului centralei reale, cu toate că există oscilații datorită perturbațiilor, de amplitudine până la 10%, ceea ce face validarea și adaptarea parametrilor dificilă.

In finalul capitolului, pe baza modelelor neliniare Astrom-Bell, se construiește un model al cazanului, în spațiul stărilor, de ordinul 4, iar acesta este extins la un model de ordinul 5 pentru ansamblul cazan-turbină Fig.10. Se particularizează acest model general la cazul termocentralei Timișoara-Sud și se realizează o serie de simulări în buclă deschisă. Se realizează un sistem de reglare în cascadă, de tip "gain scheduling", utilizând regulatoarele PI, în vederea compensării efectului de compresie și expansiune a aburului Fig.11. Rezultatele obținute prin simulare evidențiază comportări satisfăcătoare ale sistemului de reglare.

$$\text{a) } \begin{cases} \dot{x}_2 = u_1 \frac{h_f e_{12} - e_{22}}{e_{21} e_{12} - e_{11} e_{22}} + u_2 \frac{e_{12}}{e_{21} e_{12} - e_{11} e_{22}} + q_s(u_3) \frac{e_{22} + h_s e_{12}}{e_{21} e_{12} - e_{11} e_{22}} \\ \dot{x}_1 = -\frac{e_{11}}{e_{22}} \dot{x}_2 + \frac{u_1}{e_{12}} - \frac{q_s(u_3)}{e_{12}} \\ \dot{x}_3 = -\frac{e_{32}}{e_{33}} \dot{x}_1 + \frac{u_2}{e_{33}} - x_3 \frac{h_c q_{dc}}{e_{33}} \\ \dot{x}_4 = -\frac{e_{42}}{e_{44}} \dot{x}_1 - \frac{e_{43}}{e_{44}} \dot{x}_3 + \frac{\rho_s}{T_d e_{44}} (x_4^0 - x_4) + \frac{h_f - h_w}{h_c e_{44}} u_1 \\ \dot{x}_5 = -\frac{1}{T_{gain}} x_5 + q_s(u_3) \frac{T_i}{T_{gain}} \end{cases}$$

$$\text{b) } \begin{cases} y_1 = x_1 \\ y_2 = x_3 \\ y_3 = \frac{x_4 + V_{wd}}{A_d} \end{cases}$$

Fig.10. Model matematic extins ISI pentru ansamblul boiler-turbină; a) ecuații stare; b) ecuații ieșire

unde:

Vector intrări (debit masic apă [kg/s], rată flux termic [W], coeficient vană turbină [%]): $[u_1 \ u_2 \ u_3]^T = [q_f \ Q \ K_v]^T$

Vector stări (presiune tambur [bar], volum apă total [m³], calitate abur, volum abur tambur [m³], puterea electrică generată [MW]): $[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]^T = [P \ V_{wt} \ \alpha_r \ V_{sd} \ E]^T$

Vector ieșiri : (presiune tambur [bar], puterea electrică generată [MW], nivel apă în tambur [m]): $[y_1 \ y_2 \ y_3]^T = [P \ E \ L]^T$

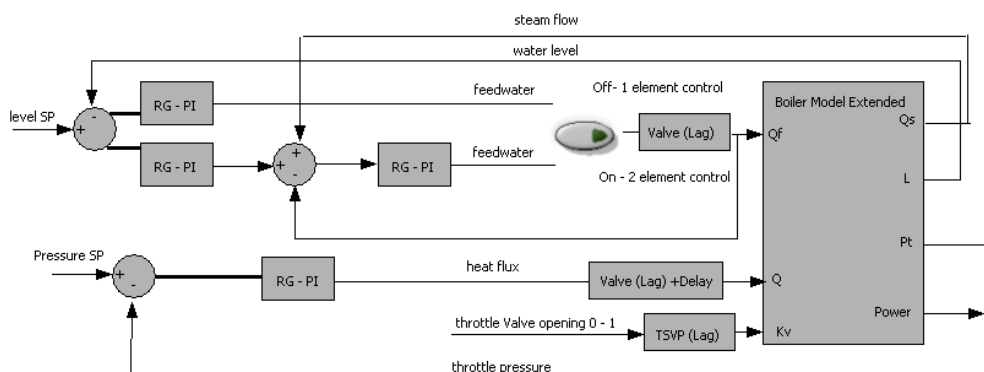


Fig.11. Schema de reglare a ansamblului boiler-turbină; Reglare în cascadă cu 3 bucle de reacție și reglare cu o buclă de reacție pe nivel apă; Reglare cu o buclă de reacție pe rată flux termic

Strategia de reglare adoptată pentru modelul extins este conducere în cascadă cu 3 reacții comparată cu conducere cu PI cu o reacție. O buclă de control flux termic a fost adăugată pentru menținerea presiunii constante la turbină. Centralele electrice de termoficare sunt caracterizate printr-o plajă largă de puncte de funcționare rezultând pierderi de performanță dacă se operează cu un set de fix de constante pentru reglatoare. Prin utilizarea metodei „gain-scheduling”, răspunsurile sistemelor sunt îmbunătățite. Sistemul de conducere este prezentat în Fig.11 și a fost implementat sub platforma Labview.

Teste buclă deschisă

Pentru primul test de validare, s-a aplicat un semnal treaptă pe bucla de flux termic - 0.5 MW, cerere de putere generată, Fig.12. Nivelul de apă în tambur este o combinație între 2 mecanisme competitive din punct de vedere dinamic, reprezentând volumul de abur și apă în tambur, conform relației de nivel. Volumul de abur în tambur crește datorită treptei aplicate buclei de flux termic. De asemenea, există și o creștere în rata de condens, dar doar pentru o scurtă perioadă de timp, iar pentru o centrală cu capacitate de generare mică, acest fenomen nu afectează prea mult volumul total de apă, datorită presiunii mici de operare.

Al 2-lea test de validare constă în modificarea deschiderii vanei de la turbină cu 10% - 4 kg/s debit abur ieșire, Fig.13. Acest scenariu, este de fapt o perturbație pentru sistemul în ansamblu, și a fost realizat pentru a evidenția efectul de compresie și expansiune a vaporului în tambur, oricând se deschide/închide vana de la turbină. Prin deschiderea vanei rezultă o creștere rapidă în debitul de abur, deci și putere generată, dar acest fapt este doar momentan, datorită scăderii presiunii. Viteza vaporului crește, dar presiunea descrește simultan. Acest răspuns inversat, la o încărcare bruscă a sarcinii cazanului se numește expansiune dinamică. Compresia dinamică se poate observa dacă există o scădere în încărcarea boilerului, cu toate că fenomenul de compresie nu afectează la fel de mult ca și expansiunea vaporului, circulația convectivă naturală a boilerului. Fenomenul de compresie poate fi observat la închiderea vanei de la turbină e.g. 70% la 60%. Fenomenul de compresie și expansiune forțează nivelul de apă în tambur să se comporte ca un fenomen de fază ne-minimă, dacă debitul de apă este ținut constant.

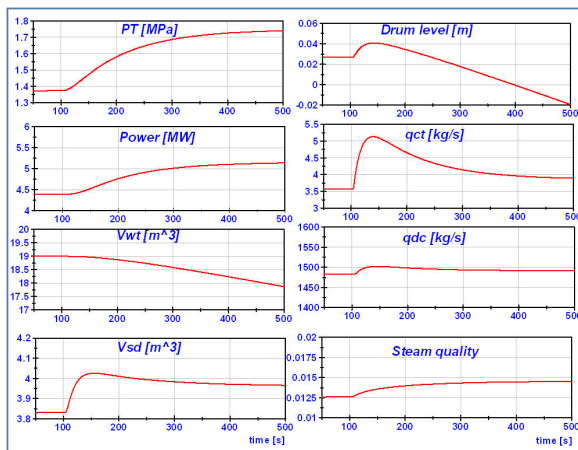


Fig.12. Răspunsuri sistem la semnal treaptă aplicat pe bucla de flux termic – 0.5MW, în buclă deschisă: presiune, putere, volum total apă, volum abur tambur, nivel apă tambur, rată de condens, debit coborât, calitate abur.

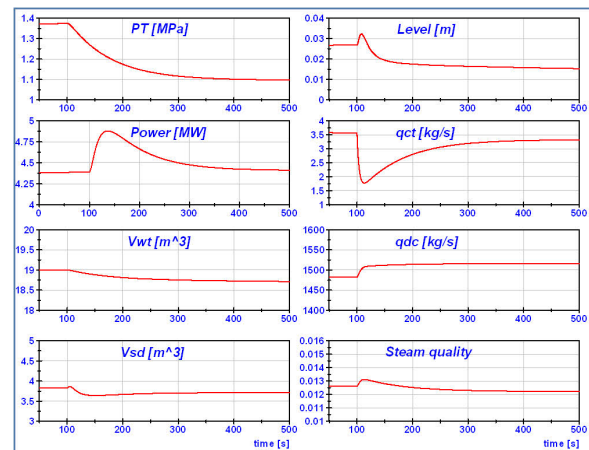


Fig.13. Răspunsuri sistem la semnal treaptă aplicat pe vana de abur – 10%, în buclă deschisă: presiune, putere, volum total apă, volum abur tambur, nivel apă tambur, rată de condens, debit coborât, calitate abur.

Teste buclă închisă

În Fig.14 răspunsurile sistemului sunt comparate în cazurile strategiilor de reglare cu 1 buclă și 3 bucle de reacție, pentru excitație treaptă (15%) în deschiderea vanei de abur la 50% încărcare boiler. Conducerea în cascadă îmbunătățește timpul de liniștire al buclei de apă, cu toate că apare un suprareglaj puțin mai mare. În Fig.15, comenzile reglatoarelor sunt prezentate, pentru bucla de apă și flux termic. Efectul de expansiune este de asemenea prezentat. Folosind structură de reglare cu o reacție, comanda descrește, datorită efectului de expansiune și după o perioadă crește. Utilizând metoda cascadă cu 3 reacții, bucla de abur „feed-forward” adaugă predicție strategiei de reglare și are un comportament superior în atenuarea perturbațiilor. Mai multe teste sunt prezentate în teză.

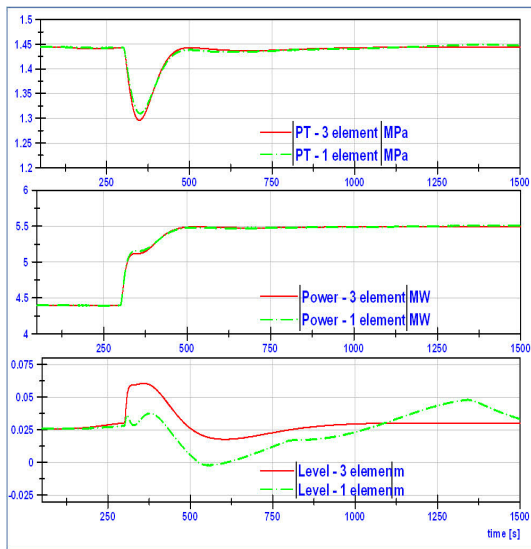


Fig.14. Răspuns în presiune, putere, nivel la 50% încărcare boiler, la modificare poziție vană abur – 60%-75%

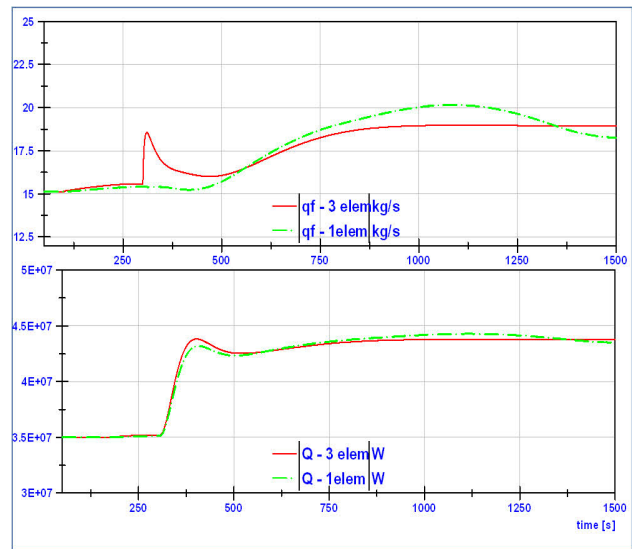


Fig.15. Comenzi reglatoare pentru bucla de apă și rată flux termic

Contribuțiile principale ale autorului se regăsesc în:

- Studiul, extinderea și adaptarea unui model complex, cuplat și nelinier de ordinul 4, la o centrală reală C.E.T. Sud Timisoara, cu rezultate de simulare bune în mod manual și automat.
- Implementarea unei structuri de conducere cascadă cu gain-scheduling cu 3 bucle de reacție pentru nivel apă, adăugând predicție în anticiparea modificării încărcării boilerului și implicit variației nivelului de apă din tambur.
- Reducerea efectului de fază ne-minimă de compresie și expansiune a bulelor de vapor în boiler, rezultând îmbunătățirea răspunsurilor sistemului, utilizând structura cascadă cu 3 bucle de reacție.

Capitolul 4 - Sistem de Conducere Automată Multivariabilă cu Gain-Scheduling pentru Procese de tip Boiler cu Tambur - Turbină

Capitolul al 4-lea tratează problema conducerii multivariabile, decuplate, de tip “gain scheduling”, pentru un sistem cazan-turbină-generator. Se determină un model multivariabil, nelinier, 3 x 3, al ansamblului cazan-turbină-generator, cu parametri adaptați centralei electrice de termoficare Timișoara-Sud, Fig.16. Spre deosebire de soluția reglării în cascadă prezentată în capitolul precedent, aici se utilizează metoda controlului multivariabil centralizat decuplat Fig.17. Pentru îmbunătățirea comportării sistemului de reglare se utilizează tehnica “gain scheduling” bazată pe liniarizarea dinamică a modelului. Astfel, modelul nelinier este liniarizat în jurul unor puncte de funcționare cu scopul determinării coeficienților de adaptare ai regloarelor. Rezultatele obținute prin simulare evidențiază o comportare bună a modelelor liniarizate comparativ cu modelul nelinier inițial Fig.18 - Fig.21. Întrucât funcțiile de transfer din matricea compensatorului rezultat sunt complicate și dificil de implementat pe dispozitive industriale, se apelează la tehnici de reducere a modelelor în scopul obținerii unor reglatoare de tip PID. Din cauza restricțiilor pe comandă, se implementează tehnici „anti-windup”. Pentru evitarea șocurilor la schimbarea valorilor parametrilor regloarelor, noile valori ale parametrilor se introduc prin intermediul unor filtre trece jos de ordinul I. Rezultatele obținute prin simulare arată o comportare corespunzătoare a sistemului de reglare proiectat Fig.18 - Fig.21. Simulatorul pentru testarea strategiei de control propuse a fost implementat în LabView.

Contribuțiile principale ale autorului se regăsesc în:

- Extinderea și adaptarea modelului de interpretare la o centrală reală: C.E.T. Sud Timisoara.
- Implementarea unei structuri de conducere multivariabilă decuplată cu gain-scheduling utilizând liniarizarea dinamică a modelului cu setarea lină a parametrilor regloarelor utilizând filtre de ordinul 1.
- Testarea strategiei de conducere cu rezultate de decuplare satisfăcătoare pentru setpoint-uri simultane și secvențiale într-o plajă variată de puncte de funcționare.
- Se obține o îmbunătățire în răspunsurile sistemului, utilizând gain-scheduling pentru diferențe semnificative de setpoint.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -0.0285u_2x_1^{\frac{9}{8}} + 0.9u_1 - 0.15u_3 \\ \dot{x}_2 = \frac{(0.5074u_2 - 0.16)x_1^{\frac{9}{8}} - x_2}{0.1} \\ \dot{x}_3 = \frac{32.69u_3 - (1.9765u_2 - 0.19)x_1}{57.81} \\ y_1 = x_1 \\ y_2 = x_2 \\ y_3 = 0.05(0.0636x_3 + 60\alpha_r + 0.019q_e - 31.2) \\ \alpha_r = \frac{(1 - 0.0011x_3)(0.497x_1 + 0.15)}{x_3(1 - 0.000546x_1)} \\ q_e = 95.4u_1 - 0.653u_3 + (1.533u_2 - 0.124)x_1 - 18 \end{cases}$$

Fig.16.MM-ISI boiler-turbină adaptat ca parametrii la C.E.T. Sud Timișoara

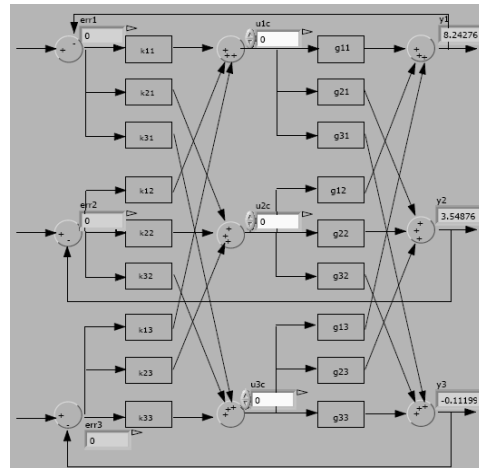


Fig.17.Schema metodei de conducere multivariabilă decuplată

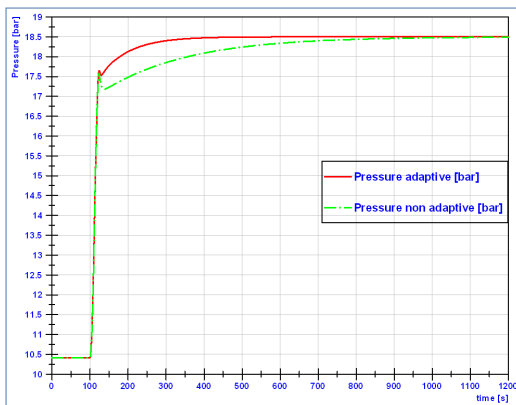


Fig.18.Răspuns presiune pentru setpoint simultan la punct de funcționare îndepărtat în presiune și putere: adaptiv (roșu), non-adaptiv (verde)

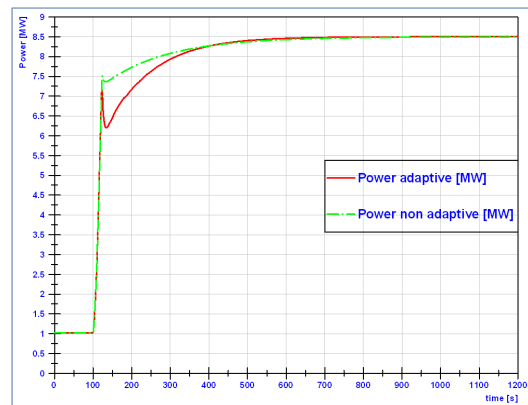


Fig.19.Răspuns putere pentru setpoint simultan la punct de funcționare îndepărtat în presiune și putere: adaptiv (roșu), non-adaptiv (verde)

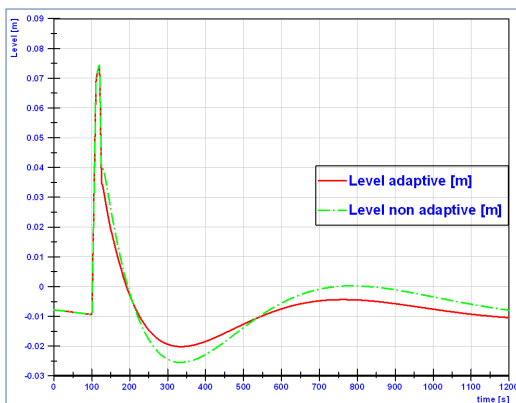


Fig.20.Răspuns nivel apă pentru setpoint simultan la punct de funcționare îndepărtat în presiune și putere: adaptiv (roșu), non-adaptiv (verde)

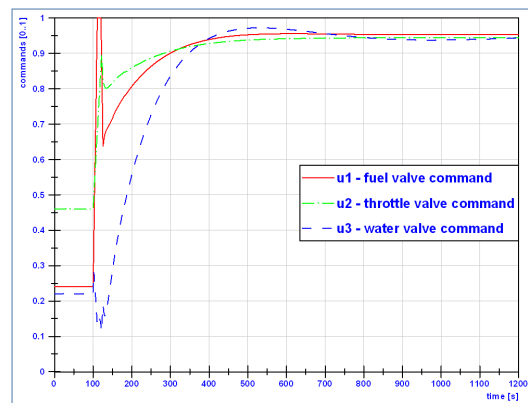


Fig.21.Comenzi reglatoare cu „gain-scheduling” aplicate pe modelul neliniar pe vanele de combustibil, abur și apă

Capitolul 5 - Implementare Utilizând Hardware-In-The-Loop a Sistemului de Conducere Automată Multivariabilă Decuplată cu Gain-Scheduling pentru Proces Tip Boiler cu Tambur - Turbină

Se prezintă ca subiect principal dezvoltarea a 2 platforme de test pentru metode de conducere automată pentru C.E.T. Platformele au fost utilizate pentru testarea metodei de conducere multivariabilă decuplată cu gain-scheduling pe procesul boiler-turbină reprezentat prin modelul de interpretare prezentat anterior. Se prezintă pentru început **o aplicație SCADA** cu rolul de a oferi informații de bază în automatizări industriale hardware și software - PLC și Step7, în tehnologie Siemens, pentru controlul unui element real de execuție (actuador).

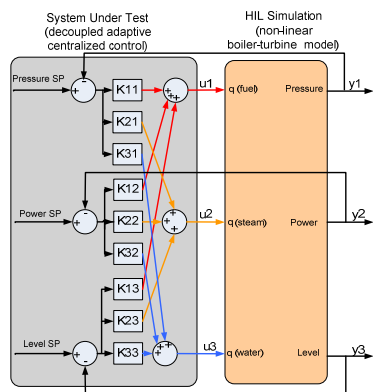


Fig.22.Principiul de implementare HIL

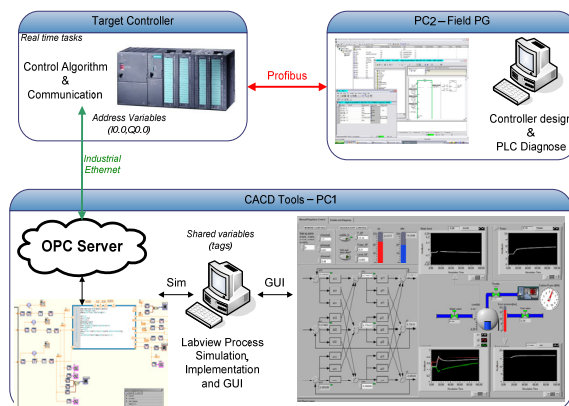


Fig.23.Schema de implementare HIL-SRT

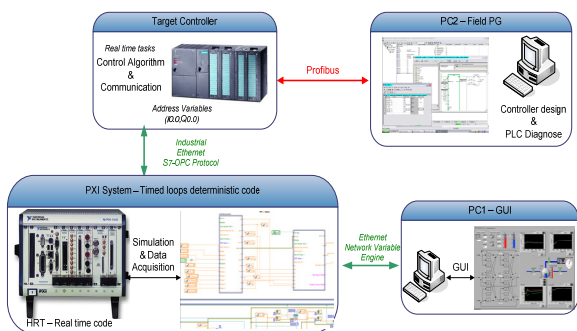


Fig.24.Schema de implementare HIL-HRT

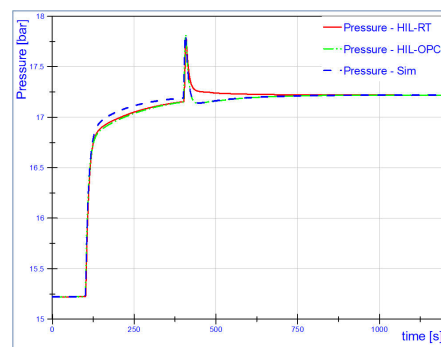


Fig.25.Setpoint secvențial: presiune $P=15.22-17.22$ bar la $t=100s$ urmat de putere $E=3.31-6.31$ MW la $t=400s$. Răspunsuri: **Presiune**: HIL-HRT – roșu (solid); HIL-SRT – verde (dash-dot); Simulat – albastru (dash)

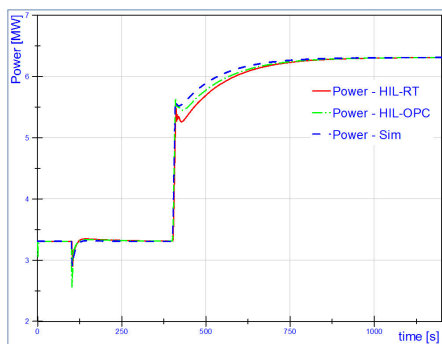


Fig.26.Setpoint secvențial: presiune $P=15.22-17.22$ bar la $t=100s$ urmat de putere $E=3.31-6.31$ MW la $t=400s$. Răspunsuri: **Putere**: HIL-HRT – roșu (solid); HIL-SRT – verde (dash-dot); Simulat – albastru (dash)

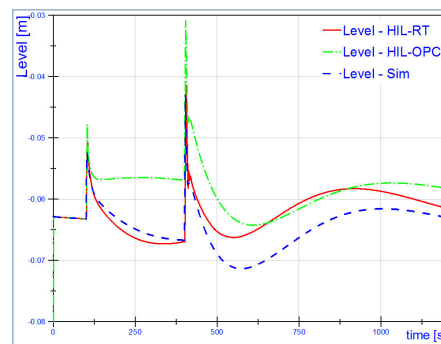


Fig.27.Setpoint secvențial: presiune $P=15.22-17.22$ bar la $t=100s$ urmat de putere $E=3.31-6.31$ MW la $t=400s$. Răspunsuri: **Nivel**: HIL-HRT – roșu (solid); HIL-SRT – verde (dash-dot); Simulat – albastru (dash)

Principiul HIL este prezentat în Fig.22, iar metodele de test propuse sunt : i) Hardware-in-the-loop cu constrângeri slabe de timp real (HIL-SRT), Fig.23 și, ii) Hardware-in-the-loop cu constrângeri puternice de timp real (HIL-HRT), Fig.24, ambele implementate utilizând tehnologie de ultimă generație: Siemens și National Instruments, software și hardware.

Sistemele au fost analizate comparativ, Fig.25 - Fig.27, în vederea stabilirii celei mai potrivite platforme de test în termeni cost/precizie pentru sistemul de conducere boiler-turbină. Platforma aleasă în urma analizei este HIL-SRT, datorită răspunsurilor apropiate ale celor 2 metode de test. Principalele avantaje date de platformele de test prezentate sunt: i) integrarea rapidă a metodelor de conducere pe echipamente industriale, ii) reducerea unor probleme legate de metoda de conducere încă din faza de proiectare; iii) realizarea unui simulator în timp real pentru training.

În finalul acestui capitol *s-a realizat o aplicație de conducere wireless*, Fig.28, pentru cazul în care actuatorii (vanele de: abur, apa, combustibil) nu sunt fizic disponibile sau semnalele sunt perturbate, în vederea analizării elementelor de risc care pot să apară în cazul în care se întrerupe/atacă comunicația wireless cu actuatorul real. Se consideră situația în care routerul păstrează ultima valoare a comenzii primite, înainte de atac, Fig.29 și Fig.30.

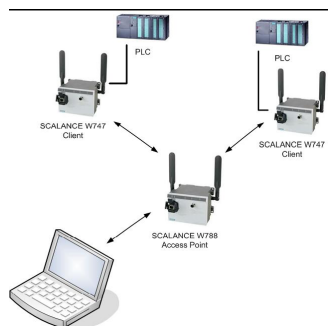


Fig.28.Exemplu generic de sistem de conducere cu routere wireless – SCALANCE și PLC Siemens

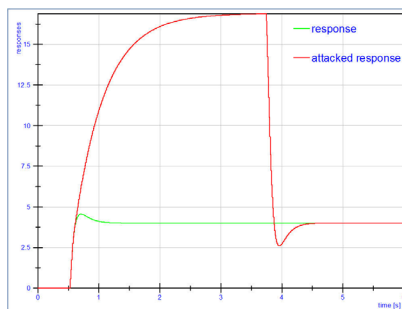


Fig.29.Proces de ordinul 1 , controlat de regulator PI, principiu HIL - Răspuns sistem atacat (roșu), neatacat (verde)

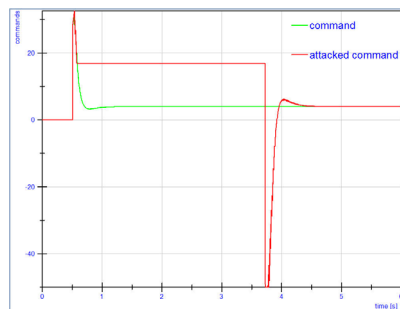


Fig.30.Proces de ordinul 1 , controlat de regulator PI, principiu HIL - Comandă sistem atacat (roșu), neatacat (verde)

Contribuțiile principale ale autorului se regăsesc în:

- Sistemul HIL-SRT prezintă un comportament apropiat de HIL-HRT, cu toate că există perioade de execuție lipsă, se recomandă: performanță/preț = HIL SRT.
- Validarea sistemului HIL-SRT ca platformă de test strategii de reglare automată în timp real (multivariabil decuplat, cascadă) pentru procese boiler-turbină în termeni de cost și acuratețe.
- Prezentarea unui scenariu în care comunicația poate fi întreruptă între sistemul de conducere și proces prin deautentificare.
- Sistemele wireless nu pot garanta comunicație neîntreruptă, deci un controller local trebuie integrat în sistem, ca măsură de redundanță.

Capitolul 6 - Concluzii și Contribuții

- Implementare a unui sistem SCADA pentru C.E.T. Sud Timisoara ca platformă de integrare a strategiilor de conducere prezentate și a simulatoarelor dezvoltate.
- "Know-how" pentru implementare strategii de conducere și simulatoare utilizând platforme SCADA, bazate pe aplicații cu echipamente de ultima generație utilizate în automatizări în toata lumea de la "Siemens Automation" și "National Instrument".
- Studiul, dezvoltare, extensie și adaptare a 3 modele pentru boiler-turbina: ordin redus, model complex strict bazat pe legi fizice, model de interpretare, în vederea potrivirii parametrilor constructivi și funcționali cu C.E.T. Sud Timișoara.
- Implementare și testare a celor 3 modele pentru C.E.T., în vederea realizării unei analize critice în ceea ce privește: dificultate, acuratețe, relevanță pentru metode de conducere.
- Proiectare, implementare și testare a 2 metode de conducere automată (conducere cascada cu PI, conducere multivariabilă decuplată), având capacitate de integrare în sistemul SCADA centralizat. La conducerea decuplată s-a utilizat reducerea ordinului reguletoarelor la o formă PI utilizând caracteristici de frecvență și mecanism de protecție anti-windup.
- Îmbunătățirea sistemului de conducere multivariabil decuplat, utilizând gain-scheduling cu liniarizare dinamică pentru compensarea interacțiunilor din proces și îmbunătățire răspunsurilor în sistem.
- Proiectare și implementare a 3 simulatoare, bazate pe cele 3 modele boiler-turbină prezentate cu metoda de conducere aferentă și interfață grafică (GUI) pentru training operatori/dispeceri.
- Dezvoltare a 2 platforme de test pentru testarea și implementarea soluțiilor de conducere automată în C.E.T. , utilizând principii moderne: "hardware-in-the-loop" (HIL) și "real-time" (RT).
- Prezentarea unei analize de risc în ceea ce privește scenariile de control wireless pe procese reprezentând actuatori (conducere pe pompe, vane) în situația în care cablurile sau magistralele nu sunt o soluție fiabilă.

Referințe selectate

- [1] Eric Wictor, "Multivariable Feed Water Control for an Electrical Power Plant MSc Thesis, Technical University of Delft, Netherlands, March 2007.
- [2] D. Bailey and E. Wright, "Practical SCADA for Industry", Newnes Elsevier, 2003.
- [3] M. E. Flynn and M. J. O' Malley, "A drum boiler model for long term power system dynamic simulation," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 1, Feb. 1999.
- [4] C. X. Lu, N. W. Rees, and S. C. Donaldson, "The use of the Åström-Bell model for the design of drum level controllers in power plant boilers," in Proc.16th IFAC World Congress, vol. 16, part 1, Jul. 2005.
- [5] R. D. Bell and K. J. Åström, "Dynamic Models For Boiler-Turbine-Alternator Units: Data Logs And Parameter Estimation For A 160 MW Unit," Report TFRT-3192, Lund Inst. Technol., Lund, Sweden, 1987.
- [6] K. J. Åström and R. D. Bell, "Drum-boiler dynamics," Automatica, vol. 36, no. 3, pp. 363–378, 2000.
- [7] A. H. Fawnizu and N. W. Rees, "Overcoming the shrink-and-swell effect in water level control strategy on industrial boiler-drum," in Proc. 16th International Conference on System Engineering (ICSE'03), vol. 3, no. 2, pp. 10–15, Sep. 2003.
- [8] J. Garrido, F. Morilla, and F. Vazquez, "Centralized PID control by decoupling of a boiler-turbine unit," in Proc. European Control Conf. (ECC'09), Budapest, Hungary, pp. 4007–4012, Aug. 2009.
- [9] Astrom, K.J. and K. Eklund. "A simple non-linear drum boiler model". International Journal of Control. Vol. 22, No. 5, pp. 739-740, 1975.
- [10] S. Nabi, M. Balike, J. Allen, and K. Rzemien, "An overview of hardware-in-the-loop testing systems at Visteon," SAE technical paper series, SAE International, USA, March 2004.

Lucrări publicate selectate

1. **M. Iacob**, G.-D. Andreescu, N. Muntean, SCADA system for a central heating and power plant, (in book chapter 8: Process Control and Automation Applications), in Instrument Engineers' Handbook Vol. 3: Process Software and Digital Networks, 4th Edition, Eds.: B.G. Liptak, H. Eren, CRC Press, USA, ISBN: 978-1439817766, pp. 930-939, Aug. 2011. (**CRC Press - Taylor & Francis Group**) amazon.com
2. **M. Iacob**, G.-D. Andreescu, N. Muntean, Boiler-turbine simulator with real-time capability for dispatcher training using LabView, Proc. 2010 12th Int. Conf. on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (**OPTIM**), Brasov, Romania, pp. 864-869, May 2010 (**ISI Proceedings, IEEE Explore, SCOPUS**).
3. C.A. Bejan, **M. Iacob**, G.-D. Andreescu, SCADA automation system laboratory, elements and applications, Proc. 7th Int. Symposium on Intelligent Systems and Informatics, 2009, **SISY '09**, Subotica, Serbia, pp. 181-186, Sep. 2009 (**ISI Proceedings, IEEE Explore, SCOPUS**).
4. **M. Iacob**, G.-D. Andreescu, R. Antal, A.-M. Dan, Multivariable adaptive control with hardware-in-the-loop for a drum-type boiler-turbine system, Proc. 2011 19th Mediterranean Conf. on Control and Automation (**MED**), Corfu, Greece, pp. 898-902, June 2011 (**IEEE Xplore, SCOPUS**).
5. **M. Iacob**, G.-D. Andreescu, Implementation of hardware-in-the-loop system for drum-boiler-turbine decoupled multivariable control, Proc. 2011 6th IEEE Int. Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (**SACI**), Timisoara, Romania, 8-7, pp. 45-50, May 2011 (**IEEE Xplore, SCOPUS**).
6. **M. Iacob**, G.-D. Andreescu, Real-time hardware-in-the-loop test platform for thermal power plant control systems, Proc. 2011 IEEE 9th Int. Symposium on Intelligent Systems and Informatics (**SISY**), Subotica, Serbia, pp. 495-500, Sep. 2011 (**IEEE Xplore, SCOPUS**).
7. **M. Iacob** and G.-D. Andreescu, Drum-boiler control system employing shrink and swell effect remission in thermal power plants, Proc. 2011 3rd International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (**ICUMT**), Budapest, Hungary, pp. 1-8, Oct. 2011, (**IEEE Xplore, SCOPUS**).
8. Marius Cristea, Bogdan Groza and **Mihai Iacob**, "Some Security Issues In SCALANCE Wireless Industrial Networks", **ARES 2011**, 6th International Conference on Availability, Reliability and Security, Viena, Austria, ISBN 978-0-7695-4485-4, pp. 493-498, August, 2011, (**IEEE Xplore, SCOPUS**).