



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE ENERGETICA

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

*Dezvoltarea și implementarea sistemelor SCADA
în sistemele electroenergetice*

*Development and implementation of SCADA systems
in power systems*

Autor: ing. Dănuț Adrian POȘTOVEI

Conducător de doctorat: Prof. dr. ing. Constantin BULAC

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. dr. ing. Sanda Carmen GEORGESCU	de la	Universitatea Politehnica din București
Conducător de doctorat	Prof. dr. ing. Constantin BULAC	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent	Prof. dr. ing. Ioana FĂGĂRAȘAN	de la	Universitatea Politehnica din București
Referent	Prof. dr. ing. Marcel ISTRATE	de la	Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași
Referent	Prof. dr. ing. Mihai GAVRILAȘ	de la	Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași

București
2022

CUPRINSUL TEZEI

Lista figurilor	- 3 -
Lista abrevierilor	- 5 -
Mulțumiri	- 7 -
Abstract	- 8 -
<i>Capitolul1</i> :Introducere	- 9 -
1.1. Considerații generale	- 9 -
1.2. Scopul și obiectivele tezei de doctorat.....	- 12 -
1.3. Conținutul tezei de doctorat.....	- 14 -
<i>Capitolul2</i> :Stadiul actual,evoluții și tendințe ale sistemelor SCADA	- 16 -
2.1. Disponibilitatea sistemelor SCADA.....	- 17 -
2.2. Securitatea Cibernetică	- 17 -
2.3. Gestionarea în Cloud	- 19 -
2.4. Virtualizarea	- 19 -
2.5. Integrarea cu sistemele ERP	- 20 -
2.6. Stadiul actual al implementării sistemelor SCADA	- 20 -
<i>Capitolul3</i> :Structura, metodologia generală și strategii de implementare ale sistemelor scada în electroenergetică	- 23 -
3.1. Conceptul de sistem de control distribuit	- 23 -
3.2. Funcțiile Sistemelor de Control Distribuite	- 24 -
3.3. Arhitectura sistemelor de control distribuite.....	- 25 -
3.4. Componenta hardware	- 26 -
3.5. Componenta software	- 26 -
3.6. Infrastructura,protocoalele de comunicații si date	- 29 -
3.7. Strategii de implementare ale sistemelor SCADA.....	- 38 -
3.7.1.Cazul I-Migrarea către un sistem SCADA modern	- 39 -
3.7.2.Cazul II-Implementarea unui nou sistem SCADA	- 43 -
3.8. Aspecte legate de compatibilizarea modelelor de date	- 46 -
3.8.1.Conversiile de de protocol în sistemele SCADA	- 46 -
3.8.2.Modelarea datelor în mediul IEC61850	- 48 -
3.8.3.Conversia datelor între protocoalele de comunicație.....	- 50 -
<i>Capitolul4</i> :Tehnici de monitorizare si control in timp real ale sistemelor electroenergetice cu sisteme SCADA modelate hardware in the loop	- 64 -
4.1. Tehnologii HIL folosite în energetică.....	- 64 -
4.2. Software-ul de simulare regimuri permanente: OpenDSS.....	- 64 -
4.3. Conceptul de implementare a unui sistem de tip HIL.....	- 66 -

4.4. Generatoarele de curent și tensiune	- 69 -
4.5. Interfața grafică GridMonK.....	- 70 -
4.6. Interfața de comandă generatoare.....	- 70 -
4.7. Aplicația de implementare Front End SCADA	- 71 -
4.8. Sistemul Electroenergetic modelat HIL.....	- 71 -
4.9. Componenta hardware a sistemului SCADA în bucla HIL	- 74 -
4.10.Arhitectura si strategia de simulare HIL.....	- 78 -
4.11.Schimbul de date în cadrul HIL	- 80 -
4.12.Maparea datelor între SCADA și OpenDSS:	- 82 -
4.13.Aspecte ale simulării HIL.....	- 85 -
4.14.Rezultate experimentale HIL.....	- 86 -
4.15.Securitatea Cibernetică (Cyber Security)	- 88 -
<i>Capitolul5: Migrarea sistemelor SCADA către sisteme adaptive cu</i>	
monitorizare și control în timp real	- 95 -
5.1. Funcții EMS ale automaticii de sistem având ca suport sistemul	
SCADA	- 96 -
5.1.1.Achiziția, procesarea și transmiterea măsurilor	-96 -
5.1.2.Descărcarea automată a sarcinii cu sisteme SCADA	- 102 -
5.1.3.Descărcarea automată a sarcinii- DAS-f.....	- 104 -
5.1.4.Reanclanșarea automată a sarcinii (RAS).....	- 109 -
5.1.5.Descărcarea automată a sarcinii DAS-P	- 110 -
5.1.5.Descărcarea automată a sarciniiDAS-U	- 112 -
5.1.6.Avantaje ale schemelor de DAS integrate în SCADA	- 116-
5.2. Utilizarea sincrofazurilor in sistemele electroenergetice	- 116 -
5.2.1.Mărimi fazoriale. Sincrofazori	- 117 -
5.2.2.Conceptul de eșantionare sincronizată.....	- 120 -
5.2.3.Phasor Measurement Unit (PMU)	- 121 -
5.2.4.Phasor Data Concentrator (PDC)	- 126 -
5.2.5.PMU versus SCADA.....	- 129 -
5.2.6.Arhitecturi de măsură cu sincrofazori	- 132 -
5.2.7.Avantajele utilizării sincrofazurilor in SEE.....	- 135 -
5.3. Rezultate experimentale privind monitorizarea stabilității de	
tensiune folosind măsurători locale	- 136 -
<i>Capitolul6: Concluzii</i>	- 149 -
6.1. Concluzii generale.....	- 149 -
6.2. Contribuții personale	- 151 -
6.3. Publicațiile autorului	- 154 -
Bibliografie	- 156 -

CUVINTE CHEIE

Sistem electroenergetic, SCADA, DCS, EMS, DMS, Human Machine Interface, Bay Control Unit (BCU), PMU (Phasor Measurement Unit), Front End, IEC61850, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, Master/Slave, Client/Server, GOOSE, protocoale de comunicații, arhitecturi de comunicații, rețea de date, securitate cibernetică, modele de date, conversii de protocol, interoperabilitate, controlere de proces, Hardware In the Loop – HIL, DAS, monitorizare, control, simulator de regimuri, Online Voltage Stability Monitoring – OLVSM, sincrofazori, sistem TEST2, Voltage Stability Index- VSI, echivalentul Thévenin, măsurători locale, distanța în putere, frontiera critică, stabilitate de tensiune.

REZUMAT EXTINS

În această perioadă de tranziție energetică, operatorii de transport cât și cei de distribuție se confruntă cu noi provocări, în primul rând datorită penetrării accentuate a surselor regenerabile de energie atât la nivelul rețelei de transport cât și la nivelul rețelelor de distribuție de medie și joasă tensiune, ceea ce conduce la creșterea complexității de operare a acestora.

În acest context, micro rețelele (Microgrid) cu cele trei caracteristici cheie: local, independent și inteligent, vor fi principalul motor de creștere în ponderea energiei regenerabile.

Pentru a se putea adapta și reacționa cât mai rapid la aceste schimbări, operatorii de transport și distribuție a energiei electrice trebuie să adopte un nou concept de monitorizare și control care să le prognozeze cât mai exact puterea care poate disponibilă la un moment de timp.

De asemenea, distribuția geografică a generatoarelor electrice, care în cele mai multe cazuri se afla la distanțe mari față de consumatori, îi obliga pe operatori să diversifice și să extindă rețele de transport și distribuție a energiei electrice, făcându-le mai flexibile dar și mai complexe în același timp.

Un alt aspect important în ceea ce privește monitorizarea și controlul sistemelor electroenergetice îl reprezintă dezvoltarea și integrarea pe scară tot mai largă a rețelelor HVDC (High Voltage Direct Current), ceea ce va conduce la creșterea complexității, respectiv la necesitatea unor metode de estimare și monitorizare avansate în operarea SEE, folosind unități specializate tip PMU (Phasor Measurement Units) și SynDCs (Synchronous DC Measurement Units) [2], care utilizează protocolul C37.118 [3] [4].

Noul concept de monitorizare și control trebuie să fie capabil să prelucreze informații în timp real (Real Time). Această monitorizare se realizează la nivel local de stație de transport și distribuție cu ajutorul sistemelor SCADA iar la nivel național, datele se centralizează în sistemele EMS/DMS SCADA.

Evoluția rapidă a tehnologiei a făcut posibilă reducerea costurilor de producție ale echipamentelor componente sistemelor SCADA, fapt ce are ca rezultat o implementare pe scară largă a acestora. Practic, nu se poate vorbi despre o modernizare în sistemul electroenergetic fără a se lua în considerare și implementarea unui astfel de sistem.

Sistemele SCADA tradiționale, s-au axat pe monitorizarea și controlul independent al părților vitale din procesul tehnologic, dar sistemele moderne au ca scop monitorizarea și controlul întregului proces tehnologic, grup energetic sau stație electrică de transport sau distribuție a energiei, asigurând interconectarea tuturor echipamentelor de monitorizare

și control, asigurând vizibilitatea completă a tuturor datelor la nivelul central, de regulă în camera de comandă a grupului energetic, sau stației de transport sau distribuție a energiei electrice.

Sistemele SCADA moderne se caracterizează prin flexibilitate și scalabilitate și conectează instalația supervizată la facilitățile IT moderne: teleconducere, acces de la distanță, monitorizare pe telefonul mobil și posibilitate de stocare a arhivelor în cloud. În practică, aceste funcții se realizează printr-un set de echipamente hardware, cum ar fi serverele de sistem, controlerele locale, rețele de comunicații, stații de lucru operator (HMI) și pachete software specifice.

Indiferent de evoluția lor, sistemele SCADA moderne, continuă să ofere funcțiile de bază la fel ca cele tradiționale, respectiv monitorizarea și controlul unui volum mare de intrări/ieșiri, acestea au evoluat către interconectarea tuturor echipamentelor de monitorizare și control, asigurând vizibilitatea completă a tuturor datelor la nivelul central, de regulă în camera de comandă a centralei electrice, sau stației de transport sau distribuție a energiei electrice [5].

Având caracteristici principale flexibilitatea și scalabilitatea, în care partea hardware este compusă dintr-o multitudine de entități autonome, distribuite în diferite locații fizice, cu moduri de operare locală, la distanță sau controlate de la un dispecerat, la nivelul fiecărui sistem SCADA există o platformă software care gestionează unitar întregul ansamblu, făcând ca utilizatorul să-l perceapă ca pe un sistem unic și coerent la nivelul întregului proces tehnologic supervizat.

Dacă în zona de producere a energiei electrice, sistemele SCADA optimizează controlul și monitorizarea procesele tehnologice, facilitând intervenția umană în conducerea acestora, în stațiile electrice de transport și distribuție tendința este de a monitoriza și controla întreaga instalație de la nivelul dispeceratului teritorial sau național, iar modernizările au ca scop exploatarea instalațiilor fără personal.

De asemenea, tendințele actuale din domeniul IT nu au ocolit nici sistemele SCADA, chiar influențându-le dezvoltările viitoare. Deși sunt considerate sisteme de monitorizare și control închise și fără a interacționa foarte mult cu facilitățile IT, acestea trebuie să răspundă cerințelor tot mai complexe din energetică și să fie integrate în sistemele IT moderne.

La nivelul unei stații electrice de transport sau distribuție a energiei electrice nu se transferă doar energie ci și o mare cantitate de informații, care nu poate fi gestionată decât prin migrarea către sisteme de automatizare moderne, care să poată prelucra în timp real aceste date iar apoi să le transmită în formatul specific actorilor implicați în procesele tehnologice, cum ar fi: operatorii din stațiile electrice, Dispecerul Energetic Național

(DEN), Dispecerul Energetic Teritorial (DET), Centrele de Telecomandă și Supraveghere Instalații (CTSI), echipele de intervenție și mentenanță (EI), prin intermediul facilităților oferite de tehnologiile IT moderne ca SMS, MMS, Cloud, ERP, etc.

Un sistem SCADA tradițional este privit astăzi ca un monolit ce nu poate fi schimbat, controlul distribuit al procesului tehnologic fiind limitat de rețeaua de comunicație serială și de protocoale de comunicație specifice. De-a lungul anilor, hardware-ul, software-ul și arhitecturile de comunicație au devenit din ce în ce mai complexe, dar cu puține excepții, controlul se face în continuare cu ajutorul controlerelor și al serverelor de sistem.

Transportul și distribuția de energiei electrice impune ca toate elementele componente să fie monitorizate și controlate cu precizie. Acest deziderat poate fi asigurat de sistemele automate și în special de cele distribuite care pot asigura coordonarea unui număr mare de echipamente ale procesului tehnologic fără riscul de a comite erori, ajutând astfel operatorii să lucreze securizat și rapid.

Migrarea către sisteme SCADA moderne este de obicei impusă de performanțele slabe ale procesului de automatizare existent, costul ridicat cu întreținerea, lipsa componentelor și a specialiștilor și obstacolele tehnologice care blochează extinderea sau integrarea cu sistemele noi. Deși beneficiile aduse de noua tehnologie sunt evidente, prezenta cercetare pune în evidență soluții care justifică atât tehnic cât și economic alegerea unei soluții de sistem SCADA.

Pe baza acestor argumente, **scopul principal scop al acestei teze** este de a stabili principiile de bază, de a oferi o metodologie și de a furniza exemple pentru alegerea soluției optime atât pentru implementarea unui sistem SCADA nou, cât și pentru migrarea de la un sistem tradițional la unul modern impusă de adaptarea la cerințele și normele actuale.

În acest sens, în teză s-au urmărit **trei obiective majore** și anume:

1. **Realizarea unei analize detaliate a stadiului actual**, implementările și tendințelor de evoluție ale sistemelor SCADA în stațiile de transport și distribuție;
2. **Realizarea unui mediu de simulare în timp real de tipul Hardware-in-the-Loop (HIL)**, folosindu-se aplicația Open DSS elaborată de EPRI, respectiv EPSA (Electric Power Systems Analysis) elaborată în cadrul Laboratorului de Rețele și Sisteme Electroenergetice de la Facultatea de Energetică - UPB ca simulatoare de regimuri, împreună cu sistemul din cadrul Laboratorului SCADA de la Departamentul DSEE, Facultatea de Energetică - UPB;

3. **Propunerea unei noi funcții EMS SCADA pentru monitorizarea și control stabilității de tensiune** la nivelul unei stații electrice de transformare destinată alimentării unei zone de consum (stație de 220/110kV sau 400/110kV), respectiv dezvoltarea unei aplicații de simulare a acestei funcții utilizând măsurători locale clasice sau furnizate de dispozitive PMU.

Concluziile și recomandările vizând *dezvoltarea și implementarea sistemelor SCADA în sistemele electroenergetice* rezultate din cercetările efectuate pe durata studiilor doctorale au în vedere cerințele specifice ale beneficiarilor, normele interne și internaționale aplicabile în energetică, constrângerile bugetare ale unor astfel de investiții, limitările hardware și software ale sistemelor SCADA, integrarea unor echipamente sau sisteme, securitatea cibernetică și impactul redus al procesului tehnologic controlat pentru o viitoare dezvoltare și extindere.

În atingerea obiectivelor cercetării doctorale și pentru a avea un suport cât mai apropiat de cel al operării unei stații electrice de transport, am participat activ la conceptul, proiectarea implementarea și testarea sistemului de comanda-control-protectii, la "Universitatea POLITEHNICA București", "Facultatea de Energetică", "Departamentul de Sisteme Electroenergetice", a Laboratorului SCADA, a cărui dotare și realizare au fost asigurate de către companii care activează în domeniul energiei, cum ar fi operatorul național de transport CNETE Transselectrica SA, cât și cu contribuția SIEMENS Energy, Siemens România SRL și Eneroptim SRL. Laboratorul reproduce integral funcționalitatea unui sistem SCADA existent într-o stație electrică de 220/110 kV, fiind o soluție modernă de modelare dinamică pe mai multe niveluri [6] [7] [8] [9] [10] [11]. Interfața propusă reprezintă o soluție nouă de realizare a un mediu de simulare în timp real Hardware-in-the-Loop (HIL), folosindu-se aplicațiile Open DSS și EPSA elaborate în cadrul Laboratorului de Rețele și Sisteme Electroenergetice de la Facultatea de Energetică - UPB ca simulatoare de regimuri, împreună cu un sistem SCADA utilizat în prezent în stațiile electrice ale diverșilor operatori de transport și distribuție din Europa și Africa și Asia, cu performanțe foarte bune referitor la acuratețe în achiziția și prelucrarea semnalelor de stare și măsură din sistem.

Conceptul implementat în laboratorul SCADA evidențiază flexibilitatea modelării în timp real a mai multor tipuri de sisteme energetice, atât de transport și distribuție dar și rețele Microgrid complexe. Această abordare prezintă avantaje semnificative în comparație cu testele reale din teren, având posibilitatea simulării majorității tipurilor de defecte din sistemele electroenergetice.

Teza doctorală este constituită din 6 capitole, la care se adaugă un important studiu bibliografic.

Capitolul 1, "INTRODUCERE" constituie partea introductivă a lucrării unde este definit conceptul de sistem SCADA, sunt prezentate evoluția și tendințele sistemelor SCADA moderne utilizate în procesele electroenergetice vizând producția, transportul și distribuția energiei electrice.

Capitolul 2, "STADIUL ACTUAL, EVOLUȚII SI TENDINȚE ALE SISTEMELOR SCADA" definește conceptul și caracteristicile sistemelor SCADA, istoricul dezvoltării și implementării acestor sisteme în electroenergetica cât și stadiul actual al cercetării din domeniu.

Capitolul 3, "STRUCTURA, METODOLOGIA GENERALĂ ȘI STRATEGII DE IMPLEMENTARE ALE SISTEMELOR SCADA ÎN ELECTROENERGETICĂ", prezintă arhitectura, structura, metodologiile generale și strategii de implementare ale sistemelor SCADA în sistemele electroenergetice. Tot în acest capitol se descrie cadrul general privind monitorizarea și controlul proceselor tehnologice din domeniul transportului și distribuției de energie electrice utilizând sisteme SCADA.

Capitolul 4, "TEHNICI DE MONITORIZARE ȘI CONTROL ÎN TIMP REAL ALE SISTEMELOR ELECTROENERGETICE CU SISTEME SCADA MODELATE HARDWARE IN THE LOOP", prezintă tehnici de monitorizare și control în timp real a sistemelor electroenergetice cu sisteme SCADA modelate hardware-in-the-loop. De asemenea, este prezentată o soluție integrată pentru o stație electrică de 220/110 kV modelată Hardware-in-the-Loop, evidențiind funcționalitatea în timp real a arhitecturii de comandă control și beneficiile acestei soluții integrate.

Capitolul 5, "MIGRAREA SISTEMELOR SCADA CĂTRE SISTEME ADAPTIVE CU MONITORIZARE ȘI CONTROL ÎN TIMP REAL", prezintă funcțiile EMS ale automatizării de sistem având ca suport sistemul SCADA și importanța utilizării măsurătorilor sincronizate (sincrofazorilor) în sistemele electroenergetice, atât ca sisteme de măsurare independente cât și integrate în sistemele SCADA. În ultima parte a capitolului se propune o nouă funcție EMS SCADA pentru monitorizarea și control stabilității de tensiune la nivelul unei stații electrice de transformare destinată alimentării unei zone de consum (stație de 220/110kV sau 400/110kV) și sunt prezentate rezultatele obținute cu aplicația dezvoltată

pentru simularea acestei funcții. Softul dezvoltat în mediul MATLAB este atașat platformei din cadrul Laboratorului SCADA, utilizează programul EPSA pentru simularea de regimuri și datele locale (tensiunea și puterile activă și reactivă) furnizate de platforma HIL. Pe baza acestor informații, funcția de monitorizare evaluează riscul declanșării instabilității de tensiune și, dacă este cazul, activează funcțiile preventive sau corective ce se impun (alarmare, descărcare de sarcină, blocarea reglajului ploturilor etc.). Softul a fost testat folosind sistemul TEST2.

Capitolul 6, "CONCLUZII", prezintă concluziile care se desprind din aspectele teoretice și practice ale cercetărilor efectuate, precum și contribuțiile autorului.

CONCLUZII GENERALE

În contextul socio – economic actual rolul esențial în dezvoltarea și progresul unei țări revine digitalizării și infrastructurii energetice în ansamblul său. Prin urmare, se impune dezvoltarea și implementarea pe scară largă a sistemelor digitale de management, monitorizare și control (SCADA) în complexul proces de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

Deși dezvoltarea sistemelor SCADA a ținut și continuă să țină de interesele fiecărui furnizor de echipamente în parte, fiind realizată în sistem închis, în viitor, din perspectiva beneficiilor aduse utilizatorilor (reducerea costurilor de implementare și training), acestea trebuie să evolueze în direcția unor sisteme deschise și standardizate, fără caracteristici proprietare ale furnizorilor.

Un prim pas în această direcție l-a constituit adoptarea protocolului IEC61850 ca protocol unic de comunicație de către toți furnizorii. Principalul beneficiu al acestei standardizări îl constituie reducerea costului de integrare a echipamentelor de monitorizare și control ale diverșilor furnizori de sisteme SCADA.

Pe lângă adoptarea unui protocol de comunicație comun, sistemele SCADA trebuie să evolueze către o standardizare a arhitecturilor de proces și a tehnologiei de interfață cu utilizatorul (HMI). La ora actuală lipsa unei astfel de standardizări reprezintă o barieră în direcția dezvoltării acestor sisteme.

Migrarea către sisteme SCADA moderne va permite utilizarea tehnologiilor comune de automatizare, disponibile pentru toți furnizorii, ceea ce înseamnă o mai bună interoperabilitate și o compatibilitate mare atât cu facilitățile IT moderne, cât și cu mediul de afaceri.

Sistemele SCADA permit utilizarea tehnologiilor digitale și dezvoltarea unor algoritmi performanți pentru implementarea funcțiilor de management și control în cadrul platformelor EMS deoarece:

- sistemele digitale sunt mai precise și mai flexibile;
- algoritmi de comandă/control pot fi modificați fără a fi necesară oprirea sistemului;
- sistemele digitale necesită costuri mai mici la instalare și întreținere;
- datele digitale, stocate în fișiere electronice, sunt ușor accesibile diverselor aplicații care permit extragerea informațiilor necesare elaborării de rapoarte și prezentării stării operaționale a sistemului

sub formă grafică ușor de interpretat de operatorii din centrele de comandă și control;

- sunt flexibile în ceea ce privește proiectarea și dezvoltarea/extinderea acestora, sunt fiabile și ușor de întreținut;
- pierderea legăturii cu rețeaua de comunicații nu duce implicit și la pierderea completă a capacității sistemului SCADA deoarece unitățile distribuite pot continua să funcționeze fără pierderi semnificative de funcții pe perioade moderate sau prelungite de timp.

Cercetările efectuate pe parcursul elaborării tezei de doctorat pun în evidență faptul că menținerea în exploatare a doua sau mai multe sisteme SCADA cu tehnologii diferite, operate în paralel, reprezintă, pe de o parte, un consum suplimentar de resurse cu implementarea și exploatarea, iar pe de altă parte limitează dezvoltarea viitoare sau extinderea acestora.

Lucrarea reprezintă o cercetare nouă în literatura de specialitate din domeniu, oferind o bază teoretică și practică pentru viitoare studii referitoare la sistemele SCADA, integrarea în rețeaua IEC61850 a unor dispozitive pentru măsurători fazoriale sincronizate, respectiv unități PMU și PDC, cât și realizarea de scheme de automatizare adaptive, cu monitorizare și control în timp real, inclusiv a unor laboratoare destinate activităților de testare și training.

CONTRIBUȚII PERSONALE

Stadiul actual de dezvoltare al sistemelor SCADA utilizate în sistemele electroenergetice permite abordarea unor soluții informatice complexe, care oferă posibilitatea implementării unor tehnici de estimare, monitorizare și control avansate ce răspund eficient atât în cazul regimurilor normale de funcționare, cât și în cazul regimurilor perturbate.

Teza de doctorat abordează problematica complexă a dezvoltării și implementării sistemelor SCADA în sistemele electroenergetice și este structurată în două părți. În prima parte s-a efectuat o analiză a stadiului actual și a strategiilor de dezvoltare/implementare a sistemelor SCADA în cadrul sistemelor electroenergetice considerând două cazuri. În primul caz s-a considerat că migrarea către un sistem SCADA modern se va realiza parțial prin menținerea unei părți din sistemul existent și asigurarea operării în paralel a două sisteme SCADA. În al doilea caz s-a adoptat ipoteza implementării unui sistem complet nou care constituie o soluția tehnico – economică optimă.

În partea a doua se prezintă laboratorul realizat la Facultatea de Energetică din Universitatea POLITEHNICA din București destinat testării noilor tehnologii SCADA și activităților de formare/instruire, precum și două aplicații dezvoltate folosind tehnologia Hardware-în-the-Loop (HIL). Prima aplicație abordează problematica interfațării programelor de simulare a sistemelor electroenergetice cu echipamentele fizice din laborator (simularea procesului de achiziție de date). Cea de a doua aplicație vizează monitorizarea în timp real a stabilității de tensiune folosind măsurătorile locale furnizate de sistemul SCADA care poate include și tehnologiile de ultimă oră privind măsurătorile sincronizate (PMU). Această aplicație este propusă ca o nouă funcție în sistemele EMS SCADA destinată declanșării acțiunilor preventive, respectiv corective în cazul unor situații de alertă sau urgență.

Prin elaborarea tezei de doctorat cu titlul "**Dezvoltarea și implementarea sistemelor SCADA în Sistemele Electroenergetice**", autorul aduce o serie de contribuții, prezentate succint în continuare:

- Realizarea unui studiu bibliografic amănunțit în ceea ce privește stadiul actual al dezvoltării sistemelor SCADA pe plan mondial.

- Realizarea un studiu, actualizat la nivelul anului 2021, din care rezultă stadiul implementării sistemelor SCADA de către operatorul de transport și operatorii de distribuție din țara noastră.
- Efectuarea unui studiu de caz privind adoptarea strategiei optime de dezvoltare și modernizare a sistemelor SCADA considerând două soluții moderne de implementare, în două variante tipice și anume:
 - implementarea unui sistem modern, complet IEC 61850;
 - o re tehnologizare optimă a unui sistem tradițional existent, cu păstrarea și integrarea unor echipamente și soluții din investiția anterioară.
- Participarea la conceperea, proiectarea, instalarea și punerea în funcțiune a Laboratorului SCADA de la Facultatea de Energetică din UPB destinat testării noilor tehnologii SCADA și activităților de formare/instruire.
- Implementarea tehnologiei Hardware-in-the-Loop în cadrul laboratorului SCADA din UPB pentru interfațarea programelor de simulare a regimurilor sistemelor electroenergetice cu echipamentele fizice din laborator (simularea procesului de achiziție de date și a funcțiilor de monitorizare, comandă și control), concept care poate modela cu foarte mare acuratețe un sistem energetic real ce poate simula diferite regimuri de funcționare și defecte în timp real pentru sisteme energetice de transport, distribuție și rețele Microgrid complexe.
- Analiza lanțului bidirecțional de date și prezentarea impactului diverselor protocoale implementate în comunicația între diferite rețele asupra modelelor de date, punând în evidență atât asocierea acestora cu mărimile reale cât și cu datele suplimentare (metadata).
- Detalierea lanțului complet de gestionarea a modelelor de date fiind propuse îmbunătățiri, bazate pe analiza efectuată.
- Dezvoltarea interfeței software dintre programul de simulare a regimurilor sistemului electroenergetic și echipamentele de achiziție și control din cadrul laboratorului, integrată în aplicația Grid MonK pentru a realiza funcționalitatea HIL;
- Dezvoltarea aplicației Front End (FE)/punct central SCADA care schimbă date cu sistemul SCADA local, adaptată să funcționeze ca o bibliotecă în cadrul programului GridMonK;

- Adaptarea interfaței aplicației Grid MonK pentru funcționalitate SCADA de timp real;
- Conceperea și implementarea unei noi funcții EMS SCADA pentru monitorizarea și control stabilității de tensiune la nivelul unei stații electrice de transformare destinată alimentării unei zone de consum (stație de 220/110kV sau 400/110kV), respectiv dezvoltarea unei aplicații de simulare a acestei funcții utilizând măsurători locale clasice sau furnizate de dispozitive PMU, aplicație integrată în sistemul SCADA din laborator.

În vederea continuării studiilor prezentate în teza de doctorat, se propun următoarele direcții de cercetare:

- O nouă abordare a proiectării sistemelor SCADA bazată pe modele de date tridimensionale (IEC 61850), modele care sunt mai apropiate de gândirea umană decât de modul de funcționare al computerelor, aspect care îi oferă utilizatorului o libertate în modelarea virtuală a echipamentelor de proces.
- Extinderea analizei privind compatibilizarea modelele de date specifice sistemelor SCADA tradiționale cu cele moderne, cu accent pe modul în care se poate face conversia între modelele de date a două protocoale diferite, fără a se pierde informație și cu asigurarea transferului informațiilor adiționale (metadata) între cele două sisteme, sau cu completarea într-un mod coerent cu aceste informații a modelelor de date care sunt mai complexe.
- Adaptarea mediului de simulare HIL din cadrul laboratorului SCADA astfel încât să fie posibilă raportarea de măsurători fizice în serverul central SCADA, aspect realizabil prin integrarea IEC61850 a unităților PMU și PDC.
- Elaborarea unui ghid de recomandări privind implementarea sistemelor SCADA în stații electrice similare dar cu strategii de implementare diferite.
- Extinderea funcției de monitorizare online a stabilității de tensiune în sensul utilizării rezultatelor furnizate de aceasta (valorile indicatorului VSI și ale distanțelor în putere) într-un algoritm destinat descărcării de sarcină pentru a preveni instabilitatea de tensiune.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] ENTSO-E, ENTSO-G, „TYNDP 2018 Scenario Report,” 2017.
- [2] C. Wenge, A. Pelzer, A. Naumann, P. Komarnicki, S. Rabe, M. Richter, „Wide area synchronized HVDC measurement using IEC61850 communication,” IEEE Power and Energy Society, General Meeting, 27 July 2014.
- [3] G. Phadke, J. S. Thorp, „Synchronized Phasor Measurements and Their Applications,” Springer Verlag, 2008.
- [4] J. R. Carroll, F. R. Robertson, „A Comparison of Phasor Communication Protocols,” Pacific Northwest National Laboratory report, February 2019.
- [5] S. Chowdhury, S. P. Chowdhury and P. Crossley, „Microgrids and Active Distribution Networks,” The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [6] C. Zambrano, C. Trujillo, D. Celeita, M. Hernandez, and G. Ramos, „Gridteractions: Simulation platform to interact with distribution systems,” IEEE Power and Energy Society General Meeting(PESGM), pp. 1–5, July 2016.
- [7] D. Celeita, M. Hernandez, G. Ramos, N. Penafiel, M. Rangel, and J. D. Bernal, „Implementation of an educational real-time platform for relaying automation on smart grids,” Electric Power Systems Research, vol. 130, pp. 156–166, 2016.
- [8] D. Martinez, D. Celeita, D. Clavijo, and G. Ramos, „Hardware and software integration as a realist SCADA environment to test protective relaying control,” IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, pp. 1–8, Oct 2017.
- [9] S. Brahma, J. De La Ree, J. Gers, A. Girgis, S. Horowitz, R. Hunt, M. Kezunovic, V. Madani, P. McLaren, A. Phadke, M. Sachdev, T. Sidhu, J. Thorp, S. Venkata, and T. Wiedman, „The Education and Training of Future Protection Engineers: Challenges, Opportunities, and Solutions,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 2, pp. 538–544, April 2009.
- [14] B. Camachi, L. Ichim, D. Popescu, „Cyber Security of Smart Grid Infrastructure,” IEEE 12th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, SACI, Timisoara, Romania, 2018.

- [15] R. Botezatu, „Cyber Security for SCADA and DCS systems, ICARE Cybersecurity,” Germany, 2016.
- [17] ANRE, Autoritatea Națională de Reglementare în domeniul Energiei, „Raport Anual,” 2019.
- [25] D. A. Poștovei, C. Bulac, I. Triștiu and B. Camachi, „A practical implementation of modern Distributed Control Systems in Electric Power Substations,,” 12th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), pp. 1-6, doi: 10.1109/ECAI50035.2, Bucharest, Romania, 2020.
- [26] M. Sanduleac, „Tehnologii digitale si sisteme SCADA pentru conducerea sistemelor electroenergetice,” Politehnica Press, ISBN 979-606-515-870-2, Bucharest, Romania, 2019.
- [27] D. Costianu, N. Arghira, I. Făgărășan Ioana, S. St. Iliescu, „Standards in Control and Protection Technology for Electric Power Systems,” Proceedings of Journal ISOM No. 2 Vol. 2, page 416-427, Bucharest, 2008.
- [33] D. A. Poștovei, C. Bulac, I. Triștiu and B. Camachi, „Setting up a Distributed Control System Laboratory,” 11th International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iasi, 2020.
- [60] M. Eremia, H. Criscu, B. Ungureanu, C. Bulac, „Analiza asistata de calculator a regimurilor sistemelor electroenergetice,” Editura Tehnica, Bucuresti, 1985.
- [81] M. Gavrilaș, „Stabilitatea și controlul sistemelor electroenergetice,” Editura Politehnicum, 2011.
- [82] P. Kundur, J. Paserba, V. Ajjarapu, „Definition and classification of power system stability,” IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions, et al. No. 3, s.l. : IEEE Transaction on Power Systems, pp. 1387-1401, Vol. 19. DOI: 10.1109/TPWRS.2004.825981., 2004.
- [86] Nicoleta Arghira, Sergiu Stelian Iliescu, Conducerea și automatizarea instalațiilor energetice, <http://shiva.pub.ro/cursuri/conducerea-si-automatizarea-instalatiilor-energetice>.
- [96] C. Bulac, M. Eremia, Dinamica sistemelor electroenergetice, Bucuresti: Editura Printech, 2006.

- [99] S. Ștefănescu, R. Tîrnovan, Automatiari în Sistemele Electroenergetice, Cluj Napoca: U.T. PRESS, ISBN 978-606-737-367-7, 2019.
- [106] Radu-Adrian Tîrnovan, „Protecții digitale în Sistemele Electroenergetice,” U.T. PRESS, ISBN 978-606-737-370-7, CLUJ-NAPOCA, 2019.
- [116] P. Kundur, Power System Stability and Control, New York: MacGraw-Hill, Inc., 1994.