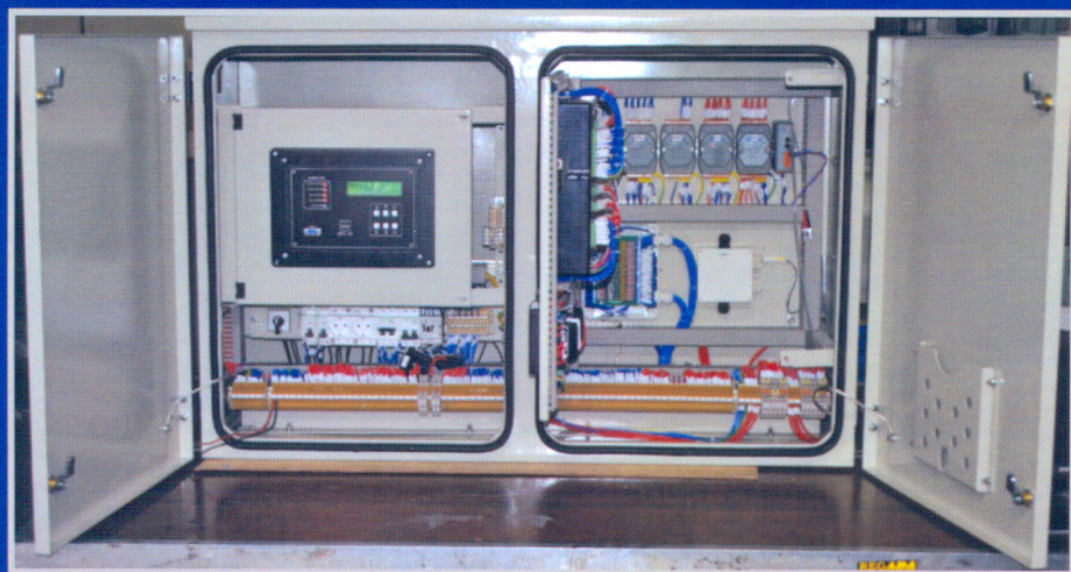


Marcel NICOLA
Dumitru SACERDOȚIANU
Claudiu-Ionel NICOLA



**APLICAȚII DE AUTOMATICĂ
ȘI SCADA ÎN ENERGETICĂ
ȘI MONITORIZAREA
ECHIPAMENTELOR
ELECTRICE**

Editura AGIR 

Studii și cercetări

**APLICAȚII DE AUTOMATICĂ ȘI SCADA
ÎN ENERGETICĂ ȘI MONITORIZAREA
ECHIPAMENTELOR ELECTRICE**

Cercet. Șt. II dr. ing. Marcel NICOLA
Cercet. Șt. II dr. ing. Dumitru SACERDOȚIANU
Cercet. Șt. III drd. ing. Claudiu-Ionel NICOLA

**APLICAȚII DE AUTOMATICĂ
ȘI SCADA ÎN ENERGETICĂ
ȘI MONITORIZAREA
ECHIPAMENTELOR ELECTRICE**



Editura AGIR

București, 2021

ASOCIAȚIA GENERALĂ A INGINERILOR DIN ROMÂNIA

Copyright © Editura AGIR și autorii, 2021
Editură acreditată de CNC SIS

Toate drepturile asupra acestei ediții
sunt rezervate Editurii AGIR și autorilor

Editura AGIR

Calea Victoriei, nr. 118, sector 1,
010093 București;
Tel.: 4021-3168992, 4021-3168993
Fax: 4021-3168992
e-mail: editura@agir.ro; www.agir.ro

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

NICOLA, MARCEL

**Aplicații de automată și SCADA în energetică și monitorizarea
echipamentelor electrice / cercet. șt. II dr. ing. Marcel Nicola, cercet.
șt. II dr. ing. Dumitru Sacerdoțianu, cercet. șt. III drd. ing. Claudiu-Ionel
Nicola. - București : Editura A.G.I.R., 2021**

Conține bibliografie

ISBN 978-973-720-836-1

I. Sacerdoțianu, Dumitru

II. Nicola, Claudiu-Ionel

004

REFERENȚI ȘTIINȚIFICI:

Prof. dr. ing. Gheorghe MANOLEA, MC-ASTR

Prof. dr. ing. Dan SELIȘTEANU

Prof. dr. ing. Cosmin IONETE

Îngrijire editorială: **Mihaela MARIUȚĂ**

Coperta: ing. **Ion MARIN**

Bun de tipar: 18.03.2021
ISBN 978-973-720-836-1



Cercet. Șt. II dr. ing. Marcel NICOLA născut în Craiova, absolvent (1995) al Universității din Craiova, Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică. Masterat (1997) și Doctorat (2004) în Automatică la Universitatea din Craiova. Principalele domenii de interes: automatizări și software industrial, sisteme SCADA, modelări matematice și simulări numerice, teoria sistemelor automate cu saturație și întârziere, electric drives control and optimizations. În perioada 1997 – 2009 inginer la INCDE-ICEMENERG Sucursala Craiova, Cercetător științific principal gradul II din 2006. În perioada 2005 – 2009 Șef Laborator Automatizări și Calculatoare și Locțiitor Director Sucursală. În perioada 2006 – 2007 Director Adjunct al Sucursalei Craiova a Asociației pentru Automatizări și Instrumentație din România (AAIR). Din 2009 la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare și Încercări pentru Electrotehnică – ICMET Craiova. Din 2020 ocupă funcția de Director Științific și Președinte al Consiliului Științific la ICMET Craiova. Între 2011 și 2015 Cadru didactic asociat la Universitatea din Craiova, Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică și membru în Consiliul Școlii Doctorale de Inginerie Electrică din 2021. Număr total de lucrări științifice, proiecte de cercetare științifică și dezvoltare tehnologică: 269, din care 129 articole (41 ISI, IF > 7), 5 cărți și 117 proiecte de cercetare științifică și dezvoltare tehnologică. Brevete de invenție/CBI – 4. Premii, diplome și medalii naționale/internaționale – 13. Este membru în Asociația Generală a Inginerilor din România (AGIR) și Societatea Româna de Automatică și Informatică Tehnică (SRAIT). Este Editorial board memberships al jurnalului Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, ASTEJ, USA, din 2017, și Verified reviews pentru jurnalele: IEEE Acces, IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference, Engineering Science and Technology, an International Journal (WOS), Materials Today: Proceedings.



Cercet. Șt. II dr. ing. Dumitru SACERDOȚIANU născut în Drăgășani, județul Vâlcea, absolvent al Universității din Craiova, Facultatea de Inginerie Electrică (1985) și Master „Calitatea energiei electrice și Compatibilitate Electromagnetică în Sisteme Electrice”. A obținut titlul de doctor în Științe ingineresti, domeniul Inginerie Electrică (2010), la Universitatea din Craiova. Este cercetător științific gradul II la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare și Încercări pentru Electrotehnică – ICMET Craiova, autor a peste 110 lucrări științifice și proiecte de cercetare, din care: 25 lucrări ISI, 38 lucrări BDI publicate și prezentate la manifestări științifice naționale și internaționale în domeniul ingineriei electrice, 3 cărți și peste 50 proiecte de cercetare științifică și dezvoltare tehnologică, 5 brevete. Diplome și medalii de aur și argint la Saloanele internaționale de invenții de la Bruxelles, Budapesta, Zagreb, Cluj Napoca, Iași și București – 15. A conceput și realizat echipamente destinate monitorizării unităților de transformare, detensionării prin vibrații și controlului proceselor industriale. Domenii de interes: concepția și realizarea echipamentelor destinate monitorizării funcționării echipamentelor electroenergetice și electrice, detensionarea prin vibrații a structurilor metalice, măsurări electrice și electronice. Este membru în Asociația Generală a Inginerilor din România (AGIR).



Cercet. Șt. III drd. ing. Claudiu-Ionel NICOLA născut în Craiova, absolvent (2003) al Universității din Craiova, Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică. Masterat (2011) în Automatică Sistemelor Complexe la Universitatea din Craiova. Din octombrie 2018 este student doctorand în cadrul Școlii Doctorale „Constantin Belea” la Universitatea din Craiova. Din ianuarie 2007 este angajat al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare și Încercări pentru Electrotehnică – ICMET Craiova în cadrul Diviziei de Cercetare-Dezvoltare.

Cercetările de interes sunt modelarea și simularea sistemelor și proceselor, conceperea și implementarea soluțiilor software și hardware în cazul sistemelor de achiziție de date pentru aplicații de monitorizare și control, precum și, software pentru integrarea în sisteme SCADA. Cercetător științific III, este autorul a peste 80 de lucrări științifice publicate în reviste ISI sau BDI și în volume ale conferințelor naționale sau internaționale (36 ISI, IF > 6), a unui brevet de invenție și 3 diplome și premii naționale/internaționale. Este membru în Asociația Generală a Inginerilor din România (AGIR) și Societatea Română de Automatică și Informatică Tehnică (SRAIT).

CUVÂNT ÎNAINTE

Pornind de la lucrarea „Sisteme SCADA pentru monitorizarea echipamentelor electrice” publicată în urmă cu un deceniu de același nucleu de autori, în această lucrare se prezintă 30 de aplicații de automată și SCADA, din domeniul energetic și al echipamentelor electrice. Dacă în prima lucrare s-au prezentat conceptele teoretice și doar două aplicații practice, în prezenta lucrare autorii și-au propus să prezinte doar aplicații practice realizate în ultimele două decenii, componenta teoretică fiind apelată în bibliografia fiecărei aplicații. Menționăm că aplicațiile prezentate au fost realizate de către autori de-a lungul timpului în cadrul colectivelor în care și-au desfășurat activitatea de cercetare, autorii realizând alegerea structurilor hardware și implementarea software a programelor necesare îndeplinirii caietelor de sarcini impuse de beneficiari. Majoritatea acestor aplicații au fost puse în funcțiune și date în exploatare către beneficiari de tipul companiilor naționale din domeniul electroenergetic. Celelalte aplicații au fost testate în laboratoarele INCDIE-ICMET Craiova în cadrul unor proiecte naționale de cercetare. Implementarea acestor aplicații, împreună cu urmărirea în timp a funcționării în vederea optimizării a durat în unele cazuri câțiva ani și este rodul unor eforturi susținute imperios necesare în activitatea de cercetare. Nu este lipsit de importanță faptul că majoritatea soluțiilor implementate au reprezentat premiere la momentele respective în ceea ce privește hardware-ul și software-ul utilizat, dat fiind faptul că în majoritatea aplicațiilor se făcea trecerea de la epoca automatizării prin relee la automatizarea bazată pe calculatoare de proces, iar cerințele exprese ale beneficiarilor erau de aliniere la nivel mondial a obiectivelor automatizate.

Prin enumerarea de termeni tehnici/cuvinte cheie care se regăsesc în cele 30 de aplicații prezentate, sperăm să declanșăm interesul cititorului, dat fiind faptul că acești termeni se regăsesc în domenii ca automată, comunicații de date, tehnologia informației și a calculatoarelor, inginerie electrică și energetică. Astfel, dintre acești termeni amintim: SCADA, HMI, OPC-UA, tehnologia Microsoft DCOM, DataSocket Server, Servere I/O Modbus LabVIEW, NI-PSP, Fuzzy Logic, Gmail server, MySQL, JSON, Web server, Cloud database, ZigBee, SIL, filtru Kalman, VSR, LQR, Wavelet Transform, filtru Daubechies, transformata Hilbert, ARX, ecuația Riccati, aproximația Padé, FPGA, DGA, Fanuc TCP/IP, PROFIBUS, mașină de inferență, baze de fapte și reguli, CLIPS, Matlab/SIMULINK, Ziegler-Nichols, CANopen, MRAC, PLL, SPWM, FOC.

Lucrarea de față încearcă să acopere un gol în literatura tehnică din țara noastră în ceea ce privește prezentarea de aplicații din tematica sus amintită. Aplicațiile prezentate, deși sunt eterogene, au fost grupate, în ordinea prezentării, în aplicații din hidroenergetică (automatizarea și monitorizarea serviciilor proprii și generale pentru hidrocentrale, automatizarea instalațiilor de acționare electrică, hidraulică și de încălzire a stăvilor cu clapetă de pe barajele din hidrocentrale și controlul temperaturii generatoarelor hidroagregatelor), aplicații din termoenergetică și stații electrice (reglarea temperaturii la cuptoarele de calcinare, monito-

rizarea conductivităților electrice și a debitelor bazinelor de tratare chimică a apei din termocentrale, calculul și monitorizarea entalpiei și energiei termice la cazane termice, modernizarea surselor de alimentare de rezervă din stațiile electrice, teleconducerea și integrarea în SCADA a stațiilor electrice).

Se prezintă și o serie de aplicații individuale privind automatizarea procesului de trecere la nivel cu calea ferată și integrarea în SCADA, automatizarea instalației de uscarea cu vapori de kerosin, monitorizarea bazată pe amprenta acustică pentru procesul de sertizare a izolatoarelor compoziți, detecția scurgerilor prin conducte utilizând tehnica emisiilor acustice bazat pe funcția de cross-corelație, detensionarea prin vibrații controlate a pieselor metalice cu tensiuni interne reziduale utilizând transformata Wavelet, integrarea în SCADA a aplicațiilor pentru controlul proceselor industriale, monitorizarea stării cablurilor electrice, monitorizarea stării echipamentelor electrice în special a transformatoarelor de putere, prin automatizarea sistemului de răcire al acestora, determinarea temperaturii de hot-spot și estimării stării de defect pe baza analizei gazelor dizolvate utilizând logica fuzzy.

De asemenea, în ceea ce privește analiza calității energiei electrice se prezintă o aplicație bazată pe un sistem embedded Compact-RIO și module FPGA folosind transformata Wavelet. O aplicație aparte o reprezintă problema cuburilor, transformarea configurației inițiale în cea finală, cu generarea automată a traiectoriei unui braț manipulator în coordonate carteziene, problemă prezentă în automatizările discrete, în operațiile de paletizare și sortare piese.

O altă aplicație se referă la controlul acționărilor electrice cu motoare asincrone în care se prezintă controlul acționărilor electrice multimotor cu dinamică ridicată, cu modificări rapide ale cuplului și vitezei, cu cuplaj rigid sau flexibil al motoarelor, cu strategia de control de tip Field Oriented Control (FOC) pentru fiecare acționare și control distribuit în rețeaua locală de comunicații utilizând protocolul CANopen. Tendința generală este de a utiliza motoare asincrone cu rotor în scurtcircuit (inclusiv în industria minieră de suprafață din care este selectată aplicația prezentată), datorită avantajelor acestui motor atât în ceea ce privește proiectarea, cât și funcționarea. Pentru a obține viteză variabilă, se utilizează convertoare de frecvență statice cu control sensorless, unde viteza este estimată folosind un estimator de tipul Model References Adaptive System Estimator (MRAS). Sistemul global de control propus în această lucrare conține un estimator de tip MRAS împreună cu controlere de tip PI, care asigură o performanță dinamică bună dar într-o complexitate mai mică a structurii astfel încât să fie implementate în timp real într-un sistem de control distribuit cu DSP într-o rețea locală utilizând protocolul CANopen cu avantaje în ceea ce privește tehnologia software, precum și costul de control și flexibilitatea utilizării. Urmând aceste direcții, o aplicație funcțională a fost implementată și testată în practică.

Aplicațiile prezentate înglobează soluții concrete verificate în practică prin implementarea de software în echipamente ale marilor producători mondiali: Siemens, GE Fanuc, National Instruments, Saia Burgess, Microchip etc. Pentru a evita redundanța în expunere (deși fiecare aplicație poate fi studiată individual), în

unele aplicații s-au prezentat preponderent arhitecturile și structurile hardware alese ca soluție, în timp ce alte aplicații s-au axat pe prezentarea implementării software și/sau pe prezentarea simulărilor numerice. Mediile de programare software folosite sunt de cel mai înalt nivel, dintre care enumerăm: Cimplicity, WinCC, LabVIEW, Visual Studio, Matlab/SIMULINK, MPLAB IDE, Instruction List – limbaj de asamblare etc. Explicațiile privind soluțiile alese pentru implementarea practică a aplicațiilor sunt generoase, și însoțite de peste 450 de figuri.

Deși soluțiile aplicațiilor prezentate pot fi îmbunătățite și în mod evident versiunilor software și structurilor hardware utilizate trebuie „aduse la zi”, valoarea metodologică a soluțiilor pentru aplicațiile prezentate se păstrează, iar aceste soluții pot constitui atât un punct de plecare cât și o variantă viabilă și verificată pentru abordările ulterioare ale aplicațiilor prezentate. Astfel, lucrarea se adresează unui public larg, de la studenți, masteranzi și doctoranzi, până la cercetători seniori din domeniile vizate.

Autorii mulțumesc tuturor colaboratorilor și celor care le-au oferit sprijin și indicații în rezolvarea și punerea în practică a aplicațiilor prezentate. Dat fiind faptul că aceste aplicații au fost realizate în primele două decenii ale acestui mileniu, este greu de adresat mulțumiri individuale tuturor colaboratorilor, astfel că sperăm că suntem înțeleși și cuprindem un număr cât mai mare dintre aceștia, când ne adresăm mulțumirile și sincere recunoștințe colectivelor de cercetare din cadrul Institutelor Naționale de Cercetare INCDIE-ICMET Craiova și INCD-ICEMENERG (Sucursala Craiova), dar și cadrelor didactice ale Facultăților de Automatică, Calculatoare și Electronică și Inginerie Electrică din cadrul Universității din Craiova. De asemenea, mulțumim firmelor partenere și beneficiarilor din cadrul companiilor naționale din domeniul electroenergetic cu care am colaborat în acest timp pentru implementarea aplicațiilor prezentate.

Craiova, februarie 2021

Autorii