

Portofoliu de competențe și expertize – TISIPRO

- SINTEZĂ -

CERCETĂRI ŞI TRANSFER DE CUNOŞTINȚE ÎN DOMENIUL TEHNOLOGIILOR ŞI INSTRUMENTELOR SOFTWARE PENTRU INFORMATIZAREA PROCESELOR INDUSTRIALE – TISIPRO

Proiect cofinanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională prin Programul Operațional Competitivitate 2014-2020

Conținutul acestui material nu reprezintă în mod obligatoriu poziția oficială a Uniunii Europene sau a Guvernului României

CUPRINS

Introducere 5

I. Domeniul Știința calculatoarelor și tehnologia informației. Subdomeniile: Proiectarea unor infrastructuri de securitate și serviciilor / mecanismelor de securitate asociate; Servicii informatice în nor (cloud); Tehnologii și instrumente ale Web-ului semantic pentru aplicații industriale inteligente 8

1. Proiectarea unor infrastructuri de securitate și a serviciilor și mecanismelor de securitate asociate 8
2. Servicii informatice în nor (cloud) 13
3. Tehnologii și instrumente ale Web-ului semantic pentru aplicații industriale inteligente 21

II. Domeniul Sisteme automate. Subdomeniile: Sisteme embedded și Proiectare asistată pentru sisteme de conducere 24

1. Sisteme embedded – prezentare generală 24
2. Soluții software pentru sisteme embedded – proiectarea bazată pe model 28
3. Achiziția și prelucrarea datelor 31
4. Tehnici de estimare a parametrilor 33

III. Domeniul: Sisteme automate. Subdomeniul: Aplicații software pentru sisteme de control și de achiziții de date 39

1. Sisteme de achiziții de date cu prelucrare în timp real și pachete software dedicate 39
2. Instrumente software pentru implementarea algoritmilor de identificare 42
3. Instrumente software specifice pentru proiectare și analiză a unor scheme de estimare on-line a parametrilor proceselor 44
4. Instrumente software de acordare automată a regulatoarelor din buclele primare ale proceselor 47
5. Proiectarea unor algoritmi de conducere adaptivi și robust-adaptivi pentru un bioproces cu timp mort 50
6. Instrumente software specifice pentru achiziția datelor și pentru

reglare bazate pe echipamente hardware specializate 52
7. Instrumente software specifice pentru modelarea și simularea proceselor industriale 56

IV. Domeniul Software aplicativ pentru Ingineria electrică. Subdomeniile: Sisteme de acționare, Energetică și Proiectare asistată de calculator 59
1. Instrument CAD pentru analiza senzitivităților și toleranțelor circuitelor analogice 60
2. Sisteme de control în timp real al sistemelor de acționare de mare putere și pachete software dedicate 61
3. Modelarea și simularea numerică a circuitelor neliniare cu elemente de comutație. Instrumente CAD pentru simularea blocurilor de forță și comandă ale invertoarelor multinivel 65
4. Controlul mașinilor asincrone de mare putere 66
5. Simularea mașinilor asincrone alimentate cu invertoare de tensiune 68
6. Interfață grafică utilizator pentru simularea și analiza energetică a sistemelor de acționare cu motoare asincrone și convertoare statice indirecte de tensiune și frecvență 69

V. Domeniul Sisteme automate. Subdomeniul: Robotică și Mecatronică 72
1. Introducere 72
2. Fabricația asistată de calculator 73
3. Sistemele automatizate / informatizate de depozitare / regăsire 77
4. Soluții automate / informatizate de transfer și sortare pentru sisteme flexibile de fabricație 78
5. Soluții automate / informatizate de monitorizare, control și achiziții de date pentru sisteme flexibile de fabricație 80
6. Soluții automate / informatizate de control pentru procese 84

Bibliografie 87

Introducere

Proiectul „**Cercetări și transfer de cunoștințe în domeniul tehnologiilor și instrumentelor software pentru informatizarea proceselor industriale** (TISIPRO)", a fost aprobat spre finanțare în anul 2016 în cadrul Programului Operațional Competitivitate 2014-2020, Contract de finanțare nr. 61/05.09.2016, încheiat între Universitatea din Craiova, în calitate de beneficiar, și Autoritatea Națională pentru Cercetare Științifică și Inovare, în calitate de Organism Intermediar, în numele și pentru Ministerul Fondurilor Europene, în calitate de Autoritate de Management.

Proiectul TISIPRO vizează în principal dezvoltarea de soluții software pentru informatizarea unor procese desfășurate în întreprinderi din mediul industrial, parteneri tradiționali ai Universității din Craiova, dar și în cadrul unor noi întreprinderi partenere din regiune și din țară.

Obiectivul general al proiectului este *creșterea interacțiunii Universității din Craiova (UCV) cu mediul industrial,* bazată pe facilitarea accesului întreprinderilor la expertiza științifică și infrastructura de cercetare a Universității din Craiova, Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică, în scopul transferării rezultatelor de cercetare către întreprinderile industriale. Atingerea acestui obiectiv se va concretiza prin obținerea unor instrumente software aplicabile direct în mediul industrial specific întreprinderilor din regiune dar și din țară.

În cadrul activității **A. Stimularea transferului de cunoștințe** din proiectul TISIPRO, sub-activitatea A.1 Identificarea și formularea ofertei de expertiză și rezultate, au fost formulate și elaborate portofoliile de competențe și expertize de cercetare pe domeniul proiectului TISIPRO, în scopul prezentării firmelor în cadrul sub-activităților A.2 (Asistență directă acordată întreprinderilor pentru identificarea din oferta de expertiză ce se potrivește cu nevoile și cerințele lor), A.3 (Organizarea de întâlniri individuale cu întreprinderile sau organizarea de evenimente tematice) și A.5 (Identificarea de noi potențiali beneficiari ai transferului de cunoștințe).

Formularea și elaborarea portofoliilor s-a realizat în mod dinamic, acestea trebuind să fie adaptate permanent în funcție de necesitățile firmelor și contactele care s-au incheiat sau se vor încheia cu firmele, de cerințele acestora și de evoluția proiectului. Au fost organizate echipe de lucru pe domenii și subdomenii specifice dedicate însă proiectării și implementării de unelte software pentru informatizarea proceselor. Experții din echipe au putut participa la mai multe grupuri, în funcție de competențe și de firmele targetate.

Domeniile și echipele de lucru au fost următoarele:

I. Domeniul Știința calculatoarelor și tehnologia informației

Șef lucr. dr. ing. Ion-Eugen GANEA
Șef lucr. dr. ing. Marius-Adrian MARIAN
Conf. univ. dr. ing. Elvira POPESCU

II. Domeniul Sisteme automate, subdomeniile Sisteme embedded și Proiectare asistată pentru sisteme de conducere

Prof. univ. dr. ing. Cosmin-Cătălin IONETE
Șef lucr. dr. ing. Ion-Marian POPESCU
Conf. univ. dr. ing. Gheorghe-Dorin ȘENDRESCU
Asist. univ. dr. ing. Constantin ȘULEA-IORGULESCU

III. Domeniul Sisteme automate, subdomeniul Aplicații software pentru sisteme de control și de achiziții de date

Prof. univ. dr. ing. Emil PETRE
Prof. univ. dr. ing. Dan POPESCU
Conf. univ. dr. ing. Monica-Gabriela ROMAN
Prof. univ. dr. ing. Dan SELIȘTEANU

IV. Domeniul Software aplicativ pentru Ingineria electrică, sub-domeniile: Sisteme de acționare, Energetică și Proiectare asistată

Prof. univ. dr. ing. Iuri-Sergiu IVANOV
Prof. univ. dr. ing. Lucian MANDACHE
Prof. univ. dr. ing. Mihaela POPESCU
Asist. univ. dr. ing. Constantin ȘULEA-IORGULESCU

V. Domeniul Sisteme automate, subdomeniul Robotică și Mecatronică

Prof. univ. dr. ing. Dorin POPESCU
Șef lucr. dr. ing. Ion-Marian POPESCU
Prof. univ. dr. ing. Dan SELIȘTEANU

Competențele și expertizele prezentate și dezvoltate de echipa de implementare a proiectului sunt corelate cu obiectivul general al proiectului TISIPRO: *creșterea interacțiunii Universității din Craiova cu mediul industrial*. Atingerea acestui obiectiv se va concretiza prin obținerea unor instrumente software aplicabile direct în mediul industrial specific. Obiectivul specific al proiectului TISIPRO este ***Identificarea și oferirea de soluții software inovative*** din domeniul calculatoarelor și al tehnologiilor informatice aplicate pentru obținerea de produse și procese, tehnologii noi sau îmbunătățite, identificate de întreprinderi ca fiind cerute de piață. Ideea de cercetare aplicativă este sintetizată de paradigma **Sistemelor de Control Distribuite** (Distributed Control Systems - DCS). Această abordare constă în conducerea unitară a proceselor de mare complexitate prin implementarea unor sisteme distribuite și ierarhizate - Fig. 1.

În proiect au fost și vor fi încheiate contracte și se vor derula activități de cercetare cu întreprinderile interesate, cercetări orientate pe proiectarea / construirea / configurarea / dezvoltarea unor pachete de instrumente software pentru aplicații specifice DCS. Fiecare instrument software este dedicat unui anumit nivel al DCS, după cum se poate observa din Fig. 1. În continuare vor fi prezentate portofoliile de competențe și expertize formulate de echipa de implementare, în perioada 05.09.2016 - 31.08.2018, pe domeniile formulate anterior.

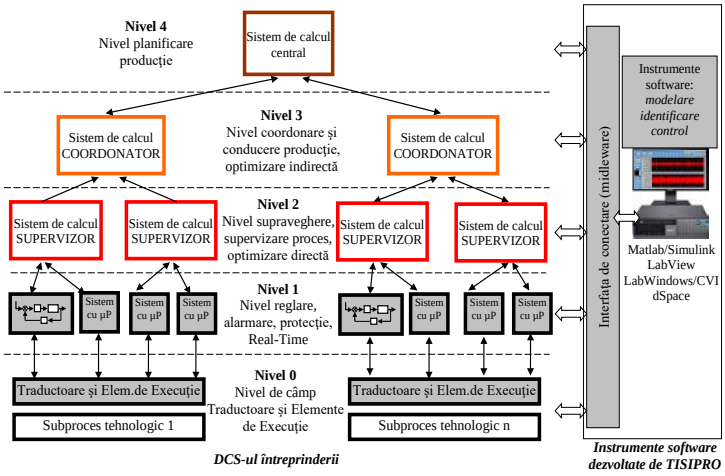


Fig. 1. Structură distribuită și ierarhizată de conducere structurată pe 5 niveluri

I. Domeniul Știința calculatoarelor și tehnologia informației

- subdomeniile: Proiectarea unor infrastructuri de securitate și serviciilor / mecanismelor de securitate asociate; Servicii informatice în nor (cloud); Tehnologii și instrumente ale Web-ului semantic pentru aplicații industriale inteligente -

Atingerea obiectivului general al proiectului TISIPRO se va concretiza prin obținerea unor instrumente software aplicabile direct în mediul industrial specific. Direcțiile majore abordate în cadrul activităților de specificare a portofoliilor de competență au fost dedicate:

- prezentării unor metode de asigurare a securității sistemelor de control industriale:
  - în contextul mai amplu al unor infrastructuri cu cheie publică;
  - în contextul unor infrastructuri și servicii de tip Cloud Computing și a provocărilor de securitate asociate acestora;
- prezentării unor tehnologii și instrumente ale Web-ului semantic pentru aplicații industriale inteligente.

Aceste direcții majore au fost identificate ca puncte de interes pentru contractul de cercetare subsidiară de tip D ce se va derula cu S.C. Centrul de Calcul S.A. din Tg. Jiu.

1. Proiectarea unor infrastructuri de securitate și a serviciilor și mecanismelor de securitate asociate

În acest domeniu au fost abordate următoarele direcții ale portofoliului de competențe și expertize, în concordanță cu solicitările firmelor formulate în cadrul întâlnirilor desfășurate în proiect:

- *Securitate informatică via criptografie*
- *Elemente de securitate pentru cloud computing*

În cadrul primei direcții au fost sintetizate conceptele fundamentale legate de criptografie, domeniu cu implicații și aplicații extinse în inginerie. Protecția informației poate însemna diferite lucruri în funcție de contextul și scopul în care este folosită. Uneori este nevoie să fie garantată integritatea datelor/informațiilor, alteori acestea trebuie să fie vizibile doar

într-un anumit cerc de entități autorizate (garantarea confidențialității și a controlului accesului) etc. Obiectivele fundamentale ale securității informatice sunt rezumate la triada *confidențialitate*, *integritate*, *disponibilitate*. Pentru a atinge o parte din aceste obiective fundamentale ale securității informatice, criptografia joacă un rol fundamental. Există două categorii majore în ceea ce privește criptografia: criptografia simetrică (secretă), respectiv criptografia asimetrică (cu cheie publică), Fig. 2-3. Principiile ce guvernează un sistem criptografic de încredere sunt:

- Definirea unui algoritm criptografic sigur;
- Siguranța sistemului nu trebuie să se bazeze pe confidențialitatea algoritmului;
- Un aparat și o teorie matematice solide pentru algoritmul folosit;
- Capacitatea de a genera numere aleatorii;
- Flexibilitatea de a folosi chei sigure apte să contracareze de-a lungul timpului creșterea volumului de resurse computaționale folosite pentru atac cu forță brută.

Între mecanismele de securitate prezente și impuse în proximitatea resurselor ce se doresc a fi protejate, un concept important îl reprezintă **definirea unui perimetru de securitate**. Istoric vorbind acest concept simplifică două obiective majore: în primul rând, acest concept este similar ridicării unui zid de protecție împotriva potențialilor agresori din exterior, iar în al doilea rând, conceptul își propune păstrarea în captivitate a unor entități bine definite. Chestiunea ***autentificării*** este importantă pentru multe domenii de activitate umană. În domeniul calculatoarelor și a tehnologiilor informatice autentificarea utilizatorilor devine bază pentru alte mecanisme de securitate care le succed.

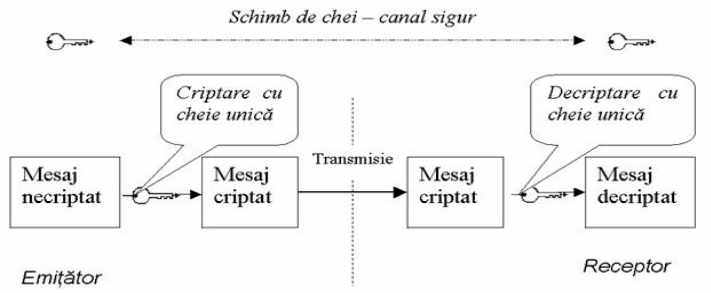


Fig. 2. Criptografia simetrică

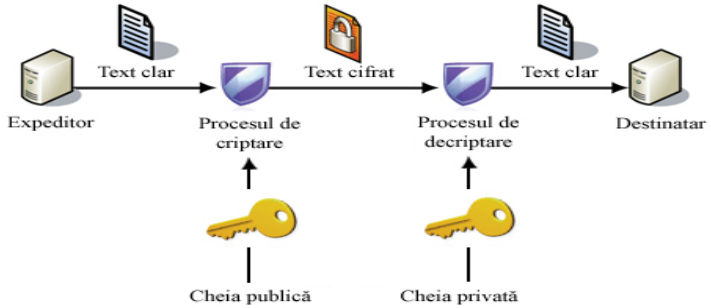


Fig. 3. Criptografia asimetrică (confidențialitate)

Vorbim în acest context, despre mecanismul de **control al accesului**, respectiv despre mecanismele de **trasabilitate** și **responsabilitate** a utilizatorilor asupra propriilor acțiuni în interiorul unui perimetru de securitate. Într-un spectru mai larg, autentificarea are legătură și cu drepturile/credențialele asociate unui utilizator (mecanismul de **autorizare**). Procesul de autentificare a unui utilizator presupune întotdeauna doi pași:

1. Etapa de **identificare**: presupune că utilizatorul va înainta un identificator către sistemul informatic. Asupra identificatorilor folosiți vor fi luate măsuri de precauție ținându-se cont de faptul că acești identificatori sunt folosiți în aval în cadrul altor mecanisme de securitate (autorizare, controlul accesului, trasabilitate, responsabilitate/contabilitate, etc.);
2. Etapa de **validare**: presupune verificarea identității pretinse de către utilizator și confirmarea/infirmarea legăturii dintre credențialul de identificare și posesorul legitim al acestuia.

În ceea ce privește mijloacele de autentificare ale identității utilizatorilor, literatura de specialitate specifică trei categorii distincte care se bazează pe:

1. Factori de **cunoaștere**;
2. Factori de **posesie**;
3. Factori inerenți/intrinseci (sau **biometrici**).

Aceste trei categorii apar alteori descrise sub forma a patru categorii distincte datorită faptului că factorii intrinseci utilizatorilor (factori ce țin de biometrie) pot fi sparți în două categorii (caracteristici statice, respectiv dinamice).

În portofoliu au fost prezentate concepte utile pentru întreprinderi, care pot fi implementate în cadrul viitoarelor contracte subsidiare:

- **Autentificarea bazată pe parolă**. Este mecanismul de autentificare cel mai des întâlnit în scenariile informatice cu care interacționăm cotidian (sisteme de operare multi-utilizator, platforme web, etc.). Fiind atât de folosit putem spune că este un mecanism care a depășit proba timpului și a dovedit că funcționează, însă probleme sale inerente sunt multiple, iar vulnerabilitățile de care este susceptibil nu îl (mai) recomandă pentru scenarii critice. Este de asemenea, relativ simplu de implementat nenecesitând încorporarea unor funcționalități suplimentare (cum este cazul celor care folosesc factori de posesie), respectiv dispozitive suplimentare de achiziție și prelucrare ale unor caracteristici biometrice.
- **Politici de securitate a parolelor recomandate**. Au fost enumerate câteva recomandări practice care vizează mecanismele de autentificare bazate pe nume de utilizator și parolă.
- **Autentificarea bazată pe factori de posesie**. În domeniul tehnologiilor informatice, factorii de posesie cei mai des întâlniți sunt: cardurile de memorie, respectiv cardurile inteligente.

Deosebirea majoră dintre cele două constă în faptul că toate cardurile de memorie pot doar stoca date, dar nu le pot prelucra. Cel mai cunoscut card de memorie este cardul magnetic. Cardurile inteligente pe de altă parte au și capacitatea de a prelucra date. În plus, acestea au interfețe de comunicație cu contact sau fără contact fizic. Ele pot fi clasificate în funcție de:

- Caracteristicile fizice,
- Interfața de comunicație cu exteriorul,
- Protocolul de autentificare.

Această primă direcție este una de importanță majoră în cadrul DCS-urilor (*Distributed Control Systems*) vizate de proiect. Este de notorietate impactul pe care securitatea informatică îl poate avea asupra sistemelor industriale de control (a se vedea, de exemplu, atacul cibernetic masiv WannaCry, care a determinat stoparea temporară a unor sisteme de control industrial în unități și sectoare de producție). Documentul *Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security* (emis de Departamentul de

Comerț și de Institutul Național de Standarde și Tehnologii, SUA) atrage atenția asupra importanței și criticității acestor sisteme industriale de control (ICS – industrial control systems) într-o multitudine de industrii și sectoare economice precum cele de tip electric, energetic, apă și gestiunea deșeurilor, transport, financiar, servicii, chimic, farmaceutic, extractiv, alimentar, manufacturier (de ex. automotive, aerospațial și bunuri de consum). Sub titulatura ICS sunt grupate mai multe tipologii de sisteme de control vizate în proiect:

- Sistemele de tip SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* - sisteme de supervizare/monitorizare și de achiziții de date). Acestea sunt folosite pentru controlul resurselor dispersate ale unui sistem industrial folosind o paradigmă centralizată de monitorizare și achiziție de date;
- Sistemele de tip DCS (punctul focal de interes al proiectului);
- Sistemele de tip PLC (*Programmable Logic Controllers* – automate de comandă și reglare programabilă). Aceste automate sunt de obicei, calculatoare de proces ranforsate folosite în medii industriale dure pentru controlul robust al proceselor.

Pentru asigurarea securității multi-nivel în cadrul DCS-urilor (Distributed Control Systems) vizate de proiect, în portofoliu a fost prezentat conceptul de **infrastructură cu cheie publică** – PKI (în engleză, Public-Key Infrastructure). Acesta reprezintă mulțimea entităților (de tip tehnică de calcul sau persoane), a regulilor, procedurilor și politicilor care folosind tehnici și tehnologii bazate pe criptografia cu cheie publică au rolul de a asigura suportul pentru crearea, gestiunea, distribuirea, utilizarea, stocarea și revocarea certificatelor digitale. Criptografia cu cheie publică reprezintă tehnici și standarde bine cunoscute folosite în protejarea liniilor de comunicație împotriva unor multitudini de atacuri cibernetice. Implementarea se regăsește în *certificate digitale* (numite și *certificate cu cheie publică*), care reprezintă documente electronice ce conțin cel puțin trei componente:

1. *Cheia publică* (valoarea binară efectivă a acesteia);
2. *Identitatea proprietarului* cheii publice de mai sus – identitate verificată de o terță parte, de încredere;
3. *Semnătura digitală* a certificatului, efectuată de către terța parte de încredere.

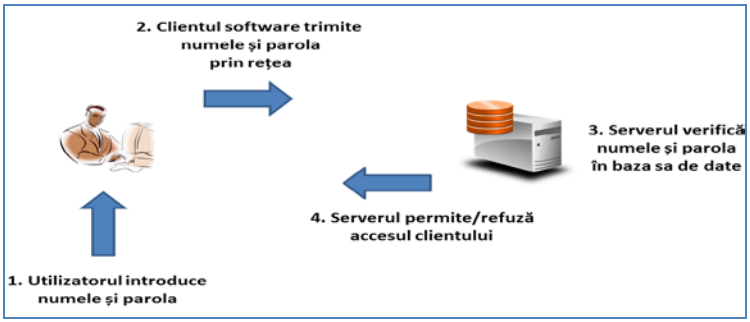


Fig. 4. Autentificarea bazată pe parolă

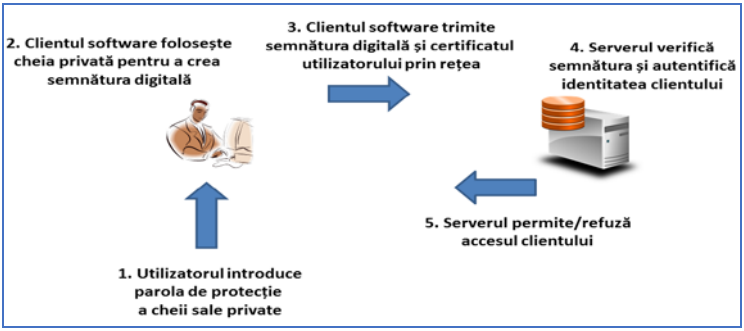


Fig. 5. Autentificarea cu certificat cu cheie publică

Certificatul digital poate conține și alte informații (o dată de expirare, identitatea TTP-ului, un număr unic de identificare, modalități de folosire a cheii publice, mecanisme de verificare a stării certificatului etc.). Avantajele autentificării bazate pe certificate digitale au fost relevate în portofoliu, prin analiza celor două tipuri de identificări și verificări posibile via PKI:

- Autentificarea bazată pe nume de utilizator și parolă, Fig. 4;
- Autentificarea bazată pe certificat digital, Fig. 5.

2. Servicii informatice în nor (cloud)

În privința celei de-a doua direcții, *elemente de securitate pentru cloud computing*, au fost prezentate cele 3 tipuri de bază de servicii cloud:

- *Infrastructura ca serviciu* (IaaS): furnizorul livrează resurse de calcul (hardware virtual), accesibil on-line. În general, există două tipuri de resurse: putere de procesare (inclusiv resurse de rețea) și de stocare.

- *Platforma ca serviciu* (PaaS): în PaaS, furnizorul livrează o platformă (servere de aplicații) pentru clienți. Furnizorii de PaaS oferă un instrument de dezvoltare de software pentru platformă. Exemple de aplicații care rulează pe aceste platforme sunt script-urile (PHP, Python).
- *Software-ul ca serviciu* (SaaS): în SaaS, furnizorul livrează software sau aplicații cu drepturi depline, prin internet. Aplicațiile variază de la servere de e-mail, editori de documente, sisteme de management al relațiilor cu clienții. Furnizorii SaaS pot rula aplicațiile lor de pe un IaaS sau PaaS de la un alt furnizor. Un exemplu este site-ul de streaming video Netflix (SaaS), care rulează pe serviciile de calcul Amazon AWS (PaaS/IaaS).

În paradigma *cloud computing* livrarea resurselor de tip ICT (din eng. *Information and Communication Technologies*) poate fi externalizată de către furnizorul de cloud. Unele dintre mecanismele de securitate (monitorizarea, răspunsul la incidente, etc.) sunt externalizate. În funcție de tipul de serviciu cloud, unele sarcini rămân în responsabilitatea clientului, în timp ce altele rămân sub responsabilitatea furnizorului. Repartizarea sarcinilor de securitate poate fi diferită pentru servicii de cloud diferite (IaaS, PaaS, SaaS). În practică, pentru IMM-uri este important să se evalueze cu atenție care sarcini de securitate sunt externalizate către furnizorul de cloud și care sunt sarcinile rămase în propria lor răspundere.

De asemenea, au fost prezentate și discutate in extenso concepte precum: Cloud Computing și implicațiile de securitate; Securitatea containerelor și a imaginilor Docker.

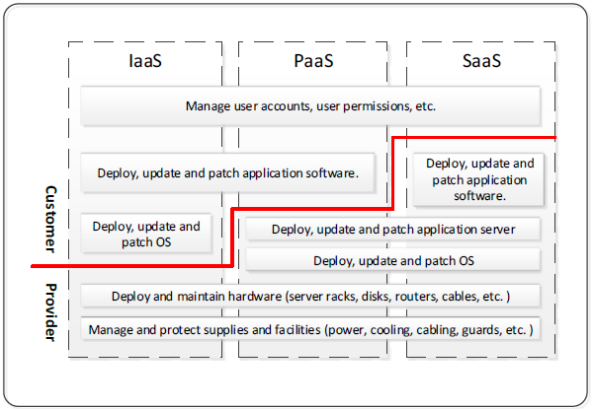


Fig. 6. Repartizarea sarcinilor de securitate în cloud

O altă subdirecție abordată vizează *infrastructura Cloud Computing*, cu referire la *provocările de securitate*. Cele mai frecvente vulnerabilități ale sistemelor care se bazează pe cloud computing sunt legate de securitatea datelor: compromiterea securității datelor, pierderea datelor, piratarea conturilor sau a serviciilor, blocarea serviciilor Cloud, abuz asupra serviciilor Cloud, probleme cu tehnologiile distribuite etc.

În portofoliu se prezintă situația securității în Cloud, precum și concluziile unor studii de specialitate. Securitatea datelor în Cloud Computing este una dintre cele mai semnificative probleme. În paradigma Cloud Computing toate datele și înregistrările sunt încredințate unui terț ceea ce face ca securitatea datelor să devină principala problemă. Sistemele standard de Cloud Computing asigură servicii și în domeniul managementului. Au fost create protocoale distribuite pentru a se asigura corectitudinea datelor stocate pe mai multe servere, dar aceste scheme distribuite nu pot fi conștiente de operațiunile dinamice asupra datelor. *Schema efectivă distribuită și flexibilă* ar trebui să fie concepută special pentru depozitarea datelor în cloud, cu scopul de a asigura corectitudinea datelor, suport dinamic și implementare ușoară. Comparativ cu metodele tradiționale de distribuție a fișierelor, această schemă reduce comunicarea și spațiul de depozitare suplimentar.

Vom prezenta în această secțiune câteva dintre recomandările făcute în a doua jumătate a anului 2016, de Guvernul Marii Britanii (prin Centrul Național pentru Securitate Cibernetică) în legătură cu analiza și implementarea securității în cloud. Aceste recomandări sunt de luat în considerare atunci când informații oficiale urmează a fi stocate în infrastructuri bazate pe cloud sau furnizate via servicii de tip cloud. Aceste principii sunt enunțate succint în lista următoare:

1. **Protecția datelor în tranzit**. Importanța acestui principiu derivă din consecințele pe care le poate avea un atac efectuat asupra acestora țintind obiective majore de securitate precum confidențialitate sau integritate. Pentru a asigura protecția datelor în tranzit, proprietarul unei infrastructuri de tip cloud va implementa măsuri complementare bazate pe criptografie și securitatea rețelei de comunicație.

2. **Protecția informațiilor și mecanisme de recuperare a acestora**. Atacuri potențial reușite împotriva informațiilor consumatorilor pot

conduce la complicații juridice și economice majore pentru proprietarii infrastructurilor de tip cloud. Prin urmare, sunt necesare să fie puse în acțiune atât mecanisme de protecție cât și de recuperare a informațiilor. Acestea trebuie să acopere protecția informațiilor la nivel fizic.

3. **Separarea consumatorilor**. Conceptul din spatele acestui principiu declară faptul că activitățile și informațiile unui consumator trebuie să fie perimetrate clar de cele ale unui alt consumator. În această manieră, compromiterea sau existența unor vulnerabilități asociate unui consumator nu vor avea impact asupra celorlalți. Perimetrând fiecare consumator, infrastructura și serviciile cloud capătă o robustețe mai mare.

4. **Cadrul general de guvernanță**. Maturitatea unei infrastructurii de tip cloud și a serviciilor asociate este dată de cadrul general de guvernanță. În ceea ce privește chestiunea securității, lucrurile nu stau cu nimic diferit. Pentru un proprietar al unei infrastructuri de tip cloud, devine necesară crearea, impunerea și utilizarea unui cadru de guvernanță care să abordeze sistemic și să coordoneze toate activitățile, persoanele, mecanismele și controalele ce au legătură cu securitatea serviciilor și a informațiilor.

5. **Securitatea operațională**. Alături de cadrul de guvernanță a securității, un operator sau proprietar de infrastructură de tip cloud (și servicii conexe) trebuie să pună în aplicare proceduri și protocoale care să asigure buna funcționare a acestora. Existența și aplicarea acestor măsuri operaționale garantează o adaptare rapidă la schimbări și situații de criză generate de agresiuni la adresa serviciilor și infrastructurii în timpul funcționării. Lipsa acestora poate crea întreruperi ale serviciilor oferite clienților și ineficiență în gestionarea atacurilor de securitate.

6. **Securitatea personalului**. Personalul implicat în concepția, planificarea, gestiunea, implementarea și operarea unei infrastructuri de tip cloud și a serviciilor asociate reprezintă elementul esențial. Educația continuă a personalului va viza familiarizarea acestuia cu cele mai noi chestiuni de securitate informatică și operațională pentru a asigura o cultură internă a securității. Adițional, personalul implicat va fi monitorizat (auditat) de responsabili interni și/sau externi pentru a evita „defectarea" voluntară sau involuntară a acestora.

7. **Dezvoltarea serviciilor ținând cont de securitate**. Obiectivele de securitate informatică (privite cel mai adesea ca cerințe opționale și non-

funcționale) trebuie să fie prezente de la bun început în concepția și dezvoltarea serviciilor de tip cloud. Prezența și includerea acestora în procesele de dezvoltare software (sau de integrare hardware-software) pot atenua și identifica vulnerabilitățile potențiale sau deja existenta în versiuni precedente ale acestor servicii de tip cloud.

8. **Asigurarea securității în lanțul de aprovizionare**. Este un principiu important dacă ne amintim o definiție a securității frecvent utilizată: „securitatea este la fel de puternică ca cea mai slabă verigă din lanț". Operatorii unei infrastructuri, plus a serviciilor de tip cloud sunt adesea integratori de soluții de securitate. Atunci când operatorii nu impun verificări/controale stricte și în mod continuu asupra securității soluțiilor folosite, vor exista inevitabil riscuri de securitate asociate.

9. **Gestiunea securizată a consumatorilor**. Abonații unor servicii sau a unei infrastructuri de tip cloud trebuie să fie înzestrați de operatorii acestora cu instrumente suplimentare de securitate. Aceste instrumente le vor permite abonaților să își protejeze atât informațiile cât și utilizarea serviciilor de tip cloud. Absența acestora pe de altă parte, poate conduce la situații incerte în care utilizatori pot accesa în mod neautorizat informații și servicii ale abonaților.

10. **Identificarea și autentificarea utilizatorilor**. Accesul la infrastructura și serviciile de tip cloud trebuie să fie posibil doar după o etapă de identificare și autentificare a utilizatorilor. Impunerea acestui principiu va îngreuna considerabil accesul neautorizat al agresorilor, furtul și modificarea informațiilor de către aceștia, respectiv apariția atacurilor de tip negarea serviciului (în eng. *denial of service*).

11. **Protejarea interfețelor către exterior**. Acest principiu este important fiindcă ia în analiză interfața cu exteriorul a infrastructurii și a serviciilor de tip cloud. Accesul utilizatorilor legitimi este guvernat de principiul precedent din listă, însă multe dintre servicii nu pot fi disponibile doar în anumite locații, rețele private sau dispozitive astfel încât să fie reduse scenariile de atac posibile. Pentru serviciile disponibile în Internet, există risc major de interacțiune cu potențiali agresori. Suplimentar dacă aceste interfețe sunt dedicate managementului la distanță, aceste interfețe trebuie concepute și implementate cu obiectivul de a fi robuste în fața atacurilor.

12. **Administrarea protejată a serviciilor**. Metodele folosite de furnizorul de servicii în cloud pentru operarea acestor servicii trebuie să fie proiectate astfel încât să reziste unor potențiale riscuri de exploatare. Implementarea acestui principiu este importantă fiindcă un agresor extern poate manipula și compromite aceste metode de operare conducând astfel și la compromiterea serviciilor operate.

13. **Furnizarea informațiilor de auditare către abonați**. Informații care monitorizează utilizarea serviciilor de către abonați trebuie să fie puse la dispoziția abonaților. În felul acesta, abonații pot face o analiză a acestor date și pot deduce dacă activități ilegitime au avut loc asupra propriilor resurse/servicii. Informațiile de tip audit permit o reacție în timp util a abonaților. Mai mult, o astfel de analiză poate permite optimizări ale serviciilor sugerate de abonați.

14. **Utilizarea protejată a serviciilor de către abonați**. Operatorii de servicii vor aduce la cunoștința abonaților care le sunt obligațiile și care sunt procedurile care permit utilizarea în siguranță a acestor servicii în cloud. Respectarea acestora este o responsabilitate pe care abonații trebuie să o achite. Neimplementarea sau ignorarea de către abonați a acestui principiu poate determina vulnerabilități majore în sistem.

Dacă în cazul sistemelor din domeniul tehnologiei informației, securitatea informatică se concentrează pe confidențialitate și limitarea accesului neautorizat la date, în cazul ***sistemelor de control industriale*** securitatea înseamnă menținerea disponibilității datelor și a stării de funcționare a sistemului (Fig. 7). Acesta este motivul pentru care nu se pot folosi soluțiile de securitate clasice pentru asigurarea protecției infrastructurii sistemelor de control. Asigurarea securității sistemelor industriale vizează în acest context atât siguranța procesului cât și securitatea infrastructurii de automatizare ce poate avea vulnerabilități.

Infrastructura de control industrială este formată în exclusivitate din echipamente digitale, cu putere de calcul crescută care se pot conecta în rețele specifice. Funcționarea acestor sisteme de control este condiționată de proveniența și veridicitatea datelor transferate astfel încât se impun măsuri de securizare a datelor.

În ultimii ani sistemele de control industriale sunt vizate din ce în ce mai frecvent de atacuri informatice care urmăresc întreruperea

funcționării sau funcționarea defectuoasă a acestora. În rapoartele companiilor de securitate sunt semnalate numeroase atacuri de care au ca ținte sisteme de control industriale, inclusiv sisteme SCADA, cu precădere din infrastructurile critice (centrale electrice, sisteme de transport, etc.).

Pornind de la afirmațiile anterioare, se poate considera că asigurarea securității sistemelor de control are ca scop maximizarea disponibilității acestora în contextul apariției unor atacuri informatice sau a infectării cu viruși informatici. Disponibilitatea sistemelor de control poate fi afectată de următorii factori ce vizează securitatea informatică a acestora: obținerea accesului neautorizat la un astfel de sistem; injectarea de date incorecte în rețea și producerea blocării sistemului prin imposibilitatea prelucrării acestor date; atacuri informatice. Pentru realizarea unui sistem de securitate industrială trebuie să se țină seama de următoarele principii:

- sistemul de securitate este rezultatul unei strategiei alese și al unei analize de costuri și eficiență;
- sistemul trebuie să aibă un comportament adaptabil, deschis și perfectibil;

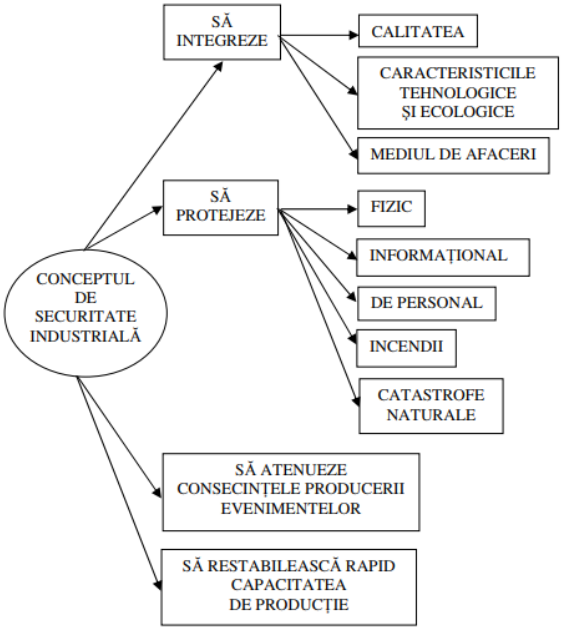


Fig. 7. Conceptul de securitate industrială

- trebuie să fie dedicat obiectivului pe care-l securizează;
- să aibă o structură mixtă (om-mașină) cu autoreglare și învățare în funcție de politicile de securitate de succes aplicate.

Din punct de vedere structural, sistemele de securitate industriale sunt: multi-nivel, ierarhice funcțional, mixte (om-mașină), adaptabile operațional, de tip expert.

Măsurile selectate pentru asigurarea securității informatice a sistemelor de control depind de diverși factori cum ar fi: tipurile de agresori, tipurile de resurse protejate, importanța sistemului automat protejat și raportul dintre costul asociat măsurilor de securitate și costul generat de un incident informatic. Pentru a putea stabili tipul de măsuri și gradul de protecție necesar pentru un anumit sistem de control se impune identificarea vulnerabilităților și amenințărilor asupra acestuia, precum și a probabilităților de apariție și succes ale unui atac informatic.

Testarea securității unui sistem se poate realiza automat folosind pachete software special create, cunoscute sub denumirea de „vulnerability scanners". Trebuie menționat faptul că prin intermediul scannerelor de vulnerabilități se realizează doar colectarea informațiilor legate de punctele nevralgice ale obiectivului protejat fără a se implementa o măsură specifică de securitate. Pe baza informațiilor obținute de la scanner, administratorul obiectivului poate acționa pentru îndepărtarea riscului identificat. Structura generală a unui scanner de vulnerabilități include patru module:

- motorul de scanare;
- baza de date internă;
- motorul de raportare;
- interfața cu utilizatorul.

Motorul de scanare reprezintă nucleul unui scanner de vulnerabilități, acesta realizând procesul de verificare al fiecărui obiectiv protejat prin utilizarea de algoritmi. Cea mai bună variantă pentru dezvoltarea motorului de scanare este implementarea unui sistem expert ce se bazează pe teoria fuzzy care folosind concepte unanim acceptate cuantifică prin intermediul variabilelor lingvistice numărul de încercări de atac asupra unui sistem de control care simulează serviciile oferite de acesta.

3. Tehnologii și instrumente ale Web-ului semantic pentru aplicații industriale inteligente

O altă direcție în care echipa de cercetare oferă expertiză este cea legată de sistemele semantice, care joacă un rol important în crearea de aplicații industriale inteligente. Într-adevăr, ne aflăm în pragul celei de-a patra revoluții industriale (*Industry 4.0*), care este caracterizată de automatizarea, digitizarea și interconectarea tuturor componentelor din procesele de producție. În consecință, în portofoliul curent a fost prezentată direcția: *Tehnologii și instrumente ale Web-ului semantic pentru aplicații industriale inteligente*

O cerință importantă pentru realizarea *Industry 4.0* o reprezintă mecanismele avansate de colectare, sincronizare și distribuire a datelor, interoperabilitate și integrare a mai multor surse de date eterogene (pe verticală și orizontală). În acest context, sistemele bazate pe cunoștințe și semantică, și în particular tehnologiile web-ului semantic (TWS), oferă suport pentru reprezentarea cunoștințelor din domeniu și pentru utilizarea acestora prin metode inteligente bazate pe raționament. O prezentare a arhitecturii Web-ului semantic este cea din Fig. 8. Structura este ierarhică, fiecare limbaj/tehnologie se bazează pe cele de la nivelurile inferioare.

În portofoliu au fost abordate aspecte legate de nivelul ontologiilor și de potențialul pentru *Industry 4.0*. Au fost descrise următoarele concepte:

- *Ontologii* - reprezintă o tehnologie de bază a Web-ului semantic, care oferă mecanisme de reprezentare formală și explicită a cunoștințelor din domeniu, din perspectiva conceptelor cheie și a relațiilor dintre ele. De aceea, realizarea unei aplicații industriale inteligente bazate pe TWS presupune crearea unei ontologii care modelează semantic cunoștințele inginerești și folosirea acestei ontologii pentru reprezentarea datelor necesare aplicației, printr-un proces de extragere a cunoștințelor.

- *Metodologii de dezvoltare a ontologiilor.* În ultimele două decenii au fost propuse numeroase metodologii pentru crearea ontologiilor. Pașii esențiali pentru dezvoltarea unei ontologii sunt: Determinarea domeniului și scopului ontologiei; Posibilitatea de a reutiliza ontologii existente; Identificarea conceptelor cheie; Definirea claselor și a ierarhiilor; Definirea proprietăților claselor (caracteristici individuale și relații cu alte clase); Definirea constrângerilor proprietăților; Crearea instanțelor.

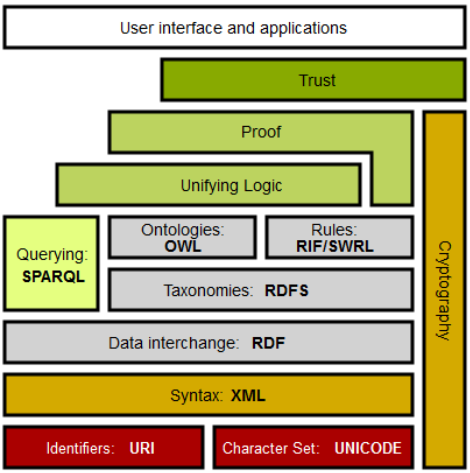


Fig. 8. Niveluri de specificare a Web-ului semantic[1]

Activitatea de extragere a cunoștințelor din sursele de date (de ex., pentru popularea ontologiilor) se poate realiza în mod (semi-) automat. Au fost propuse diferite instrumente pentru convertirea datelor din formate tradiționale (tabele, XML, baze de date relaționale) în formate semantice:

Open Refine (http://openrefine.org/),
*Anzo (*http://www.cambridgesemantics.com/solutions/adsl/),
Celfie (https://github.com/protegeproject/cellfie-plugin),
Protégé XML Tab (https://protegewiki.stanford.edu/wiki/XML_Tab),
ReDeFer (http://rhizomik.net/html/redefer/),
XSPARQL(https://www.w3.org/Submission/xsparql-language-specification/),
R2RML (RDB to RDF Mapping Language) - https://www.w3.org/TR/r2rml/).

- *Exemple de ontologii folosite în inginerie.* O serie de ontologii pentru domeniile industriale au fost propuse în literatură:

OntoCAPE[2] este o ontologie pentru suportul ingineriei proceselor asistate de calculator, realizată la Universitatea RWTH Aachen.

ISO 15926[3] definește o ontologie generică din domeniul sistemelor de automatizări industriale, care cuprinde în special informații despre procesele de producție.

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Semantic_Web_Stack
[2] http://www.avt.rwth-aachen.de/cms/AVT/Forschung/Software/~ipts/OntoCape
[3] https://www.posccaesar.org/wiki/ISO15926inOWL

ManufOnto este o ontologie care descrie sistemele de fabricație, incluzând aspecte legate de: produse, tipuri de resurse și tipuri de procese.

EquipOnt este o ontologie proiectată pentru sistemele de asamblare reconfigurabile, bazată pe paradigma *funcție - comportament - structură*.

Semantic Sensor Network (SSN) Ontology[4] - Fig. 9 - este o ontologie OWL 2 dezvoltată de grupul W3C Semantic Sensor Network Incubator, care descrie senzorii din punct de vedere al capabilităților, acurateței, gamei de operare, metodelor de măsurare, observațiilor și implementării.

Ontologia **AutomationML (AML)**[5] a fost creată pe baza standardului AML (IEC 62714), care permite transferul de date între procesele inginerești din sistemele de producție în format XML. Ontologia cuprinde elemente despre instalația de producție, echipamentele componente, funcționalitățile acestora și interfețele dintre ele.

Ontologia **CCO (Common Concepts Ontology)**[6] descrie conceptele de bază din sistemele mecatronice complexe, înlesnind comunicarea dintre specialiștii din diferite domenii inginerești și managerii de proiect.

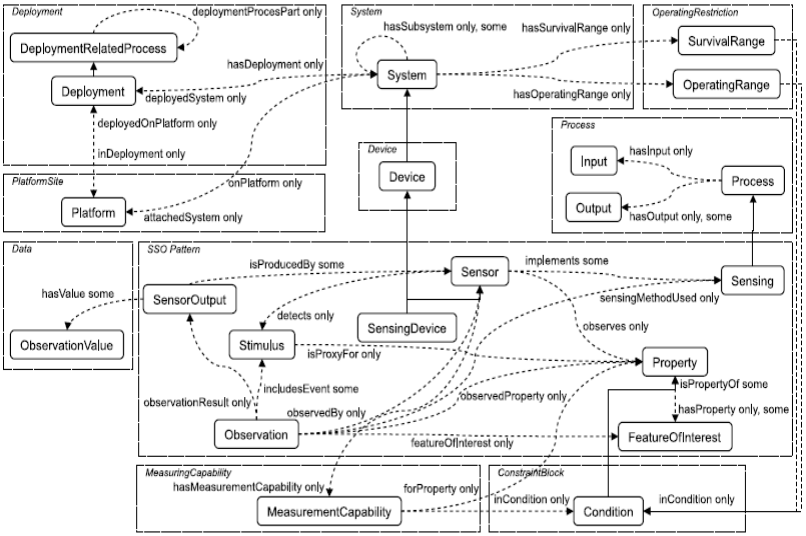


Fig. 9. Ontologia SSN[4]

[4] https://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/ssnx/ssn
[5] http://data.ifs.tuwien.ac.at/aml/ontology
[6] http://data.ifs.tuwien.ac.at/engineering/cco

II. Domeniul Sisteme automate

- subdomeniile: Sisteme embedded și Proiectare asistată pentru sisteme de conducere -

1. Sisteme embedded – prezentare generală

Toate aplicațiile în care se utilizează microcontrolere fac parte din categoria așa ziselor sisteme încorporate (“embedded systems”), la care existența unui sistem de calcul este “transparentă” pentru utilizator.

Printre numeroasele domenii unde utilizarea acestor sisteme este practic un standard industrial se pot menționa: industria automotive (controlul aprinderii/motorului, climatizare, diagnoză, sisteme de alarmă etc.), electronica de consum (sisteme audio, televizoare, camere video și videocasetofoane, telefonie mobilă, GPS-uri, jocuri electronice etc.), aparatura electrocasnică (mașini de spălat, frigidere, cuptoare cu microunde, aspiratoare), controlul mediului și climatizare (sere, locuințe, hale industriale), industria aerospațială, pentru mijloacele moderne de măsurare - instrumentație (aparate de măsură, senzori și traductoare inteligente), la realizarea de periferice pentru calculatoare, în medicină etc.

Competențele și expertizele prezentate și dezvoltate de echipa specializată în proiectarea sistemelor embedded sunt corelate cu obiectivul general al proiectului TISIPRO: *creșterea interacțiunii Universității din Craiova (UCV) cu mediul* industrial. Ideea de cercetare aplicativă este sintetizată de paradigma *Sistemelor de Control Distribuite* (DCS). În cadrul proiectului vor fi încheiate contracte și se vor derula activități de cercetare cu întreprinderile interesate, cercetări orientate pe construirea unor pachete de instrumente software pentru dezvoltarea de aplicații embedded specifice sistemelor de control distribuite. În acest domeniu a fost abordată ca direcție principală din portofoliul de competențe descrierea exhaustivă a ***microcontrolerelor***.

Un microcontroler este un circuit realizat pe un singur chip care conține tipic: unitatea centrală (UCP), generatorul de tact, memoria volatilă (RAM), memoria nevolatilă (ROM /PROM/ EPROM/EEPROM), dispozitive I/O seriale și paralele, controller de întreruperi, controller DMA, numărătoare, convertoare analog numerice/ numeric analogice, periferice.

Au fost prezentate arhitecturile de bază ale microprocesoarelor și micro-controlerelor. Familiile de microcontrolere definesc arhitectura microcontrolerelor. Controlerele dintr-o familie: conțin același nucleu procesor și manifestă compatibilitate la nivel de cod; manifestă deosebiri din punctul de vedere al unităților funcționale implementate, al numărului de circuite timer / contor, al dimensiunii memoriei interne.

Clasificări și definiții:

• *Embedded System* (sistem cu calculator înglobat): calculatorul este înglobat într-un sistem și nu are interfața de programare accesibilă utilizatorului final;

• *Real-Time System* (sisteme de timp real): reacția la un eveniment trebuie să se producă în cadrul unui interval de timp prestabilit;

• *Digital Signal Processor* (DSP): Procesoare proiectate special pentru prelucrarea de semnale. Au arhitectură specială ce permite executarea cu viteză mare a operațiilor de adunare (acumulare) și înmulțire;

• *Mixed-Signal Controller* (MSC): Microcontrolere ce pot prelucra atât semnale digitale cât și analogice;

• *Microcontroller* (MC): microcalculator pe un chip având ca UCP un microprocesor;

• *Digital Signal Controller* (DSC): microcalculator pe un chip care are ca UCP un DSP (Digital Signal Processor).

În portofoliul extins au fost prezentate in extenso principalele elemente ale microcontrolerelor:

- Unitatea centrală de procesare – Fig. 10;
- Memoria on-chip (de date și program): RAM, ROM (EPROM, flash);
- Magistralele de date și de adrese – Fig. 11;
- Unitatea intrare/ieșire (intrări/ieșiri digitale: mai multe porturi de I/O digitale) ;
- Circuitele timer-counter și timerul watchdog;
- Circuitele de intrări/ieșiri analogice: integrează circuite ADC sau DAC cu mai multe canale, comparatoare analogice, filtre;
- Controllerul de întreruperi interne și externe;
- Interfețe de comunicație serială: controllere SPI, SCI (UART, USART), I2C;

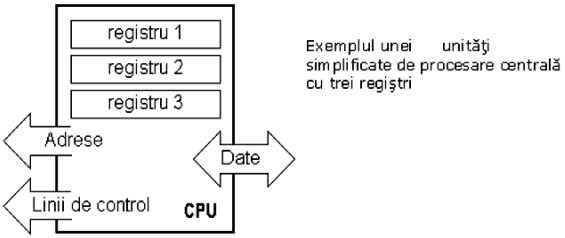


Fig. 10. Unitate centrală de procesare

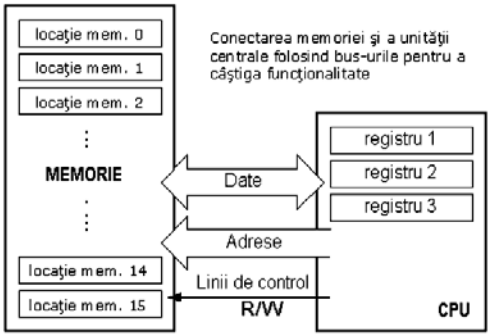


Fig. 11. Magistrale de date și adrese

- Circuite de control a puterii consumate;
- Interfețe pentru depanare și testare standardizate;
- Controlere diverse: LCD, DMA, Co-procesoare comunicație rețea;
- Noțiuni elementare privind programarea microcontrolerelor.

Au fost dezvoltate următoarele direcții majore ale portofoliului de competențe și expertize, în concordanță cu solicitările firmelor partenere:

- *Sisteme embedded* (sistem de monitorizare a turației m.c.c.);
- *Proiectarea și implementarea sistemelor de măsurare/condiționare a semnalelor* (achiziția/prelucrarea semnalelor de vibrații).

Prima direcție este oferită ca urmare a faptului că numeroase aplicații industriale necesită utilizarea diverselor tipuri de mașini electrice. În aceste cazuri, monitorizarea și controlul unor parametri ai acestor mașini electrice sunt obligatorii pentru asigurarea unei bune funcționări a întregului sistem. În ultima perioadă, aceste aplicații de monitorizare și control sunt implementate cu ajutorul microcontrollerelor, structurile rezultate fiind cunoscute sub denumirea de sisteme încorporate (“embedded systems”).

În portofoliu este prezentat un exemplu de realizare și implementare a unui sistem de achiziție de date pentru monitorizarea și controlul turației unui motor de curent continuu, bazat pe microcontrolerul PIC18F8722. Aplicația prezentată se încadrează în obiectivele specifice proiectului TISIPRO prin ***Identificarea și oferirea de soluții software inovative*** din domeniul informaticii aplicate și al automaticii pentru obținerea de produse și procese, tehnologii noi sau îmbunătățite, identificate de întreprinderi ca fiind cerute de piață. Prin această aplicație se urmărește dezvoltarea de aplicații software în domeniul sistemelor embedded pentru rezolvarea unor probleme specifice proceselor industriale.

Aplicația demonstratoare cuprinde:

- descrierea unui m.c.c. tip SRV02 Quanser;
- deducerea modelului matematic;
- prezentarea modulelor microcontroller-ului utilizate în aplicația embedded (spre exemplificare, modulul Timer și configurația Capture/Compare/PWM – CCP);
- implementarea software a aplicației de monitorizare și control: implementarea în limbajul C, directive de preprocesare, generarea de întreruperi, conversia analog-numerică, transmiterea comenzii PWM - *Pulse Width Modulation* (exemplu de cod, în Fig. 12) etc.

```
     Registrul CCPR1L conţine cei mai semnificativi 8 biţi ai u_pwm, iar
biţii <5,4> din registrul CCP1CON reprezintă cei mai puţin semnificativi
doi biţi ai u_pwm.
     u_pwm=uk*50+511;
     a=u_pwm;
     c=a%2;
     if (c==0)
       CCP1CONbits.DC1B0=0;
     else
      CCP1CONbits.DC1B0=1;
     b=a/2;
     c=b%2;
     if (c==0)
       CCP1CONbits.DC1B1=0;
     else
      CCP1CONbits.DC1B1=1;
     u_pwm=b/2;
     CCPR1L = u_pwm
     Pin-ul utilizat pentru ieşirea PWM este pin-ul RC2 acesta fiind
configurat ca ieşire folosind registrul TRISC astfel:
     TRISCbits.RC2=0
```

Fig. 12. Secvență de cod – transmiterea comenzii PWM

2. Soluții software pentru sisteme embedded – proiectarea bazată pe model

Proiectarea bazată pe model (MBD, Model-Based Design) este o metodă vizuală bazată pe modelarea matematică pentru proiectarea sistemelor de control complexe și este utilizată cu succes în multe aplicații de control, industriale, aerospațiale și auto.

Acesta oferă o metodologie eficientă care include patru elemente cheie în procesul de dezvoltare:

- modelarea unei instalații (pornind de la principii de funcționare sau prin identificarea sistemului),
- sintetizarea și analizarea unui controler al instalației,
- simularea simultană a instalației și a controlerului și
- programarea / implementarea controlerului.

Designul bazat pe modele integrează toate aceste faze multiple și oferă un cadru comun pentru comunicare pe parcursul întregului proces de proiectare. Modelul bazat pe paradigma de proiectare este semnificativ diferit de metodologia de proiectare tradițională. În loc să utilizeze structuri complexe și un cod extensiv de software, proiectanții pot formula caracteristici funcționale avansate prin utilizarea blocurilor de calcul computerizate cu durată continuă și discretă. Aceste modele și instrumentele asociate de asistență pentru simulare pot oferi prototipuri rapide, verificări funcționale virtuale și testarea software-ului și validarea hardware / software-ului.

Concepția și etapele MBD sunt prezentate în Fig. 13.

Pe parcursul diferitelor etape ale designului bazat pe modele, sunt necesare mai multe nivele de modelare, atât din punct de vedere al instalațiilor, cât și din punctul de vedere al controlului, pentru ca întreg comportamentul funcțional al modelului să se potrivească cu cel al codului generat.

Primul pas este simularea (**MIL, Model-in-the-Loop**) unde nici controllerul, nici instalația nu operează în timp real. Acest pas, folosit de obicei spre începutul procesului, permite inginerilor să studieze performanța sistemului și să proiecteze algoritmul (elementele) de control într-un mediu virtual, prin simularea computerizată a întregului sistem sau subsistem.

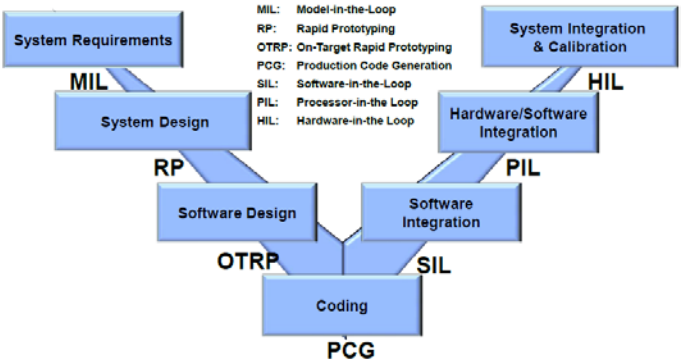


Fig. 13. Etapele MBD

Rapid Control Prototyping (**RCP**) este un proces care permite testarea rapidă și rularea repetată a strategiilor de control pe un calculator în timp real cu dispozitive de intrare / ieșire reale. Protocolul de control rapid diferă de HIL prin aceea că strategia de control este simulată în timp real și "instalația" (sau sistemul de controlat) este reală.

Pentru **On-Target Rapid Prototyping (OTRP)** funcționalitatea nouă sau modificată este adăugată la codul de producție din procesorul țintă încorporat de controler pentru a verifica adăugările / modificările.

În faza **Software-in-the-Loop (SIL)** (Fig. 14), codul software de producție real este încorporat în simularea matematică care conține modelele sistemului fizic. Acest lucru se face pentru a permite includerea funcționalității software pentru care nu există niciun model sau pentru a permite o simulare mai rapidă. Pe parcursul fazei **processor-in-the-loop** (**PIL**) comanda este compilată și descărcată într-un procesor țintă încorporat și comunică direct cu modelul instalației prin intermediul comunicațiilor standard, cum ar fi Ethernet. În acest caz, pentru comunicație nu sunt utilizate dispozitive I/O.

Hardware-In-the-Loop (HIL) este o tehnică pentru combinarea unui model de simulare matematică a unei instalații cu hardware fizic actual pe care este implementat controllerul, astfel încât hardware-ul să funcționeze ca și cum ar fi fost integrat în sistemul real. Pentru testarea și dezvoltarea controllerelor electronice încorporate, controlerul hardware și software-ul asociat sunt conectate la o simulare matematică a instalației, care este executată pe un computer în timp real [Con11].

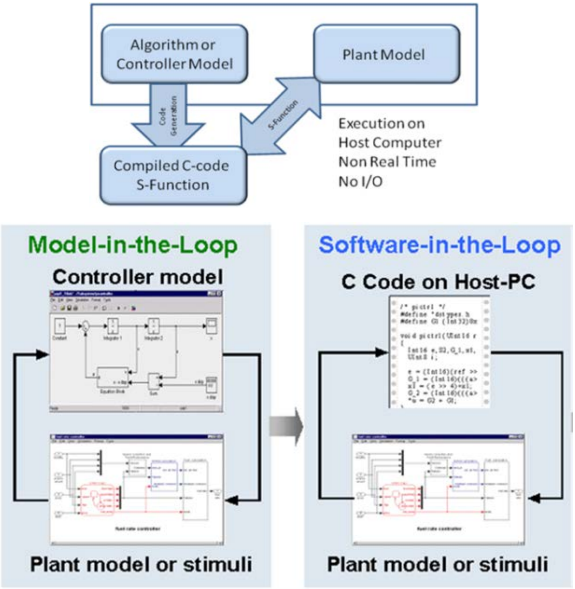


Fig. 14. Software in the loop (SIL)

Continuând analogia sistemului de control, în MBD se dezvoltă un "controler" pentru a influența o "instalație" bazată pe anumite "cerințe" ce definesc performanțele sistemului de control. După dezvoltarea modelului de controller, vom rula o simulare pentru a "verifica" că acest controler a influențat instalația astfel încât să fie îndeplinite "cerințele". Pentru a verifica designul, se dezvoltă de obicei "cazuri de testare" ce se bazează pe anumite "rezultate așteptate", se execută simularea cu ajutorul cazurilor de testare și se verifică rezultatele generate față de cele așteptate. Atunci când hardware-ul controlerului țintă este disponibil, poate începe testarea **PIL/HIL**. Testarea HIL poate fi efectuată în raport cu modelul simulat al instalației, dar acum modelul instalației trebuie să interacționeze cu intrările / ieșirile efective pe care hardware-ul controlerului le așteaptă. Acest lucru ar putea servi ca un test de acceptare în fabrică înainte de instalarea pe UCU și testarea în raport cu instalația reală [Lur11].

Etapele descrise mai sus arată puterea acestui flux de lucru denumit generic MBD. Acesta este baza multor fluxuri de lucru care pot fi certificate funcțional. Reținem că MBD nu se limitează la sistemele de control. Este aplicabil, de exemplu, pentru procesarea semnalelor, video și comunicații.

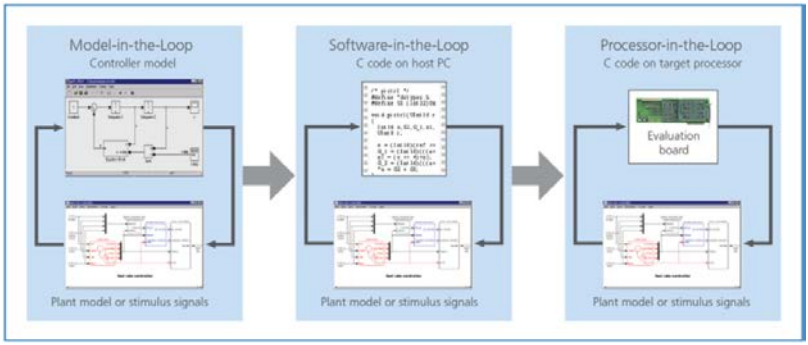


Fig. 15. Paradigmele MIL, SIL și PIL

3. Achiziția și prelucrarea datelor

O direcție importantă de cercetare (Achiziția și prelucrarea semnalelor) este, de asemenea, integrată în obiectivul principal al proiectului TISIPRO. Ideea de cercetare aplicativă este sintetizată de paradigma Sistemelor de Control Distribuite (Distributed Control Systems - DCS) care este prezentă masiv la nivelul proceselor actuale [Ast96]. În cadrul acestei etape în derularea proiectului, a fost studiat impactul prelucrării de vibrații și dezvoltarea unor algoritmi de mentenanță predictivă în timp real la nivelul aplicațiilor de tip DCS dezvoltate de firme partenere (cum ar fi SC Reloc SA și SC Vonrep SRL). Cercetările au fost orientate pe construirea unor pachete de instrumente software pentru dezvoltarea de aplicații embedded specifice sistemelor de control distribuite. Au fost studiate modalitățile de dezvoltare a unui pachet software ce va încapsula o tehnologie informațională pentru achiziția, prelucrarea paralelă, sincronizată și în timp real a unor semnale de vibrații, folosind tehnologia FPGA, bazată pe metoda deconvoluției. Partea software valorifică posibilitățile de achiziție și prelucrare paralelă, în timp real, a mai multor semnale folosind tehnologia integrată în platformele CompactRIO (National Instruments), bazate pe circuite FPGA (Fig. 16).

În conceptul standard, succesiunea achiziție - stocare - prelucrare (Fig. 17.a) poate prelucra doar aproximativ 5% din datele existente [Gal13]. Înlocuind această succesiune cu achiziție - prelucrare (în timp real) - stocare (doar rezultate), Fig. 17.b, tehnologia NI validează prelucrarea de până la 95% a informației existente.

Principala noutate constă în faptul că semnalele de vibrații vor fi prelucrate concomitent cu achiziția acestora. Procesorul embedded, de timp real, primește direct rezultatele prelucrărilor și va realiza fuziunea prelucrărilor primite de la FPGA. Noile rezultate, în urma fuziunii de informație vor fi încapsulate și transmise către un calculator pentru a fi memorate și eventual procesată o metodă pentru mentenanță predictivă.

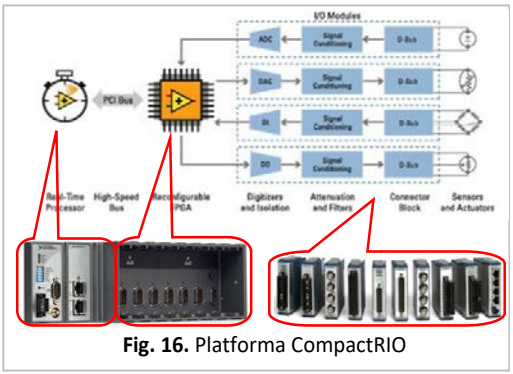


Fig. 16. Platforma CompactRIO

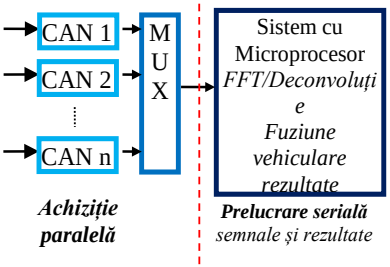


Fig. 17.a. Arhitectura sistemului clasic/consacrat

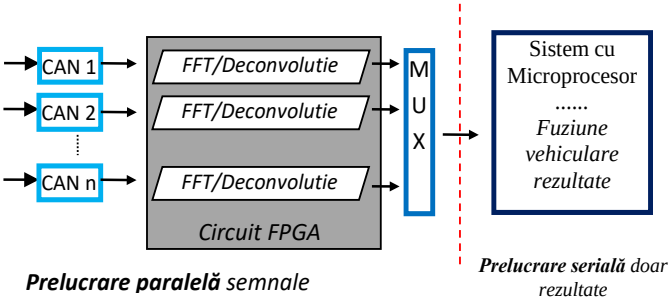


Fig. 17.b. Arhitectura sistemului cu FPGA

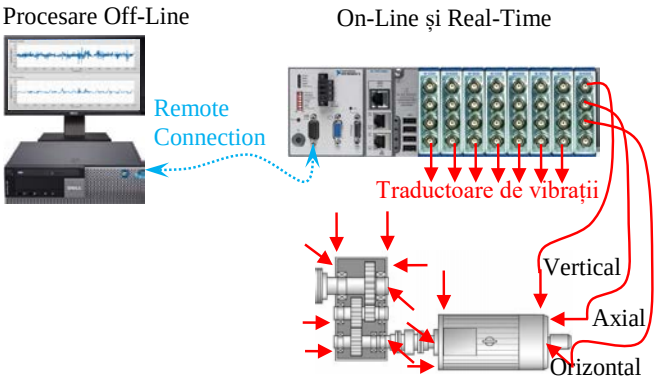


Fig. 18. Arhitectura hardware a sistemului

Configurația hardware a sistemului necesar dezvoltării de instrumente software este prezentată în Fig. 18.

Proiectarea asistată de calculator (în limba engleză, "Computer-aided design" – CAD), poate fi definită ca o activitate de utilizare a unui sistem de calcul în proiectarea, modificarea, analiza și optimizarea proiectării [Chi12]. Sistemul de calcul este format din echipamente și programe care asigură funcțiile necesare în proiectare.

Echipamentul destinat activităților de CAD este format dintr-un calculator, unul sau mai multe terminale grafice, tastatură și alte periferice. Programele de CAD sunt aplicații destinate implementării graficii în cadrul unui sistem de calcul, la care se adaugă programele dedicate funcțiilor inginerești care pot realiza analiza unui sistem și controlul numeric al acestuia. Proiectarea asistată pentru sisteme de conducere se bazează în principal pe un model matematic al sistemului condus. Acest model trebuie însă să satisfacă două cerințe de bază: să fie suficient de simplu pentru a putea fi utilizat în procedurile clasice de proiectare a unui sistem de conducere și să reproducă cât mai fidel caracteristicile principale ale sistemului ce trebuie condus.

4. Tehnici de estimare a parametrilor

Deoarece modelele obținute pe baza legilor fizico-chimice sunt de obicei extrem de complicate, în practica inginerească sunt utilizate modele obținute prin tehnici speciale cunoscute sub denumirea de identificarea

sistemelor. Aceste modele sunt obținute din analiza datelor intrare - ieșire ale sistemului și sunt în general mai simple decât cele obținute prin modelarea clasică [Lju87].

Ca tipuri de modele utilizate în proiectarea asistată de calculator și care pot fi obținute prin metodologia identificării sistemelor putem menționa funcțiile de transfer, ecuațiile de stare, modelele bazate pe ecuații diferențiale sau ecuații de stare etc. Unul din cele mai avansate medii de dezvoltare a proiectării asistate este mediul MATLAB, mediu pe care se bazează aplicațiile ce vor fi dezvoltate în cadrul proiectului TISIPRO.

În portofoliu sunt prezentate etapele principale ale procesului de identificare, modul de generare a datelor și modelelor utilizate pentru identificare.

Problema identificării sistemelor constă în a estima un model al unui sistem bazat pe datele de intrare - ieșire observate [Șen13]. Procedura de determinare a modelului unui sistem dinamic din datele de intrare-ieșire observate, implică trei elemente de bază:

- datele intrare-ieșire;
- un set de modele candidate (structura modelului);
- un criteriu de alegere a modelului particular din set, pe baza informațiilor disponibile (metoda de identificare).

Procesul de identificare este alcătuit din selectarea repetată a unei structuri de model, calculând cel mai bun model din structură și evaluând proprietățile acestui model pentru a vedea dacă sunt satisfăcătoare. Biblioteca MATLAB pentru identificarea sistemelor (System Identification Toolbox) oferă o serie de funcții utile. Pentru identificarea sistemelor cu MATLAB se pot utiliza două variante: prima (și cea mai ușoară) este utilizarea interfeței grafice pentru identificare. Pentru cealaltă variantă, ceva mai complicată, se pot crea surse Matlab care să rezolve problemele propuse. Identificarea sistemelor devine o problemă de programare care va apela un set de funcții. Cele mai importante probleme practice care apar în identificare sunt:

- *Selectarea mărimilor ce trebuie măsurate*.
- *Achiziția și prelucrarea primară a datelor*.
- *Selectarea unui model matematic adecvat*.
- *Variabilitatea proceselor în timp*.

Pentru generarea datelor intrare-ieșire se pot folosi funcțiile:

■ **Funcția idinput.** Această funcție generează semnale folosite în mod obișnuit ca intrări ale sistemelor ce urmează a fi identificate.

■ **Funcția lsim.** Funcția **lsim** simulează răspunsul în timp la diverse intrări al sistemelor liniare continue sau discrete.

■ **Funcția iddata.**

În portofoliu sunt prezentate aplicații realizate cu toate aceste funcții.

Exemplu: *Funcția iddata.* Această funcție creează obiectul Matlab de bază utilizat de procedurile toolbox-ului de identificare pe baza datelor intrare-ieșire ale sistemului ce va fi identificat. Obiectele create cu această funcție sunt utilizate de majoritatea comenzilor și funcțiilor de identificare ale Matlab-ului, în domeniul timp sau frecvență.

Sintaxa: **date_id = iddata(Y,U,Ts)**

date_id= iddata(Y,U,'Frequency',Frecvente)

Descriere: Prima formă a sintaxei este utilizată pentru semnale în domeniul timp. În acest caz **Y** și **U** reprezintă ieșirea, respectiv intrarea sistemului ce trebuie identificat iar **Ts** este perioada de eșantionare. În mod implicit **Ts**=1. Dacă **U**=[], atunci **date_id** definește un semnal (sau o serie de timp). Dacă **Y**=[], **date_id** descrie doar intrarea sistemului. Pentru prelucrarea datelor în domeniul frecvență, **Frecvente** este un vector ce conține frecvențele în care sunt definite valorile vectorilor **Y** și **U**. El trebuie să aibă aceeași lungime cu **Y** și **U**. În acest caz **Ts** poate fi făcut egal cu zero dacă datele prelucrate sunt în timp continuu.

Aplicație: Programul următor simulează răspunsul unui sistem liniar exprimat prin funcția de transfer $H(s)=\frac{10}{2s+5}$ la o intrare de tip semnal pseudoaleator binar, pe un interval de timp de 5 de secunde, cu o perioadă de eșantionare de 0.1 sec. Datele intrare-ieșire sunt grupate în obiectul **date_id** care pot fi ulterior plotate (așa cum este cazul în Fig. 19) sau pot fi prelucrate de procedurile de identificare ale Matlab-ului.

```
Ts=0.1;N=50;
u=idinput(N,'prbs');
H=tf(10, [2 5])
t=[0:Ts:(N-1)*Ts];
y=lsim(H,u,t);
date_id=iddata(y,u,Ts)
plot(date_id)
```

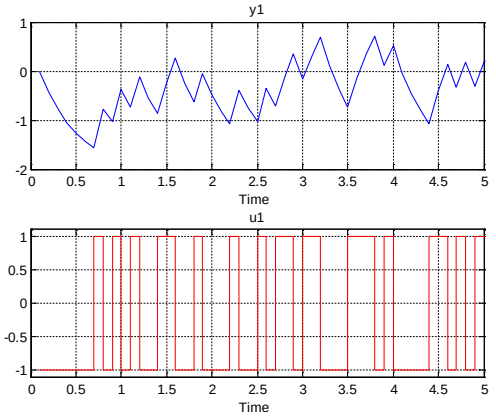


Fig. 19. Exemplu de utilizare a funcției iddata

Proprietățile unui obiect **iddata** (sau ale oricărui alt obiect Matlab) pot fi vizualizate folosind funcția **get** și pot fi modificate cu funcția **set**.

Pentru generarea modelelor utilizate în identificare se utilizează **obiectul Matlab idmodel.** Toate procedurile de estimare parametrică returnează ca rezultat un obiect Matlab de tipul **idmodel**, care conține toate informațiile relevante referitoare la modelul estimat. Caracteristicile unui obiect de tip **idmodel** pot fi examinate direct sau afișate grafic folosind comenzi Matlab precum **impulse**, **step**, **bode**, **nyquist** sau **pzmap**. De asemenea, obiecte de tip **idmodel** pot fi create folosind următoarele funcții Matlab: **idpoly, idproc,** și **idss**. În portofoliu sunt prezentate aplicații realizate cu aceste funcții.

Identificarea sistemelor folosind metoda momentelor ponderate

În orice algoritm de autoacordare, cea mai dificilă etapă o constituie problema identificării, de rezultatele sale depinzând succesul întregului algoritm de conducere. Pot fi menționate două abordări ale identificării:

- Identificare on-line;
- Identificare off-line.

În *abordarea on-line*, rezultatul identificării este obținut în același moment de timp cu momentul obținerii unei noi observații despre sistemul fizic. În general identificarea on-line se referă la metode parametrice (deterministe sau stohastice) prin care se determină parametrii unui model cu o structură impusă apriori. Printre aceste metode se pot menționa:

- estimarea recursivă a parametrilor (criteriul celor mai mici pătrate sau al variantei minime, folosind metoda variabilelor instrumentale);
- estimarea bazată pe model predictiv.

Într-o *abordare off-line* a identificării este posibil să se determine împreună, atât structura cât și parametrii modelului matematic pentru sisteme invariante în timp, folosind observații pe un interval mare de timp, incluzând și regimul staționar. În general, metodele off-line de identificare se bazează pe analiza răspunsului în următoarele condiții:

- Răspunsul tranzitoriu este datorat stării inițiale nenule (răspunsul liber);
- Răspunsul sistemului (regimul tranzitoriu și regimul staționar care urmează) se datorează modificării unei mărimii de intrare care poate fi mărime de comandă sau perturbație.

Metodele off-line de identificare pot fi împărțite în două categorii principale, în funcție de modul de extragere a informațiilor conținute în răspunsul analizat: metode punctuale și metode integrale. Metodele punctuale sunt mai rapide dar mai senzitive la zgomote și în general nu permit obținerea unui model matematic echivalent global. *Metoda momentelor* este o metodă de identificare off-line de tip integral.

În portofoliul de expertize și competențe a fost prezentată detaliat tehnica de ***identificare a sistemelor utilizând metoda momentelor ponderate***.

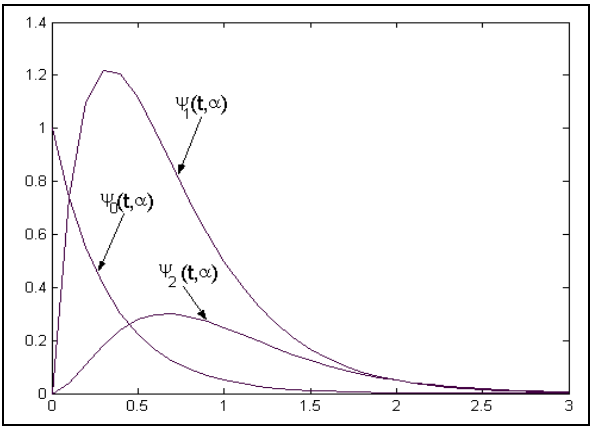


Fig. 20. Nucleul $\psi_j(t,\alpha)$

Momentul ponderat *j* apare ca o funcțională reală a unei funcții *f* [Mar05]: $m_j^{\alpha}(f)=\int_0^{\infty}\psi_j(t,\alpha)f(t))dt$, cu nucleul . Spre exemplificare, nucleul $\psi_j(t,\alpha)$ reprezentat în Fig. 20 prin câteva valori *j*, realizează o ponderare externă la momentul de timp $\psi_j(t,\alpha)=\frac{(-t)^j}{j!}w(t,\alpha)$, $t_j=\frac{j}{\alpha}$, $j\geq 0$, cu amplitudinea $\psi_j(t_j,\alpha)=\frac{j!}{j!\alpha^j}e^{-j}$. În funcție de valoarea lui α momentul ponderat acordă diferite importanțe etapelor de evoluție în timp.

Formal, algoritmii de evaluare a momentelor și de identificare sunt identici, singura deosebire constă în aceea că în loc de funcția *f*(*t*) se prelucrează așa numita funcție ponderată $f^{\alpha}(t)$, iar în loc să se obțină funcția de transfer:

$$H(s)=\frac{b_0+b_1s+...+b_ms^m}{a_0+a_1s+...+a_ns^n}=\frac{Y(s)}{U(s)}, \tag{1}$$

caracterizată prin n,m,b_k,a_k, se obține funcția de transfer:

$$H^{\alpha}(s)=\frac{b^{\alpha}{}_0+b^{\alpha}{}_1s+...+b^{\alpha}{}_ms^m}{a^{\alpha}{}_0+a^{\alpha}{}_1s+...+a^{\alpha}{}_ns^n}=\frac{Y^{\alpha}(s)}{U^{\alpha}(s)} \tag{2}$$

caracterizată prin $n,m,b^{\alpha}{}_k,a^{\alpha}{}_k$. Dacă $w(t,\alpha)=e^{-\alpha t}$, atunci

$$H^{\alpha}(s)=H(s+\alpha) \tag{3}$$

Relațiile de echivalare reprezintă relațiile dintre parametrii n,m,b_k,a_k și parametrii $n,m,b^{\alpha}{}_k,a^{\alpha}{}_k$.

III. Domeniul: Sisteme automate

- subdomeniul: Aplicații software pentru sisteme de control și de achiziții de date -

Obiectivul general al acestui subdomeniu constă în *dezvoltarea de soluții software pentru informatizarea și controlul unor procese desfășurate în cadrul unor întreprinderi din mediul industrial*.

Competențele de cercetare / ofertele de expertiză, corelate cu acest obiectiv au fost prezentate și dezvoltate de echipa de implementare a proiectului pe mai multe direcții de cercetare ce vor fi detaliate și exemplificate în paragrafele următoare.

1. Sisteme de achiziții de date cu prelucrare în timp real și pachete software dedicate

Pentru portofoliul de competențe și expertize din domeniul **Sisteme automate**, una dintre direcțiile de cercetare vizate este orientată către *sisteme de achiziții de date cu prelucrare în timp real (tehnologii National Instruments (NI),* lider în domeniul soluțiilor hardware și software de achiziții de date - LabView/LabWindows CVI*) și pachete software dedicate (LabView, LabWindows etc.)*. În consecință, pentru Nivelul 0 din Fig. 1, echipa de cercetare oferă expertiză pentru dezvoltarea unor *instrumente software pentru achiziția datelor bazate pe integrarea cu echipamente hardware specializate* (de exemplu, din gama oferită de NI) folosite pentru implementarea driverelor de conectare la DCS-ul specific întreprinderii*.*

În cadrul acestei direcții, au fost abordate următoarele subdirecții:

- Arhitecturi și structuri ale interfețelor de proces;
- Condiționarea semnalelor;
- Exemple de sisteme și de module de condiționare utilizate pentru interfațarea cu procesele industriale (echipamente NI).

Arhitecturi și structuri ale interfețelor de proces. Sistemele de conducere numerice industriale implică un număr mare de traductoare și de elemente de execuție, analogice și numerice. Sunt necesare deci echipamente care să convertească semnalele de la traductoare în semnale numerice standardizate ce pot fi prelucrate de către calculator. În plus,

trebuie să existe circuite care să convertească datele numerice furnizate de către calculator în semnale de comandă. Aceste funcții sunt grupate în așa-numitele unități de *interfață de proces*, numite și *plăci de achiziție*, datorită faptului că prin interfața de proces se realizează și achiziția de date. Un calculator dotat cu interfețe de proces (plăci de achiziție) și cu software specializat devine un ***sistem de achiziție a datelor***.

Unitatea de interfață de proces poate fi plasată în interiorul sau în exteriorul calculatorului. Pentru sistemele industriale complexe, cu *arhitectură de tip DCS*, o soluție adoptată constă în dispunerea interfețelor de proces în unități satelit, conectate la calculator prin intermediul unor sisteme de comunicație numerică.

O unitate de interfață este alcătuită din plăci și module detașabile care pot realiza diferite tipuri de cuplare la proces: intrări analogice, ieșiri analogice, intrări/ieșiri numerice, numărare/temporizare. De exemplu, sistemul de intrări analogice prezentat în Fig. 21, conține componentele: EC - elementul de conectare; ETP - elementele de tratare primară a informației (conversii curent/tensiune, filtrare); MUX - multiplexorul (permite selectarea unuia din cele *n* canale analogice); A - amplificatorul (adaptează nivelul semnalului și impedanța canalului la elementul următor); EER - elementul de eșantionare și reținere (circuit *Sample/Hold*) păstrează constantă valoarea eșantionului de tensiune pe durata conversiei A-N; CAN - convertorul analogic-numeric; T - buffer necesar conectării ieșirii CAN la magistrala sistemului; BC - blocul de comandă.

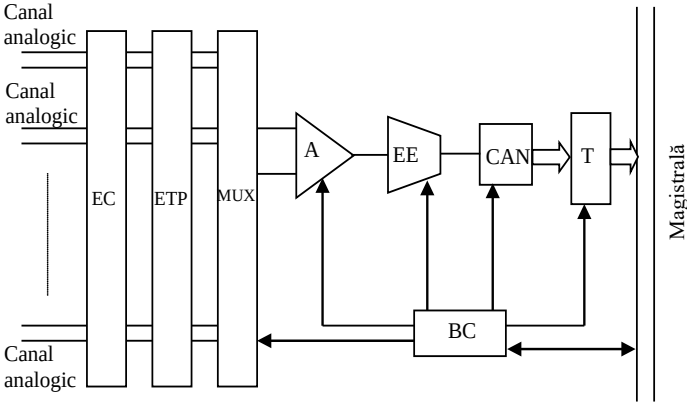


Fig. 21. Structura sistemului intrărilor analogice

Condiționarea semnalelor realizează în general adaptarea dintre traductoare și circuitele de conversie analog-numerică. Interfețele de proces asigură funcții de conversie, de protecție și de adaptare, dintre care cele mai importante sunt următoarele:

- amplificare semnale de nivel mic, conversii curent/tensiune, generarea semnalelor de putere etc.;
- multiplexare, conversii analog-numerice și numeric-analogice;
- tratarea primară a semnalului: filtrare, liniarizare;
- izolare galvanică, protecția la supratensiuni și scurtcircuite;
- supervizare și control, semnalizare, dispozitive de rezervare în caz de defect, dispozitive de comunicații etc.;
- funcții auxiliare: alimentarea senzorilor și elementelor de execuție.

Una dintre cele mai importante operații de condiționare este filtrarea. Un filtru trece jos folosit pentru evitarea distorsiunilor produse de frecvențele înalte asupra semnalelor eșantionate este *filtrul antialiasing*. Schema tipică a acestei operații este prezentată în Fig. 22 [Chi12].

Datorită avantajelor față de filtrele analogice, filtrele numerice sunt utilizate în numeroase aplicații de conducere și achiziție. Filtrele numerice liniare clasice sunt de două tipuri [Sel10]: filtre cu răspuns finit la impuls (*Finite Impulse Response Filters*) - FIR și filtre cu răspuns infinit la impuls (*Infinite Impulse Response Filters*) - IIR. În Fig. 23, pentru o aplicație LabVIEW, sunt prezentate răspunsurile în frecvență pentru un filtru FIR.

Exemple de sisteme și de module de condiționare utilizate pentru interfațarea cu procesele industriale. În portofoliu a fost prezentat succint ***sistemul de condiționare a semnalelor SC-2345*** al firmei NI, USA [NID01], disponibil în laboratoarele deservite de echipa de cercetare TISIPRO.

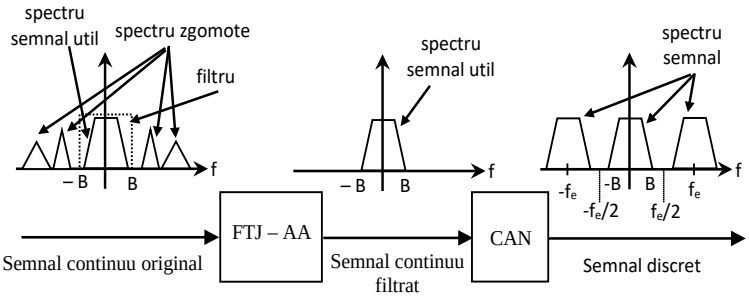


Fig. 22. Schema de conversie cu filtrare antialiasing

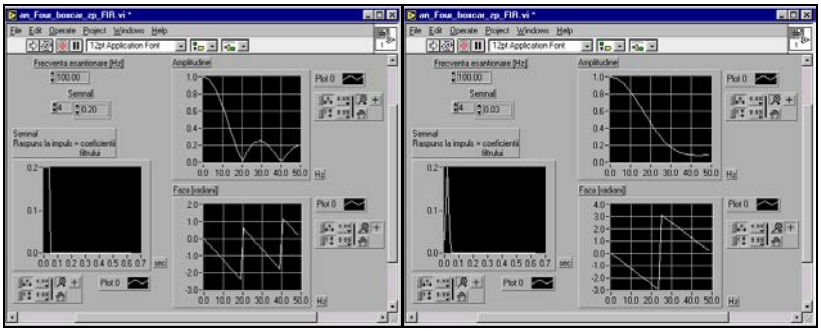


Fig. 23. Răspunsul în frecvență: coeficienți simetrici (stânga), respectiv coeficienți asimetrici (dreapta)

2. Instrumente software pentru implementarea algoritmilor de identificare

Echipa de cercetare oferă expertiză pentru proiectarea, testarea și implementarea de noi scheme și algoritmi de estimare on-line a parametrilor proceselor liniare. Este vizat Nivelul 1 (Nivelul de reglare, alarmare, protecție; Real-time), prin dezvoltarea unor *instrumente software specifice pentru proiectare și analiză a unor scheme de estimare on-line a parametrilor proceselor* (utilizând cu preponderență mediul de dezvoltare Matlab/Simulink, dar și 20sim sau LabView/LabWindows CVI).

Eficiența metodelor de estimare depinde și de modul de parametrizare a modelului [Ioa96]. De aceea, mai întâi, s-a realizat o serie de reprezentări și parametrizări ale modelelor care descriu comportarea unei clase largi de sisteme dinamice liniare invariante în timp (SLIT), utile în formularea problemelor de identificare a parametrilor și de control adaptiv. Au fost dezvoltate și prezentate următoarele concepte: modele în spațiul stărilor, modele intrare/ieșire, parametrizarea modelelor, estimarea on-line a parametrilor pentru procese continue (formularea problemei, legi adaptive), estimarea on-line a parametrilor pentru procese discrete.

Au fost studiate și dezvoltate concepte abstracte care au fost aplicate pe exemple de tip benchmark (căruciorul cu două pendule inverse). Au fost obținute reprezentări matematice detaliate și au fost prezentate parametrizări ale modelelor preluate din fluxul principal de publicații din domeniu. Spre exemplificare, în Fig. 24 și 25 [Ioa96], [Dum13] sunt ilustrate

prima și respectiv cea de-a doua formă de parametrizare (u - intrare, y - ieșire, θ - vectorul parametrilor, Φ - vectorul semnalelor, $1/\Lambda(s)$ - filtru, z - semnal scalar, $W_m(s)$ - funcţie de transfer model cu gradul relativ 1 etc.).

Au fost abordate mai multe structuri de legi adaptive. O abordare realistă necesită ca legile adaptive să nu impună apriori ca procesul să fie stabil și intrarea să fie mărginită. Metoda de rezolvare utilizată în aceste condiții este metoda SRP-Lyapunov (Fig. 26) și constă în dezvoltarea unei ecuații diferențiale care să facă legătura între eroarea de estimare normalizată și eroarea de estimare a parametrilor prin funcții de transfer strict real-pozitive (SRP). Proiectarea legii de adaptare a parametrilor se realizează printr-o tehnică Lyapunov. Problemele ce trebuie rezolvate în cazul estimării adaptive sunt legate de convergența parametrilor și robustețea algoritmilor în prezența erorilor de modelare [Ioa96], [Dum13].

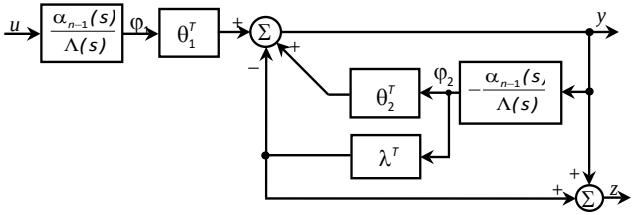


Fig. 24. Prima formă de parametrizare a procesului

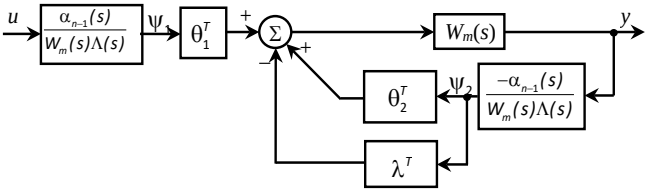


Fig. 25. A doua formă de parametrizare a procesului

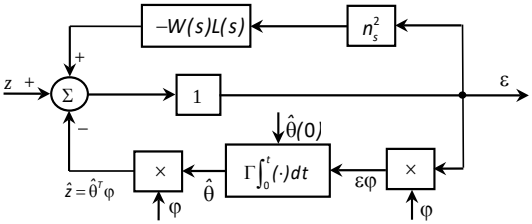


Fig. 26. Implementarea algoritmului adaptiv cu eroarea de estimare normalizată

3. Instrumente software specifice pentru proiectare și analiză a unor scheme de estimare on-line a parametrilor proceselor

O altă direcție de cercetare abordată în cadrul domeniului **Sisteme automate**, se referă la dezvoltarea unor *instrumente software specifice pentru proiectarea testarea și implementarea de noi scheme și algoritmi de estimare on-line a parametrilor proceselor* (utilizând cu preponderență mediul de dezvoltare Matlab/Simulink), corespunzătoare Nivelului 1 din Fig. 1. În această etapă au fost oferite proceduri de proiectare și validare a unor algoritmi de control cu *aplicații pentru procese din stații de tratare a apelor reziduale, industria alimentară și biotehnologii*.

În portofoliu este prezentată problematica generală a sistemelor de conducere neliniară, precum și aplicații pentru stații de epurare, care vor permite proiectarea unor sisteme de achiziții și control din stațiile de tratare din Compania de Apă Oltenia SA. Ca aplicații sunt descrise *in extenso* strategii de control pentru procese tipice din stațiile de epurare:

- *Strategii de control al procesului de digestie anaerobă*;
- *Strategii de control multivariabil adaptive și robust-adaptive pentru procesul noroiului activat din stațiile de epurare.*

Pentru procesul de digestie anaerobă (PDA) au fost prezentate: modelul procesului și scopul controlului, proiectarea comenzii liniarizante exacte (CLE), o structură adaptivă de conducere a procesului, în cazul în care se cunosc intrările, o structură robust-adaptivă de conducere a procesului, în cazul unor intrări necunoscute, rezultate și comentarii. Deoarece PDA este unul foarte complex, modelul matematic complet, ADM1 (*Anaerobic Digestion Model No. 1*) [Bat02], conținând 32 de ecuații diferențiale ce descriu dinamica concentrațiilor diferitelor componente, în portofoliu este prezentat un model dinamic redus ce conține 10 ecuații diferențiale și care poate fi utilizat în strategiile de control.

Pentru PDA s-a considerat *problema controlului nivelului de poluare la ieșire*, oricare ar fi variațiile și incertitudinile poluantului influent și variația în timp a unor parametri ai procesului. Strategiile de conducere au fost dezvoltate în următoarele condiții realiste: o serie de variabile de stare sunt nemăsurabile, vitezele de reacție sunt incomplet cunoscute și variabile, iar concentrația poluantului influent poate fi necunoscută, dar pentru aceasta se cunosc o limită superioară și una inferioară [Pet13a].

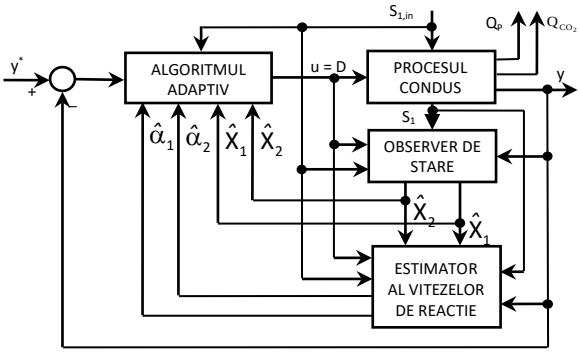


Fig. 27. Structura adaptivă de conducere a procesului de fermentație anaerobă

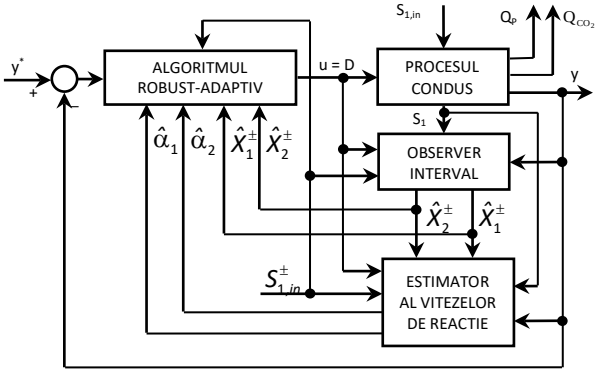
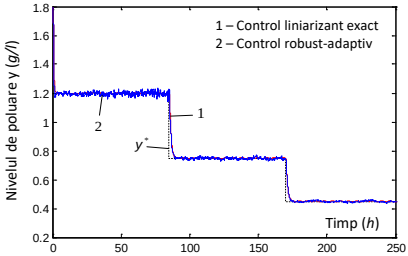


Fig. 28. Sistemul robust-adaptiv de control al procesului de fermentație anaerobă

Ca rezultate, în Fig. 27 este prezentată o structură adaptivă de conducere, iar în Fig. 28 structura de conducere robust-adaptivă.

Comportarea în circuit închis a fost analizată prin simulare numerică. De exemplu, performanțele sistemului utilizând structura de conducere robust-adaptivă sunt prezentate în Fig. 29-30 (evoluția nivelului de poluare și evoluția comenzii).

Cea de-a doua aplicație prezentată a vizat strategii de conducere multivariabilă a procesului noroiului activat din stațiile de epurare. În portofoliu au fost prezentate: formularea problemei, modelul dinamic al procesului aerob de tratare a apelor reziduale cu nămol activ, proiectarea strategiilor de conducere adaptive și robust-adaptive [Pet13b].



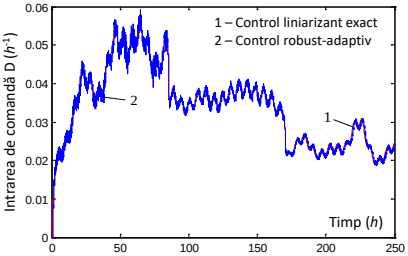


Fig. 29. Evoluția ieșirii controlate (nivel poluare) **Fig. 30.** Profilul comenzii (viteza de diluție)

Procesul considerat se desfășoară într-un bioreactor cu funcționare continuă cu recirculare utilizat pentru a elimina doi poluanți (Fig. 31) [Pet13b]. Ținând cont de realitatea practică, s-a presupus că pentru cei doi poluanți concentrațiile sunt complet necunoscute, dar că pentru acestea se cunosc anumite intervale în care evoluează.

Obiectivul principal al conducerii procesului constă în menținerea nivelului de poluare din apelor reziduale la un nivel dorit (impus), evident cât mai scăzut, în pofida variației în limite mari a concentrațiilor poluanților. Prima structură de conducere (Fig. 32) este o schemă adaptivă obținută prin combinarea unei CLE cu un estimator asimptotic de stare și un estimator on-line a cineticilor necunoscute. Cea de-a doua structură de conducere este o strategie robust-adaptivă (Fig. 33), dezvoltată pe baza unei CLE, dar în care stările nemăsurabile se înlocuiesc cu limitele lor superioare și inferioare furnizate de un observer interval. Mai mult, parametrii incerți ai procesului sunt înlocuiți cu valorile limitelor lor superioare și inferioare (cunoscute).

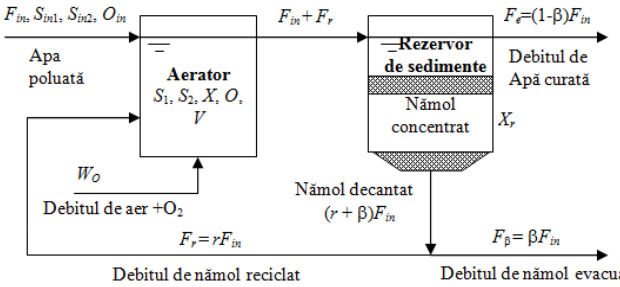


Fig. 31. Schema procesului de tratare a apelor reziduale cu nămol activ

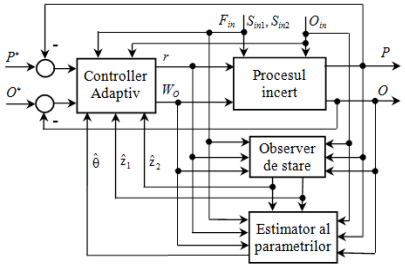


Fig. 32. Schema bloc a sistemului adaptiv

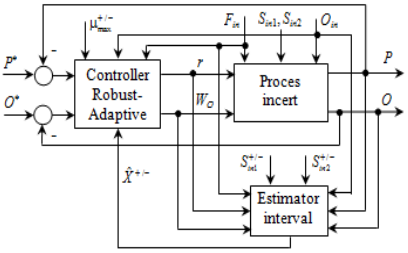


Fig. 33. Schema bloc a sistemului robust-adaptiv

Performanțele sistemelor de control au fost testate prin numeroase experimente simulate. Referințele au fost alese astfel încât să asigure un nivel scăzut al poluării. Comenzile rămân în limitele fizice impuse de proces. S-a obținut un comportament bun privind proprietățile de reglare ale regulatorului robust-adaptiv și capacitatea acestuia de a menține ieșirile controlate în apropierea valorilor impuse dorite.

4. Instrumente software de acordare automată a regulatoarelor din buclele primare ale proceselor

Pentru portofoliul de competențe și expertize**,** membrii echipei de cercetare oferă expertiză pentru realizarea unor *instrumente software care permit derularea unor proceduri de acordare automată pentru controllerele (regulatoarele) din cadrul DCS-ului specific întreprinderii.* În cadrul acestei direcții este vizat Nivelul 1 din Fig. 1 (Nivelul de reglare).

Pentru realizarea procedurilor de acordare automată este utilizat mediul de programare și dezvoltare MATLAB/Simulink (mai precis, utilitarul SISO Design Tool), disponibil în laboratoarele Universității din Craiova (Matlab 7, R2014b etc.). În portofoliu au fost abordate și prezentate noțiuni utile pentru implementarea unor controllere în DCS-ul firmelor:

- **Instrumentul de proiectare SISO Design Tool** [MAT14], [Lur11]. Au fost prezentate:

- *Componentele și opțiunile de proiectare SISO Design Tool*

• Interfața grafică *SISO Design Task* din *Control and Estimation Tools Manager* - facilitează proiectarea regulatoarelor pentru sisteme în circuit închis cu o singură intrare și o singură ieșire.

• Fereastra grafică de acordare *Graphical Tuning* - reprezintă o interfață grafică utilizată pentru afișarea și manipularea caracteristicilor Bode, Nichols și a locului rădăcinilor pentru controlerul care se proiectează.

• Interfața *LTI Viewer* asociată cu *SISO Design Task*.

- *Utilizarea SISO Design Task Node și importul de modele în SISO Tool*;
- *Structuri cu reacție în SISO Tool* (Fig. 34);
- *Fereastra Graphical Tuning* (Fig. 35).

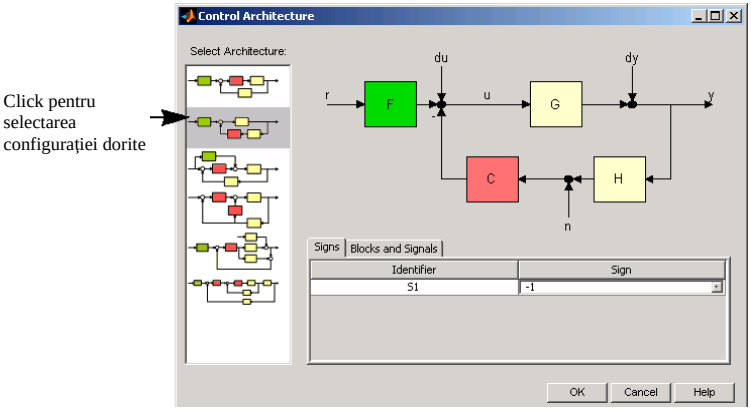


Fig. 34. Selectarea arhitecturii buclei de reglare

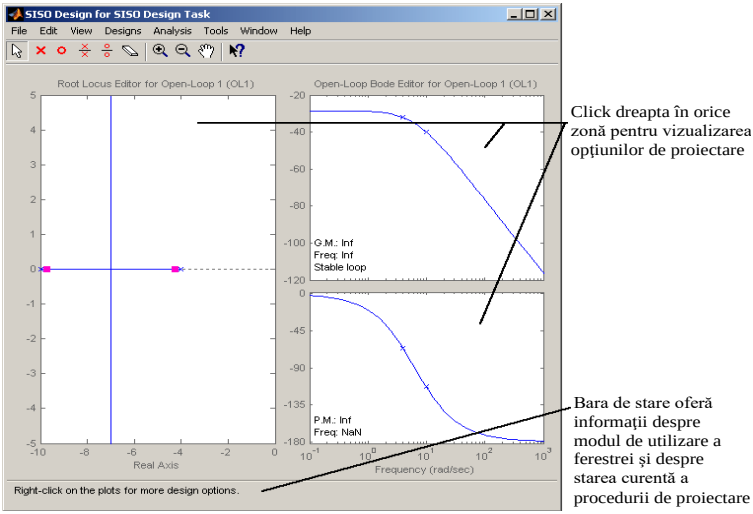


Fig. 35. Fereastra Graphical Tuning

▪ **Proiectarea regulatoarelor în SISO Design Tool cu metoda de acordare automată** [MAT14], [Lur11]. Au fost prezentate:

- *Metode de acordare automată*. Interfața SISO Design Tool a softului MATLAB dispune de o procedură de acordare automată (*automated tuning*) care simplifică operațiunea de proiectare și acordare a compensatoarelor. SISO Design Tool conține cinci metode de acordare automată care permit proiectarea "on-the-fly" a unui controler, astfel încât să fie satisfăcute cerințele de proiectare ale utilizatorului.

- *Metoda de acordare optimizată*. Accesarea metodei se realizează în cadrul procedurii *Automated tuning* care are rolul de asistent în procesul de acordare și optimizare a sistemului de conducere.

- *Metoda de acordare PID* (Fig. 36). SISO Design Tool furnizează patru metode de acordare PID, inclusiv o metodă pentru sisteme instabile (*Singular frequency based tuning*). În majoritatea aplicațiilor, regulatoarele PID rezultate în urma acordării furnizează performanțe acceptabile.

- *Acordarea automată de tip PID. Exemplu pentru motorul de c.c.*;
- *Acordarea automată de tip IMC (Internal Model Control)*;
- *Acordarea automată pe baza sintezei LQG*;
- *Acordarea automată cu metoda Loop Shaping*.

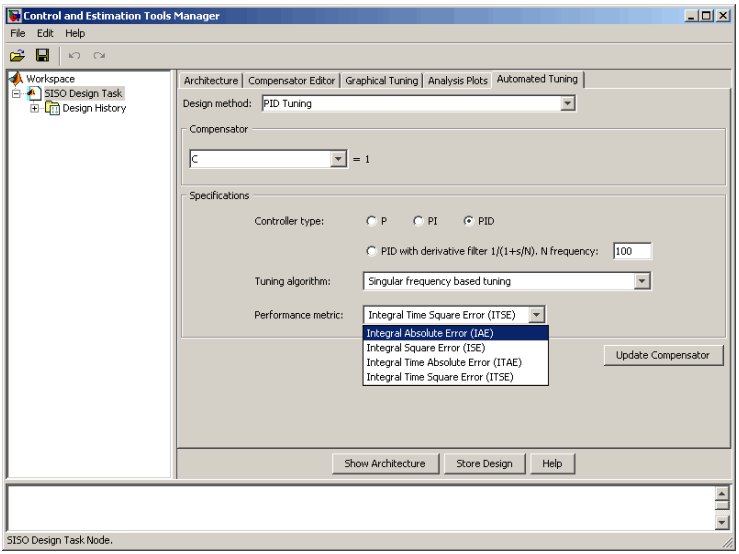


Fig. 36. Acordarea PID – opțiuni de acordare

5. Proiectarea unor algoritmi de conducere adaptivi și robust-adaptivi pentru un bioproces cu timp mort

În portofoliu a fost prezentată *tehnica de proiectare a unor algoritmi de conducere adaptivi și robust-adaptivi pentru un proces bioelectrochimic, de tratare a apelor reziduale*. Bioprocesul conține un bioreactor cu amestec perfect, utilizat pentru creșterea unei populații de bacterii, cuplat cu un reactor electrochimic, cu întârziere, folosit pentru regenerarea substratului (Fig. 37). Modelul este descris prin ecuațiile diferențiale [Pet15]

$$\begin{aligned}
&\dot{X}(t) = \mu(S)X(t) - \big(D(t) + D_0(t)\big)X(t) - k_d X(t),\\
&\dot{S}(t) = -\frac{1}{Y_{SX}}\mu(S)X(t) + D(t)(S(t-\tau) + rP(t-\tau)) + D_0(t)S_0(t) - \big(D(t) + D_0(t)\big)S(t),\\
&\dot{P}(t) = (1/Y_{SX})\mu(S)X(t) + D(t)(1-r)P(t-\tau) + D_0(t)P_0(t) - \big(D(t) + D_0(t)\big)P(t).
\end{aligned} \quad (4)$$

unde X, S și P sunt respectiv concentrația biomasei, a substratului și a produsului, $D = F / V_{br}$ este viteza de diluție, F debitul de recirculare, V_{br} este volumul reactorului, Y_{SX} este coeficientul de producție (constant), $\mu(S)$ este viteza specifică de creștere, k_d este viteza de deces a biomasei, iar $r = \big(P(t-\tau) - P_{in}(t)\big) / P(t-\tau)$ este viteza de regenerare a substratului.

Conducerea automată are drept scop menținerea nivelului de poluare la un nivel impus scăzut, comanda utilizată fiind F sau D. S-a prezentat și analizat un algoritm de control adaptiv precum și un algoritm de control robust-adaptiv proiectat în condițiile realiste, în care concentrațiile poluanților la intrarea în reactor sunt complet necunoscute, dar pentru acestea se cunosc limitele intervalelor între care evoluează.

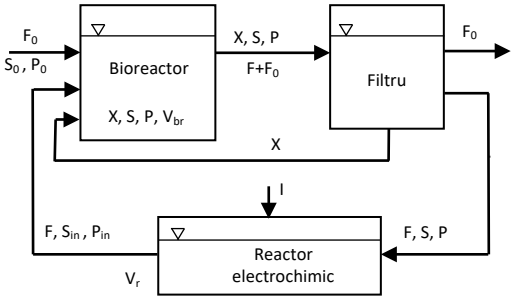


Fig. 37. Reprezentarea schematică a procesului bioelectrochimic cu poluant extern

Pentru dezvoltarea schemelor de conducere au fost proiectate, într-o primă etapă, ***observere asimptotice și observere interval pentru estimarea stării*** [Rap05]. De exemplu, observerul interval robust pentru estimarea stărilor necunoscute capabil să prelucreze și incertitudinile din variabilele de intrare, parametrii modelului etc., este prezentat în ecuațiile următoare:

$$(IO^{+})=\begin{cases}\dot{\hat{w}}^{+}(t)=W(t)\hat{w}^{+}(t)+Z(t)\zeta_1(t)+Mv^{+}(t)\\ \hat{w}(0)^{+}=Nx(0)^{+},\\ \hat{\zeta}_2^{+}(t)=N_2^{-1}(\hat{w}^{+}(t)-N_1\zeta_1(t)),\end{cases}$$
$$(IO^{-})=\begin{cases}\dot{\hat{w}}^{-}(t)=W(t)\hat{w}^{-}(t)+Z(t)\zeta_1(t)+Mv^{-}(t)\\ \hat{w}(0)^{-}=Nx(0)^{-},\\ \hat{\zeta}_2^{-}(t)=N_2^{-1}(\hat{w}^{-}(t)-N_1\zeta_1(t)).\end{cases} \quad (5)$$

Observerele interval funcționează ca o pereche de două observere: un observer superior, care furnizează o margine superioară a vectorului de stare și un observer inferior, care furnizează o margine inferioară a vectorului de stare, sau altfel spus furnizează un interval în care va evolua vectorul de stare [Rap05].

Strategiile de control dezvoltate au fost [Pet15]:

Comanda liniarizantă exactă (CLE). Reprezintă cazul ideal în care modelul procesului este complet cunoscut, iar comanda se calculează prin liniarizare exactă intrare-ieșire. Este utilizată pentru proiectarea algoritmilor adaptivi și robust-adaptivi.

Schema de control adaptiv se obține prin combinarea unei comenzi liniarizante exacte (CLE) cu un observer asimptotic utilizat pentru estimarea on-line a stărilor nemăsurabile și cu un estimator on-line a reacțiilor incerte sau necunoscute (Fig. 38).

Structura de control robust-adaptivă s-a obținut prin combinarea unei CLE cu un observer interval (va calcula limitele inferioare și superioare între care vor evolua stările nemăsurabile ale procesului) și cu un estimator pentru estimarea on-line a reacțiilor necunoscute, care va utiliza de asemenea informațiile furnizate de observer-ul interval (Fig. 39).

Tehnicile de conducere pot fi utilizate în cadrul aplicațiilor preliminate în parteneriat cu Compania de Apă Oltenia.

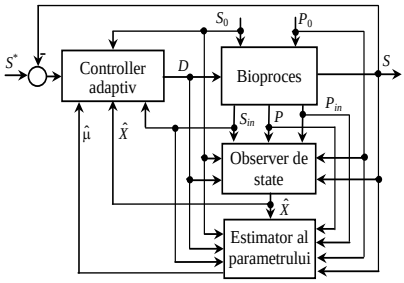


Fig. 38. Structura sistemului adaptiv

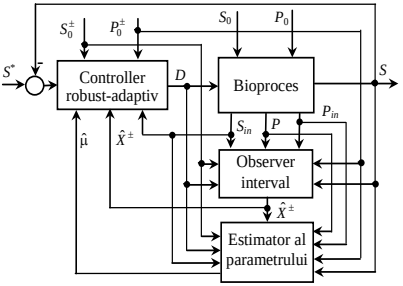


Fig. 39. Structura sistemului robust-adaptiv

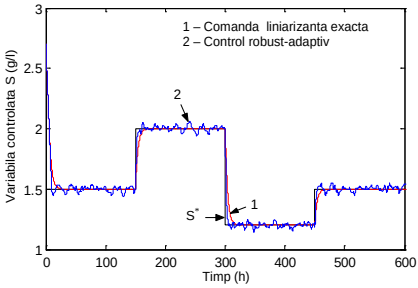


Fig. 40. Evoluția în timp a ieșirii *S*

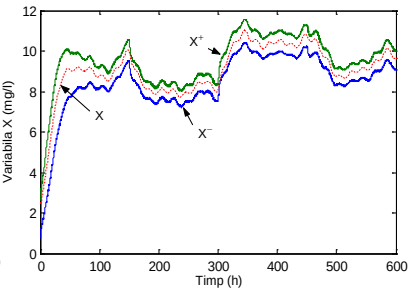


Fig. 41. Estimarea stării - observerul interval

Performanțele strategiilor de conducere au fost analizate prin simulări numerice. În Fig. 40, 41 sunt prezentate câteva rezultate pentru cazul controllerului robust adaptiv, în condiții de incertitudini, perturbații parametrice și măsurători corupte cu zgomote. Sistemul în circuit închis are o comportare bună, foarte apropiată de cea a sistemului în circuit închis din cazul ideal, când se utilizează comanda liniarizantă exactă.

6. Instrumente software specifice pentru achiziția datelor și pentru reglare bazate pe echipamente hardware specializate

Echipa de cercetare oferă expertiză întreprinderilor pentru realizarea unor instrumente software pentru implementarea driverelor de conectare la DCS-ul specific întreprinderii. Sunt vizate Nivelurile 0, 1 și parțial 2 din DCS, prin dezvoltarea unor *instrumente software specifice pentru achiziția datelor și pentru reglare bazate pe integrarea cu echipamente hardware specializate* (de exemplu, din gama oferită de NI).

Preliminând încheierea unor contracte subsidiare de tip D cu firmele *SC Compania de Apă Oltenia SA* și *Centrul Energetic Oltenia – Rovinari*, în portofoliu au fost descrise *structuri de achiziție de date și reglare de tip DCS-SCADA specifice*, precum și *instrumente software dedicate care implementează legi numerice de reglare* în LabView, pretabile implementării la nivelurile de reglare primară.

▪ *Structuri de achiziție de date și reglare tip DCS-SCADA pentru stații de epurare*. Pe baza unor rezultate preliminare obținute în cadrul proiectului ADCOSBIO [Sisteme de conducere avansată a unor bioprocese din industria alimentară, PN-II-PT-PCCA-2013-4-0544, 2014-2017], membrii echipei de cercetare au propus soluții de achiziții de date și control tip DCS-SCADA pentru Stațiile de epurare Făcăi și Calafat din cadrul Companiei de Apă Oltenia. Aceste structuri tipice pot fi utilizate și în unele sisteme din cadrul Complexului Energetic Oltenia – Rovinari.

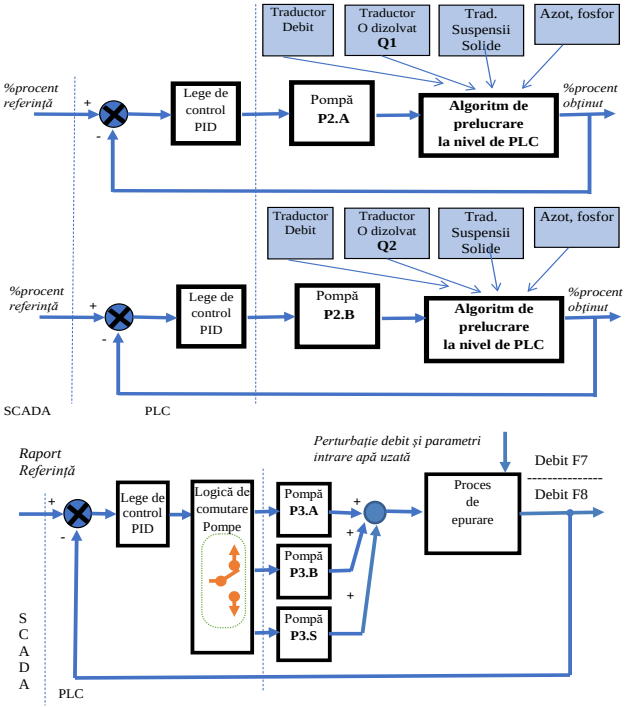


Fig. 42. Bucle de reglare debit de recirculare (sus) și bucla de reglare a raportului debit nămol activ/debit apă uzată la intrare stație (jos)

Pentru Stația de epurare Calafat (SEC) a fost realizată descrierea fluxului tehnologic (treapta mecanică, treapta biologică) și a buclelor de reglare primare, unele dintre acestea fiind prezentate în Fig. 42 [Sel18]. Soluția DCS-SCADA/HMI pentru SEC este organizată ca sistem distribuit și ierarhizat de control automat și prelucrare a informației. *Nivelul 0* este constituit din totalitatea elementelor de câmp plasate la nivelul procesului tehnologic. *Nivelul 1* este constituit din echipamentele de achiziție a datelor și controllere. *Nivelul 2* este constituit din echipamentele plasate în camera *Dispecer* care preiau informațiile de la nivelul inferior (PLC) și supervizează funcționarea globală a stației [RST17], [Sel18]. *Nivelul 3* este constituit ca Dispecer Regional al Operatorului și va coordona activitatea stației de epurare din punct de vedere al performanțelor procesului de epurare și al monitorizărilor de mediu pe o arie extinsă [RST17].

▪ *Instrumente software pentru implementarea legilor de reglare numerice în LabVIEW*. În practica industrială a reglării automate s-au impus așa numitele legi de reglare tipizate de tip PID. Pentru acestea, proiectarea dimensional-valorică a legii de reglare se reduce la alegerea tipului de lege și poziționarea unor butoane prin care se prescriu valorile parametrilor acestor legi, valori rezultate în urma proiectării analitice a sistemului.

Forma discretă a legilor PID. Pentru *discretizarea legilor PID continuue* se poate folosi orice metodă, dar cea mai utilizată este metoda substituției Tustin. De regulă, un *algoritm de reglare discret PID_real* implementează separat cele 3 algoritme discrete componente: unul P (proporțional), unul I (integrator) și unul D_r (derivator-real) prin [Mar05]:

$$
\begin{aligned}
y_p(k) &= K_p\, u(k) \\
y_I(k) &= y_I(k-1) + \frac{T_e}{2T_i}\big(u(k)+u(k-1)\big) \\
y_{D_r}(k) &= \frac{2T_g - T_e}{2T_g + T_e}\, y_{D_r}(k-1) + \frac{2T_d}{2T_g + T_e}\big(u(k)-u(k-1)\big)
\end{aligned}
\qquad (6)
$$

Au fost realizate două implementări software pentru algoritmi PID_{real}:

- *Implementarea algoritmilor în LabVIEW cu Formula Node*;
- *Implementarea algoritmilor în LabView/MatlabScript* (Fig.43) [Sel10]

Obiectul *MATLAB Script* [LAB00] din LabVIEW permite inserarea de cod MATLAB în mediul LabVIEW, ceea ce simplifică procedurile de calcul complexe. Modul de operare nu diferă de cel cu structuri.

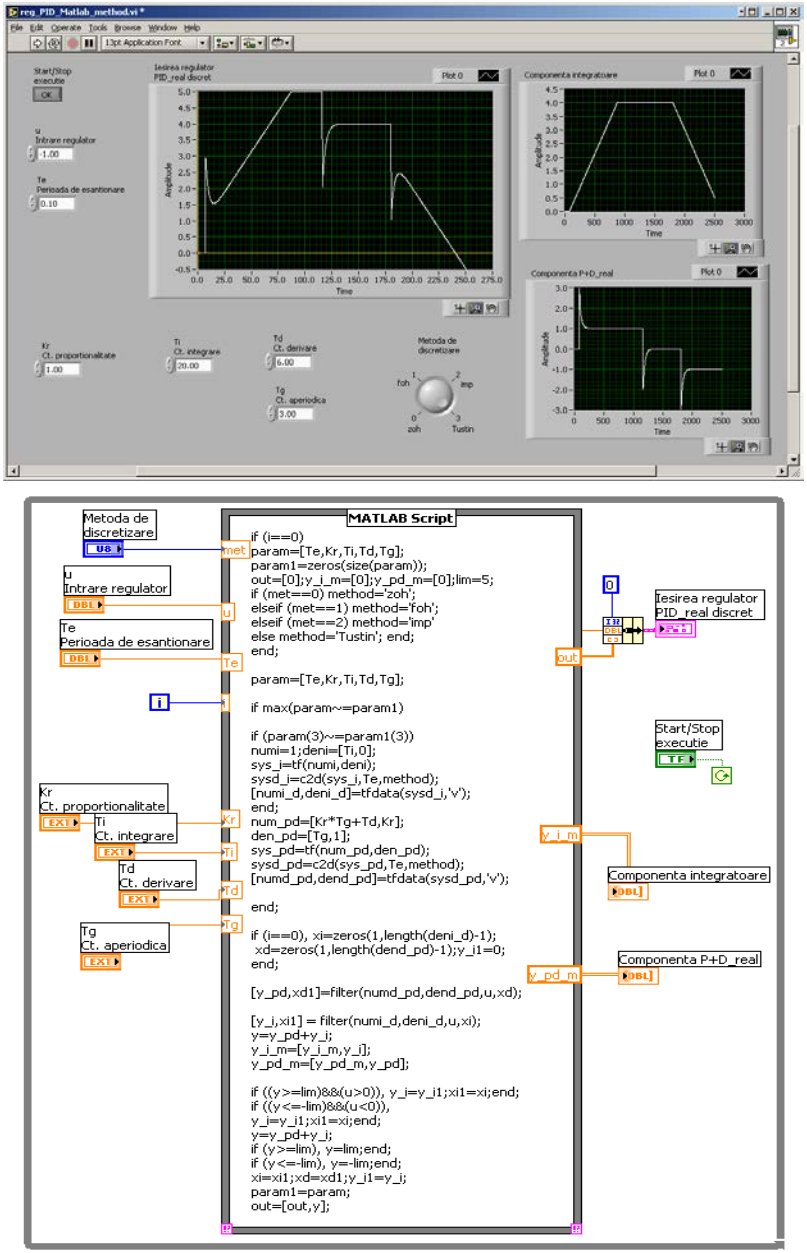


Fig. 43. Panoul frontal și Diagrama regulatorului PID_real discret cu *MATLAB Script*

7. Instrumente software specifice pentru modelarea și simularea proceselor industriale

Pentru Nivelul 0 al unui DCS (Fig. 1), echipa de cercetare oferă expertiză și pentru realizarea unor *instrumente software specifice pentru modelarea și simularea proceselor industriale,* dezvoltate în medii de programare precum LabView și/sau Matlab/Simulink.

Preliminând încheierea unor contracte subsidiare de tip D cu firme precum SC Compania de Apă Oltenia SA, SC Vonrep SRL Tg. Jiu, Centrul Energetic Oltenia – Rovinari etc., în portofoliu au fost descrise *aplicații software care permit modelarea și simularea proceselor tehnologice* din cadrul acestor firme, care permit dezvoltarea de soluții de control și implementarea informatizării de proces a întreprinderilor. Au fost abordate două subdirecții:

- *Realizarea și implementarea software a modelelor unor procese tipice utilizând LabView și Matlab*;

- *Implementarea unor sisteme de reglare virtuale folosind LabVIEW*.

Pentru prima subdirecție au fost evidențiate următoarele concepte și implementări:

- Reconstituirea semnalului continuu. Extrapolatoare de ordinul 0;
- Obținerea ecuațiilor recursive (Forma recursivă a unor părți fixe discrete, Implementarea părții fixe discrete folosind MATLAB Script).

Realitatea practică a arătat că majoritatea instalațiilor tehnologice, a elementelor de execuție, precum și a traductoarelor sunt sisteme continue, care acceptă ca intrări semnale continuale și oferă la ieșire tot semnale continuale. Deci, așa-numitele părți fixe ale sistemelor de reglare automate (SRA) sunt în esență sisteme continue.

Atunci când se pune problema realizării unui sistem de reglare în care regulatorul este numeric, pentru a putea funcționa împreună în cadrul unui SRA, partea fixă continuă trebuie interfațată cu sistemele pur discrete de reglare (regulatoare numerice sau calculatoare de proces, plăci de achiziție implementate pe PC-uri). Această interfațare se realizează prin intermediul convertoarelor analog-numerice (CAN-uri), pe partea de intrare, și prin intermediul convertoarelor numeric-analogice (CNA-uri), pe partea de ieșire. Un CAN convertește un semnal continuu într-o secvență de numere, iar un CNA transformă o secvență numerică într-un semnal continual, de

regulă, constant pe porțiuni de lungime (durată) T_e, realizând astfel o extrapolare de ordinul 0. Pentru simularea numerică a SRA, părții fixe $H_F(s)$ i se atașează la intrare extrapolatorul de ordin 0 cu funcția de transfer $H_{EOZ}(s)=(1-e^{-sT_e})/s$ astfel încât expresia funcției de transfer a părții fixe în domeniul discret va fi [Mar05], [Dum09]:

$$H_F(z)=Z\left\{H_{EOZ}(s)\cdot H_F(s)\right\}=\left(1-z^{-1}\right)\cdot Z\left\{\frac{H_F(s)}{s}\right\},\ \text{unde}\ z=e^{sT_e} \qquad (7)$$

Echivalentul discretizat al unei părți fixe cu timp mort va fi:

$$H_{EOZ-F}(s)=e^{-\tau s}\cdot\tilde{H}(s)\xrightarrow[\text{discretizare}]{}\left(1-z^{-1}\right)\cdot z^{-N}\cdot Z\left\{\frac{\tilde{H}(s)}{s}\right\}=H_F(z) \qquad (8)$$

În general, părțile fixe sunt sisteme continue care se aproximează prin funcții de transfer cu 1, 2, 3 sau maximum 4 poli, la care se adaugă un număr de zerouri precum și, dacă este cazul, timpul mort. O parte fixă discretă este în esență un algoritm recursiv ce implementează o relație intrare-ieșire corespunzătoare unei funcții de transfer discrete furnizate de relația (8). De exemplu, pentru un sistem de ordinul II avem [Dum09]:

$$\begin{cases} H_F(s)=\dfrac{K_p e^{-\tau s}}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)};\quad a_1=\dfrac{1}{T_1},\ a_2=\dfrac{1}{T_2} \\ H_{EOZ-F}(z)=K_p z^{-N}\dfrac{z^{-1}b_1+z^{-2}b_2}{(1-z^{-1}e^{-a_1 T})(1-z^{-1}e^{-a_2 T})} \end{cases},\ \text{cu} \qquad (9)$$

$$\begin{cases} b_1=1-\dfrac{a_2}{a_2-a_1}e^{-a_1 T}+\dfrac{a_1}{a_2-a_1}e^{-a_2 T} \\ b_2=e^{-a_1 T}e^{-a_2 T}-\dfrac{a_2}{a_2-a_1}e^{-a_2 T}+\dfrac{a_1}{a_2-a_1}e^{-a_1 T} \end{cases}. \qquad (10)$$

Pentru a crea o bibliotecă de părți fixe, trebuie implementați efectiv toți acești algoritmi recursivi. Deși acest lucru este posibil, totuși soluția cea mai bună constă în utilizarea instrumentului virtual evoluat *MATLAB Script*. Un astfel de instrument, implementat sub LabView, este prezentat în Fig. 44 [Sel10], iar relațiile utilizate pentru descrierea părții fixe sunt date în (11). După cum se observă din Fig. 44, structura funcției de transfer $H_F(s)$ se poate seta prin configurarea fiecărei funcții de transfer componente.

$$H_F(s) = e^{-T_m s} \cdot H_I(s) \cdot H_{pz_r}(s) \cdot H_{pz_c}(s),\ T_m = \text{timp mort}$$

$$\begin{cases} H_I(s) = \dfrac{1}{s^k}, \quad k \in N \\ H_{pz_r}(s) = \dfrac{\prod_{i=1}^{m_r}(T_i \cdot s + 1)}{\prod_{j=1}^{n_r}(T_j \cdot s + 1)},\ m_r \le n_r, \quad \text{f.d.t. cu poli reali si zerouri reale} \\ H_{pz_c}(s) = \dfrac{\prod_{i=1}^{m_c}(T_i^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi_i \cdot T_i \cdot s + 1)}{\prod_{j=1}^{n_c}(T_j^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi_j \cdot T_j \cdot s + 1)},\ m_c \le n_c, \begin{cases} \xi_i \in (0,1) \\ \xi_j \in (0,1) \end{cases} \\ H_{pz_c}(s) = \text{f.d.t. cu poli complecsi si zerouri complexe} \end{cases} \tag{11}$$

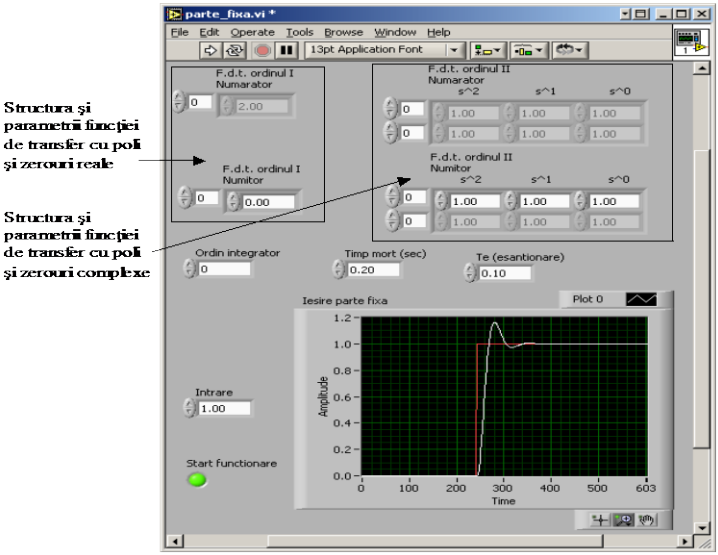


Fig. 44. Instrument virtual de implementare și simulare a părții fixe - panoul frontal

▪ *Implementarea unor sisteme de reglare virtuale folosind LabVIEW.* Sistemul de reglare care se implementează folosind LabVIEW/Matlab Script se numește virtual deoarece atât regulatorul cât și partea fixă sunt de fapt algoritmi discreți care comunică la nivel de intrări, respectiv ieșiri. Pentru implementarea acestui sistem au fost propuse trei variante care țin cont de dificultățile ce provin din complexitatea experimentului.

IV. Domeniul Software aplicativ pentru Ingineria electrică

- subdomeniile: Sisteme de acționare, Energetică și Proiectare asistată de calculator -

Direcția de cercetare Software aplicativ pentru Ingineria electrică include subdomeniile: Sisteme de acționare, Energetică și Proiectare asistată de calculator. Este proiectată pentru a crea premise reale pentru agenții economici din regiune să-și consolideze poziția pe o piață concurențială dinamică, marcată de progrese rapide la nivel tehnologic și informațional. Astfel, proiectul vizează o mare varietate de tematici de interes pentru mediul industrial, după cum urmează:

- Instrumente software pentru modelarea matematică completă a sistemelor de acționare și a sistemelor de filtrare activă;
- Instrumente software pentru implementarea algoritmilor de comandă a sistemelor de acționare electrică și a filtrelor active;
- Software orientat pe aplicație pentru monitorizarea și diagnoza calității energiei electrice la joasă tensiune pentru consumatori deformanți;
- Software orientat pe aplicație pentru monitorizarea și diagnoza calității energiei electrice la JT pentru micii producători de energie;
- Software orientat pe aplicație pentru monitorizarea și diagnoza calității energiei electrice în stații de distribuție MT/JT;
- Soluții software pentru identificarea planului optim de tarifare la consumatori industriali;
- Software pentru analiza numerică a regimurilor de avarie în rețele de distribuție de medie și joasă tensiune;
- Modele de ordin redus pentru sisteme electrice și electromecanice;
- Algoritmi numerici de optimizare multiparametru pentru reducerea costurilor de fabricație;
- Soluții de modelare și simulare numerică a bobinelor de filtrare;
- Soluții software pentru analize de toleranțe;
- Soluții software pentru identificarea defectelor în circuite;
- Soluții de modelare și simulare numerică a transformatoarelor de putere în regim nesimetric.

În raport cu realizările cunoscute în domeniu, echipa proiectului este în măsură să ofere mediului industrial soluții moderne, de înalt nivel tehnic, o selecție a acestora fiind descrisă sumar în cele ce urmează.

1. Instrument CAD pentru analiza senzitivităților și toleranțelor circuitelor analogice

Instrumentul software permite proiectarea optimală a circuitelor electrice de forță și comandă pentru sisteme de acționare, din perspectiva considerării dispersiei parametrilor funcționali ai elementelor componente, inevitabilă în procesul de fabricație.

O caracteristică fundamentală de proiectare pentru un sistem este *funcția de circuit* care descrie dependența între mărimile de intrare (semnal) și cele de ieșire (răspuns). Analiza unui sistem cu parametrii fixați determină un răspuns unic în regimul de funcționare vizat. Circuitul cu valorile parametrilor fixate se numește *circuit nominal*, iar răspunsul său unic se numește *răspuns nominal*. Din punct de vedere practic, nu este suficient ca specificațiile proiectului să fie satisfăcute numai pentru o mulțime fixată a valorilor nominale ale parametrilor. Orice efect asupra funcției de circuit sau asupra oricărei altei caracteristici a circuitului, cauzată de schimbarea unuia sau a mai multor parametri ai elementelor componente se numește *senzitivitatea circuitului* [Lin92], [Ior10]. Un parametru de circuit este numit *critic* dacă senzitivitatea în raport cu acest parametru este foarte mare. Elementul căruia îi este asociat un parametru critic este un *element critic*. O schimbare mică a valorii unui parametru critic va afecta puternic performanța globală a sistemului. *Toleranța* definește un domeniu de valori posibile pe care parametrul asociat unui element fizic le poate avea [Ior10]. Componentele circuitelor fabricate curent se pot abate de la valorile lor nominale cu procente de la 0,1% până la mai mult de 20%. Aceasta înseamnă că proiectarea sistemului nu trebuie să se limiteze la valorile de referință ale parametrilor.

O proiectare bazată pe analiza senzitivităților și toleranțelor permite anticiparea comportării sistemului real pentru orice combinație posibilă a parametrilor care se încadrează în abaterile definite prin toleranțele constructive sau provocate de îmbătrâniri și efecte de variație a factorilor de mediu (temperatura, presiunea, umiditatea). În plus, permite

identificarea elementelor critice și non-critice și stabilirea restricțiilor în alegerea toleranțelor constructive ale acestora. Se limitează astfel utilizarea de elemente componente cu toleranțe foarte bune doar pentru elementele critice. Cum elementele de precizie, cu toleranțe mici pot fi cu câteva ordine de mărime mai scumpe decât cele cu toleranțe mai largi, este evident impactul unei astfel de abordări asupra prețului de producție al produsului proiectat și implicit asupra competitivității lui [Kun06].

2. Sisteme de control în timp real al sistemelor de acționare de mare putere și pachete software dedicate

Acționările grele de mare și foarte mare putere ce necesită reglaj de viteză sunt aplicații industriale complexe, mari consumatoare de energie și care necesită costuri de exploatare mari. Pentru astfel de aplicații, tipul de motor utilizat este cel asincron cu rotor bobinat. În gama puterilor mari și foarte mari (sute de kW), tensiunea statorică nominală este, în general, de cel puțin 6kV. Pentru aceste tensiuni, utilizarea unui convertor static în circuitul statoric ridică probleme foarte serioase din punct de vedere tehnic în ceea ce privește convertorul static. Soluțiile constau în convertoare multinivel și matriceale [Liu03], www.yaskawa.com. Există în lume doar câteva firme (Siemens, Yaskawa) capabile să ofere astfel de echipamente, dar prețul este consistent. După informațiile pe care le deținem, pentru o acționare de 600 kW, prețul este de aproximativ 250,000 €. Beneficiarii proiectului estimează că, dacă rezultatele proiectului vor fi cele așteptate, vor fi capabili să ofere pe piață soluții la un preț semnificativ mai redus, caracterizate de randament energetic mărit.

Comanda în rotor permite pornirea și reglarea de viteză a mașinilor asincrone cu rotor bobinat de mare și foarte mare putere, cu evitarea reostatului rotoric. Metoda este cunoscută ca dublă alimentare a mașinii asincrone, fiind utilizată în prezent, de exemplu, pentru reglarea vitezei generatoarelor asincrone ce echipează generatoarele eoliene de mare putere. Literatura nu semnalează utilizarea acestei metode și pentru pornirea acționărilor, știut fiind faptul că aplicațiile care utilizează astfel de motoare solicită cupluri de pornire foarte importante. Această metodă de comandă prezintă dificultăți tehnice în zona vitezelor mici, deci și pentru pornire [Alb82], [Vas98].

Soluția propusă în cadrul proiectului ar îmbunătăți semnificativ eficiența energetică a acționărilor reglabile cu motor asincron cu rotor bobinat, datorită eliminării pierderilor suplimentare, menținând în același timp performanțele din punctul de vedere al cuplului de pornire. O altă importantă facilitate oferită de soluția propusă este aceea a posibilității controlului puterii reactive absorbite de motorul asincron în stator, până la funcționare cu factor de putere unitar sau chiar capacitiv.

Comanda se poate realiza utilizând un convertor static în circuitul rotoric, statorul fiind conectat direct la rețea (Fig. 45, 46). Cele două configurații implică utilizarea unor rezistoare adiționale în circuitul rotoric care disipă pierderi suplimentare semnificative, cu precădere în zona vitezelor mici, pierderile fiind proporționale cu alunecarea. Din acest motiv, cele două tehnologii sunt utilizate, în general, doar pentru pornirea acționărilor, nu și pentru reglarea vitezei.

Evitarea acestui neajuns se poate face prin sistemul de acționare de tip cascadă subsincronă. Acesta permite reglarea vitezei doar în regiunea vitezelor mai mici decât cea de sincronism. Energia electrică din rotor corespunzătoare alunecării este recuperată și transmisă fie în rețea prin intermediul unui redresor complet comandat ce funcționează în regim de invertor, fie readusă la arborele motorului sub formă de energie mecanică furnizată de un motor de c.c. adițional alimentat de redresor.

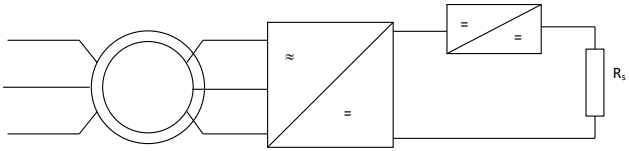


Fig. 45. Tehnologia cu redresor necomandat și rezistor variabil electronic

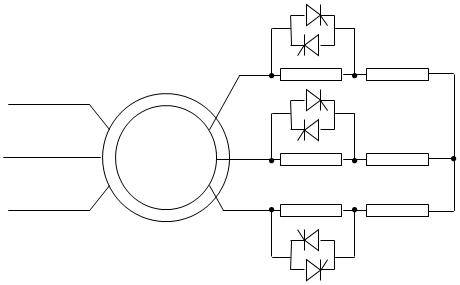


Fig. 46. Tehnologia cu variator de tensiune alternative

Principiul complet al dublei alimentări constă în alimentarea înfășurării rotorice de la un convertor static de tensiune și frecvență bidirecțional, statorul fiind conectat direct la rețea (Fig. 47). Deși schema de principiu este similară cu cea a cascadei subsincrone, principiul de comandă pentru dublă alimentare este complet diferit. Avantajele principale ale acestei tehnologii sunt: pierderi suplimentare cvasi nule de energie la pornire și reglare de viteză; reglare bizonală a vitezei prin același tip de comandă; puterea convertorului poate fi o fracțiune din puterea mașinii; controlul puterii reactive.

Pentru aplicații de medie tensiune soluția alimentării în stator prin sursă de tensiune și frecvență variabile o constituie *invertoarele multinivel* [Bak75], [Bha80], [Rod02], [Flo07]. Dintre acestea, invertoarele cu trei nivele sunt cele mai utilizate. Denumirea este justificată de numărul de trepte pe care îl conține tensiunea de fază. În cazul invertoarelor clasice (punți trifazate), forma de undă a tensiunii de fază are doar două nivele pe fiecare semialternanță, respectiv $U_d/3$, $2U_d/3$.

Invertoarele cu trei nivele au câte două celule de comutație pe fiecare parte a fiecărui braț (Fig. 48). Fiecare semialternanță a tensiunii de fază este constituită din segmente aflate pe trei nivele ($U_d/3$, $U_d/2$, $2U_d/3$), ceea ce determină un conținut de armonici mai redus, ce va avea influențe pozitive asupra formelor de undă ale curentului.

Din punct de vedere al topologiei, pentru structura fiecărui braț există mai multe variante. NPC - Neutral Point Clamped, cu 2 celule de comutație: S_1, S_{1c} respectiv S_2, S_{2c} (Fig. 49); SC - Stack Cells, cu 3 celule de comutație: S_1, S_{1c}, S_2, S_{2c}, respectiv S_3, S_{3c} (Fig. 50); ANPC - Active Neutral Point Clamped, cu 3 celule de comutație: S_1, S_{1c}, S_2, $S_{2c,}$ respectiv S_3, S_{3c}.

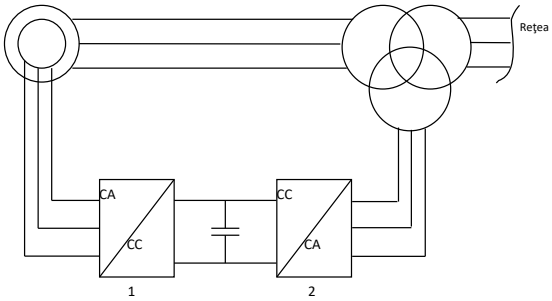
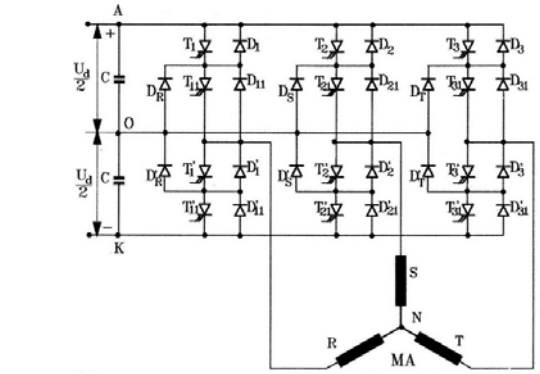
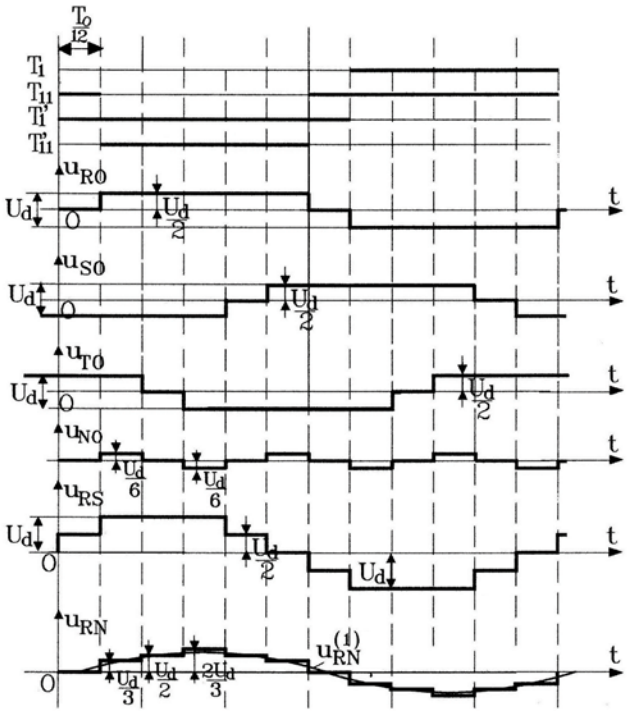


Fig. 47. Comanda vitezei motorului asincron prin dublă alimentare



(a)



(b)

Fig. 48. Invertor cu trei nivele: schema de principiu (a) și forme de undă (b)

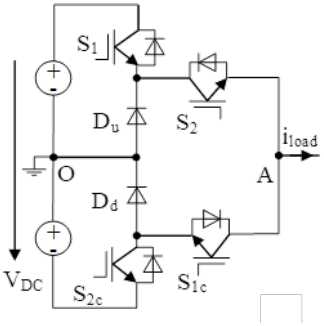


Fig. 49. Celula de comutație NPC

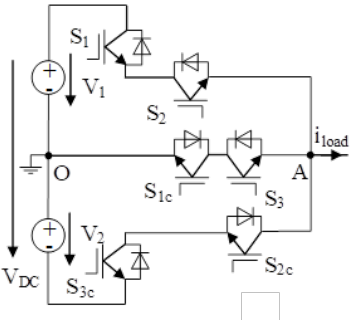


Fig. 50. Celula de comutație SC

3. Modelarea și simularea numerică a circuitelor neliniare cu elemente de comutație. Instrumente CAD pentru simularea blocurilor de forță și comandă ale invertoarelor multinivel

Circuitele de forță ale sistemelor de acționare cu elemente de comutație statică ridică gradul de dificultate al analizei prin modificările periodice ale topologiei circuitului (ca urmare a comutațiilor) și prin neliniaritățile care nu se pot ignora decât în cazuri cu totul particulare. Dificultățile analizei nu se limitează numai la aplicarea unei metode de calcul, ci sunt legate în mare măsură de aspectele de ordin calitativ privind existenta și unicitatea soluțiilor. Deși circuitele reale au în general soluții unice (cu excepția unor cazuri particulare, izolate), este posibil ca aceste soluții să nu fie găsite datorită unei modelări nepotrivite sau utilizării unui algoritm matematic inadecvat. Sunt posibile situații când rezultate eronate pot fi interpretate drept corecte. Pe de altă parte, o analiză bazată pe o modelare sofisticată sau care necesită un timp îndelungat, deși oferă rezultate precise, ar putea avea un cost inacceptabil.

Analiza în domeniul timp are cel mai înalt grad de generalitate și se poate aplica atât circuitelor liniare, cât și celor neliniare funcționând fie în regimuri neperiodice, fie în regimuri periodice, cu sau fără comutații [Chu75]. Pentru a fi concludentă, analiza trebuie să acopere o durată care asigură amortizarea componentelor tranzitorii cu cea mai mare constantă de timp și depășește cea mai mare perioadă pentru procesele periodice. Diferențele mari între constantele de timp ale componentelor tranzitorii și perioadele componentelor forțate periodice complică analiza.

Modelul standard în domeniul timp al unui circuit cu *n* noduri, *b* bucle independente și *l* laturi în sens larg, dintre care n_R laturi cu rezistoare, n_L laturi cu bobine și n_C laturi cu condensatoare conține ecuațiile date de teoremele lui Kirchhoff, ecuațiile caracteristice ale laturilor pasive și ecuațiile de evoluție ale elementelor cu memorie [Chu75]:

$$\begin{cases} \mathbf{Ai}=0 & (n-1 \text{ ecuatii teorema I Kirchhoff}) \\ \mathbf{Bu}=0 & (b \text{ ecuatii teorema a II-a Kirchhoff}) \\ \mathbf{f}_R(\mathbf{u},\mathbf{i})=0 & (n_R \text{ ecuatii}) \\ \mathbf{f}_L(\phi,\mathbf{i})=0 & (n_L \text{ ecuatii}) \\ \mathbf{f}_C(\mathbf{q},\mathbf{i})=0 & (n_C \text{ ecuatii}) \\ \dot{\phi}=\mathbf{u} & (n_L \text{ ecuatii}) \\ \dot{\mathbf{q}}=\mathbf{i} & (n_C \text{ ecuatii}), \end{cases} \tag{12}$$

unde: $\mathbf{A} \equiv \mathbf{A}_{(n-1)\times l}$ este matricea redusă de incidență laturi-noduri; $\mathbf{B} \equiv \mathbf{B}_{b\times l}$ este matricea de incidență laturi-bucle; $\mathbf{f}_R : R^{2n_R} \to R^{n_R}$ este vectorul ecuațiilor constitutive ale laturilor rezistive; $\mathbf{f}_L : R^{2n_L} \to R^{n_L}$ este vectorul ecuațiilor caracteristice ale laturilor ce conțin bobine; $\mathbf{f}_C : R^{2n_C} \to R^{n_C}$ este vectorul ecuațiilor caracteristice ale laturilor ce conțin condensatoare; ϕ este vectorul fluxurilor magnetice ale bobinelor, cu n_L componente; $\mathbf{q}$ este vectorul sarcinilor electrice ale condensatoarelor, cu n_C componente.

4. Controlul mașinilor asincrone de mare putere

Sistemul de reglare a vitezei motorului asincron, cu orientare după fluxul statoric, pentru invertor de tensiune se bazează pe ecuațiile de tensiuni ale statorului și modelul fluxului, schema de reglare fiind prezentată în Fig. 51 [Iva98], [Vas98]. Schema are structura cu cele două căi de reglare ale componentelor tensiunii statorice, reactivă u^*_{sx} și activă u^*_{sy}, fiecare obținută pe baza ecuațiilor de tensiuni statorice. Semnalul de reacție pentru curentul de magnetizare statoric se obține din modelul fluxului (Fig. 52).

În cazul alimentării motorului asincron de la invertor cu caracter de sursă de curent (invertor de tensiune cu curenți prescriși), ca și în cazul comenzii cu orientare după fluxul rotoric, nu mai este necesară

considerarea ecuațiilor de tensiuni statorice, ci doar a celor rotorice, scrise, evident, în sistemul solidar cu fazorul fluxului statoric [Iva98], [Vas98]. Cele două componente ortogonale ale curentului statoric i_{sx} și i_{sy} sunt cuplate, respectiv modulul curentului de magnetizare statoric $|i_{ms}|$ este determinat nu numai de componenta reactivă a curentului statoric i_{sx}, ci și de componenta activă, generatoare de cuplu, i_{sy}. Aceasta ar conduce la imposibilitatea controlului independent al fluxului și curentului. Pentru a evita aceasta, se recurge la decuplarea curenților statorici și se obține schema de reglare vectorială a motorului, cu orientare după fluxul statoric, în cazul alimentării de la invertor sursă de curent.

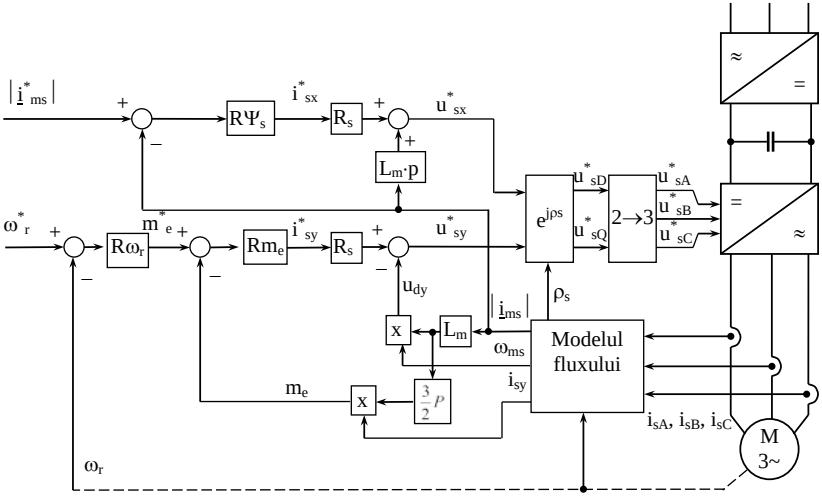


Fig. 51. Sistem de reglare a vitezei motorului asincron cu orientare după fluxul statoric, cu reacție după i_{sx}, i_{sy}

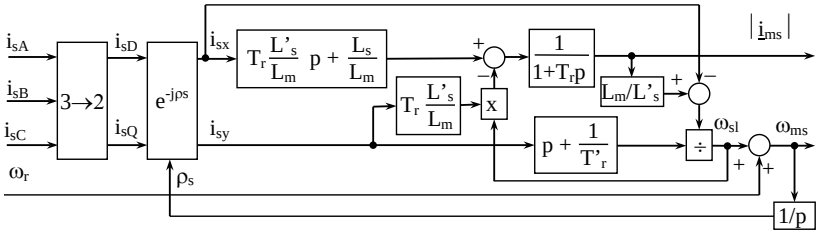


Fig. 52. Modelul fluxului în sistemul solidar cu fazorul fluxului statoric; intrări i_{sA}, i_{sB}, i_{sC}, ω_r

5. Simularea mașinilor asincrone alimentate cu invertoare de tensiune

Schema de simulare (Fig. 53) conține modelul unui motor cu rotor în scurtcircuit cu parametrii nominali 160kW / 400V / 50Hz / 1487rpm. A fost inclus un bloc de calcul care extrage componenta fundamentală din tensiunea de linie, calculează și afișează valoarea efectivă a acesteia (B_{FFT}). Simularea vizează cazul simplu al pornirii cu o sarcină constantă cuplată la arborele motorului [Iva07]. Ca mărimi de ieșire, pe parcursul procesului de pornire sunt urmărite viteza, cuplul activ, curentul statoric și curentul rotoric pe una dintre faze, la frecvențele de 50Hz și 2Hz (Fig. 54-56). Rezultatele arată efectul pornirii cu frecvență redusă asupra solicitărilor electromecanice ale motorului. La frecvența de 2Hz curentul statoric și nici cuplul electromagnetic nu depășesc valorile nominale, în timp ce la 50Hz aceste mărimi ar depăși de peste 10 ori valorile nominale.

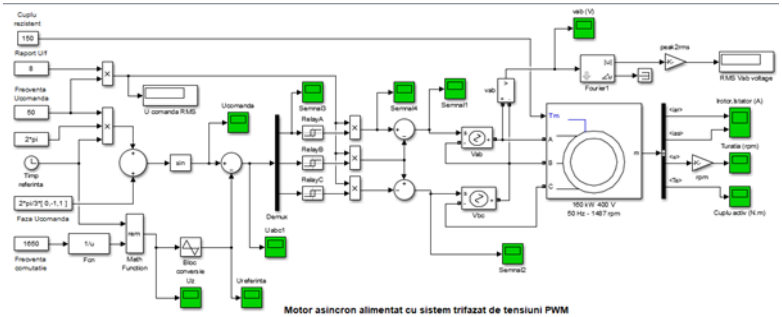


Fig. 53. Schema de simulare unui motor asincron alimentat cu sistem trifazat simetric de tensiuni modulate în durată

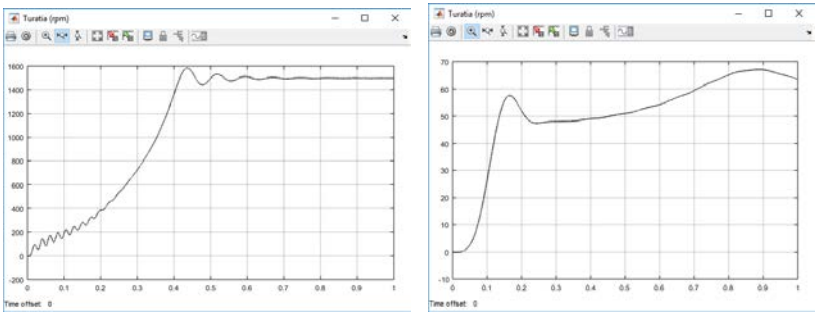


Fig. 54. Evoluția vitezei pe parcursul procesului de pornire: la 50Hz și la 2Hz

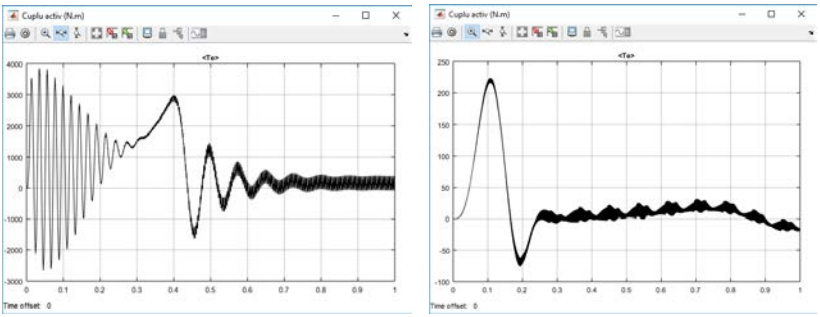


Fig. 55. Evoluția cuplului activ pe parcursul procesului de pornire la 50Hz și la 2Hz

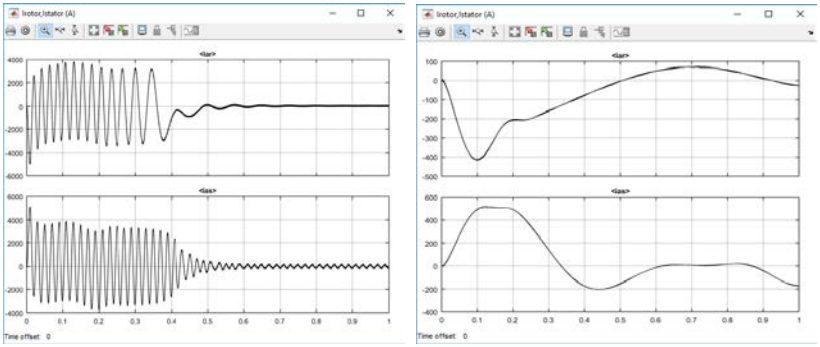


Fig. 56. Evoluția curentului rotoric și statoric pe parcursul procesului de pornire la 50Hz și la 2Hz

6. Interfață grafică utilizator pentru simularea și analiza energetică a sistemelor de acționare cu motoare asincrone și convertoare statice indirecte de tensiune și frecvență

Problematica referitoare la calitatea energiei electrice în sistemele de acționare electrică cu motoare asincrone și convertoare statice indirecte de tensiune și frecvență este de mare actualitate, în contextul utilizării pe scară largă a acționărilor cu viteză variabilă, care reprezintă o sursă importantă de armonici pentru rețeaua de alimentare. Pentru a exploata, într-o manieră simplă pentru utilizator, dar complexă prin facilitățile oferite, modelul matematic al unui sistem de acționare cu motor asincron și convertor static indirect de tensiune și frecvență a fost creată și dezvoltată o interfață grafică utilizator cu ferestre, meniuri și controale de

diferite tipuri. Sistemul grafic MATLAB orientat pe obiecte, funcțiile de nivel înalt, împreună cu instrumentul de creare a GUI, constituie suportul utilizat pentru dezvoltarea interfeței grafice, ca aplicație MATLAB de sine stătătoare. Interfața constituie un mediu interactiv, permițând intervenția utilizatorului asupra structurii și parametrilor sistemului, precum și alegerea celor mai potrivite modalități de prelucrare și afișare a datelor. Interfața grafică are o serie de meniuri, de facilități, de posibilități de calcul și de simulare numerică:

- facilitățile ferestrei principale (Fig. 57);
- controlul datelor din spațiul de lucru;
- parametrii sistemului de acționare: parametrii motorului, circuitului intermediar și ai transformatorului sau bobinei de rețea (Fig. 58);

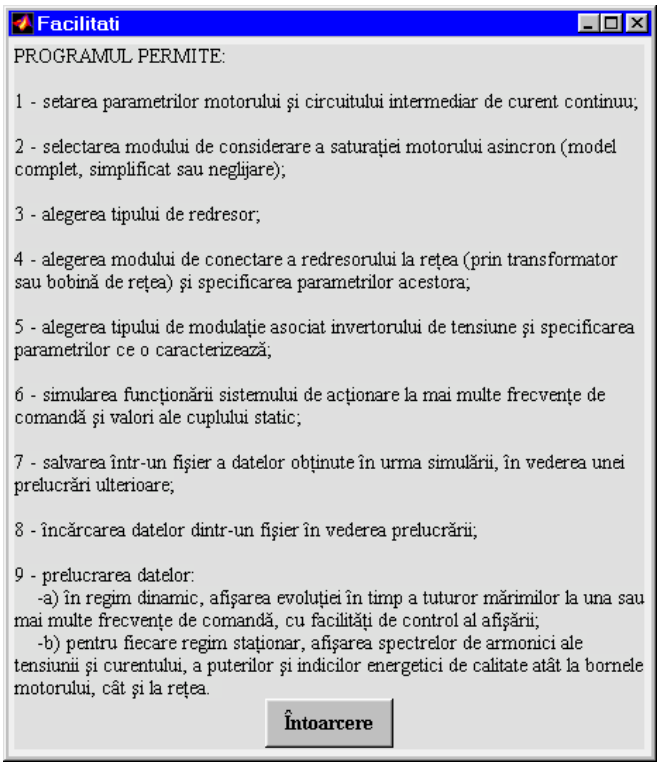


Fig. 57. Fereastra de prezentare a facilităților interfeței grafice.

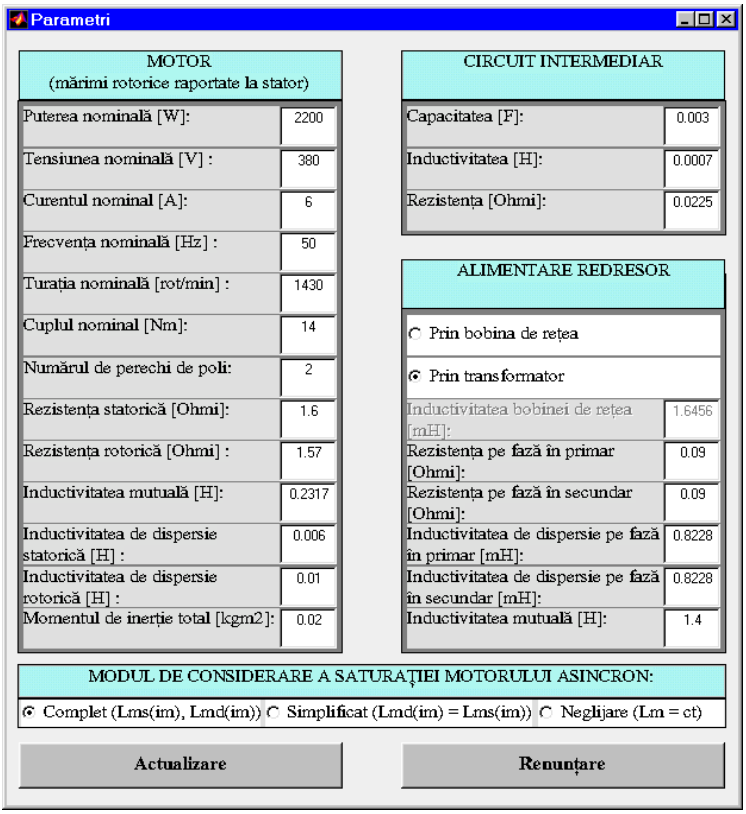


Fig. 58. Fereastra pentru stabilirea parametrilor motorului, circuitului intermediar de c.c. și transformatorului.

- alegerea tipului de redresor;
- alegerea domeniului de variație a frecvenței de comandă;
- alegerea metodei de modulație: sinusoidală, în frecvență și modulația cu eliminare de armonici;
- domeniul de variație a sarcinii;
- simularea funcționării la toate frecvențele de comandă, iar în cadrul fiecărei frecvențe la toate valorile cuplului static, până la stabilirea regimului staționar;
- postprocesarea rezultatelor și afișarea într-o formă grafică ușor de interpretat, atât pentru regim dinamic, cât și pentru regim staționar.

V. Domeniul Sisteme automate
- subdomeniul: Robotică și Mecatronică -

1. Introducere

Unul dintre obiectivele specifice ale proiectului TISIPRO este identificarea și oferirea de soluții software inovative din domeniul informaticii aplicate și al automaticii pentru obținerea de produse și procese, tehnologii noi sau îmbunătățite, identificate de întreprinderi ca fiind cerute de piață. Această idee poate fi implementată de paradigma Sistemelor flexibile de fabricaţie (SFF) şi a Fabricaţiei asistate de calculator (*Computer-Aided Manufacturing*). În cadrul portofoliului au fost prezentate următoarele concepte: fabricația asistată de calculator; condiţiile automatizării, robotizării şi informatizării SFF; sisteme automatizate / informatizate de depozitare / regăsire; soluţii automate / informatizate de transfer şi sortare pentru sisteme flexibile de fabricaţie; sisteme flexibile de fabricaţie; soluții automate / informatizate de monitorizare, control și achiziții de date pentru sisteme flexibile de fabricație; soluții automate / informatizate de control pentru sisteme/procese. Membrii echipei de cercetare au competențe în găsirea și implementarea unor astfel de soluții, putând exemplifica cu câteva dintre ele: aplicație de implementare şi testare a unui simulator pentru un sistem mecatronic de transfer piese; model virtual de depozit automat (ASRS - *Automated Storage and Retrival System*) ca mediu de validare off-line a programelor automatelor programabile; conducerea sistemelor de sortare şi transfer a caroseriilor din industria auto; conducerea proceselor / sistemelor cu automate programabile; sistem SCADA pentru sisteme flexibile de fabricaţie.

Condiţiile esenţiale ale dezvoltării firmelor în actualul mediu concurenţial sunt creşterea performanţelor şi asigurarea competitivităţii, ceea ce presupune automatizare, robotizare, informatizare, utilizarea unor sisteme flexibile de fabricaţie. Permanenta nevoie de adaptare a produselor realizate la cerinţele pieţei sub aspectul calităţii, preţului, termenului de livrare, gamei sortimentale, precum şi a mărimii seriilor de fabricaţie, impune firmelor o continuă îmbunătăţire a dinamicii proceselor industriale, respectiv a SFF. Pentru a putea face faţă modificărilor din mediul economic sistemele de producţie au evoluat semnificativ.

2. Fabricația asistată de calculator

Filozofia sistemelor de producție este centrată pe două idei de bază:

1. Integrarea - care găsește în calculator instrumentul indispensabil de realizare efectivă a acestui concept.

2. Flexibilizarea - care preia și coroborează principiile și cerințele tehnologiilor de grup, ale proiectării modularizate a utilajelor, ale tehnologiilor de vârf, aplicate mașinilor și unităților operative, dar, în egală măsură, și pe cele ale unui management suplu [Bis02].

Legată de abordarea conceptului producției "Just-in-Time" (JIT), dar superioară ca ordin de mărime și complexitate, este producția integrată cu ajutorul calculatorului (**CIM** - *Computer Integrated Manufacturing*). Activitățile de tip CIM în sistemele de producție sunt:

- **CAD** (*Computer-Aided Design*) - este tehnologia / tehnica ce presupune utilizarea calculatorului, în vederea realizării proiectării, analizei și optimizării produselor.
- **CAP** (*Computer-Aided Work Planning*) - planificarea activităților asistată de calculator are drept scop pregătirea fabricației.
- **CAM** (*Computer-Aided Manufacturing*) - fabricația asistată de calculator are drept scop utilizarea calculatorului în vederea conducerii și a supravegherii operațiilor de prelucrare, prin stabilirea unei legături între calculator și resursele de producție.
- **PPS** (*Production Planning System*) - gestiunea producției asistată de calculator se referă la utilizarea sistemelor asistate pentru planificarea organizatorică și pentru comanda și supravegherea desfășurării producției.
- **CAQ** (*Computer-Aided Quality Assurance*) - asigurarea calității asistată de calculator are drept scop realizarea planurilor și a programelor de control, precum şi executarea operațiilor de măsurare şi control.
- **CAO** (*Computer-Aided Organization*) - are drept scop organizarea cu ajutorul calculatorului a activităților comerciale, economice, de marketing a produselor etc.

În sens larg, **CAM** (*Computer Aided Manufacturing*) înseamnă fabricație asistată de calculator, deci realizarea cu ajutorul calculatorului a pregătirii, conducerii, desfășurării și controlul procesului de fabricație. În sens restrâns, CAM realizează codificarea și transmiterea automată a unor informații cu privire la procesul de fabricație.

Utilizarea efectivă a CIM necesită, în primul rând, un nou mod de a gândi, atât din partea conducerii, cât și din partea personalului operativ. CIM nu este un obiectiv realizabil în timp scurt, el reclamând o atentă planificare și o amplă coordonare a diferitelor resurse și activități [Dan13].

2.1 Condițiile automatizării, robotizării și informatizării SFF

Sistemul flexibil de fabricație se definește ca un ansamblu de mijloace de fabricație, locuri de muncă, programe și operatori umani, cu relațiile între ele integrate, având o structură variabilă, adaptabilă la realizarea unei varietăți de sarcini de fabricație. Integrarea informațională a SFF automat se realizează prin sistemele de comandă automată ale componentelor subsistemului de prelucrare și de manipulare, interconectate prin rețelele informaționale și subordonate ierarhic sistemului de comandă [Gal08]. În concluzie, SFF-urile reprezintă ansamble de mijloace de fabricație care funcționează fără operatori umani deoarece sunt:

- mecanizate (organele de lucru sunt acționate de motoare și transmisii mecanice):
- integrate cu fluxurile de materiale prin instalațiile de aducere/de evacuare automate;
- comandate prin sisteme de comandă automate, programabile și uneori adaptive;
- integrate din punct de vedere energetic, prin conectarea la rețeaua/rețelele de furnizare a energiei (de obicei electrică, uneori pneumatică și mai rar, hidraulică);
- integrate cu sistemele de comandă ale mijloacelor de fabricație și cu sistemul de comandă al SFF prin rețeaua informațională.

Condițiile automatizării sistemului de fabricație sunt [Kov99]:

1) Mecanizarea mijloacelor de fabricație.

2) Realizarea pornirii/opririi/funcționării mijlocului de fabricație, a stărilor inițiale, a valorilor parametrilor, cât și variațiile în timp ale acestora, să fie făcută fără intervenția omului, prin sistemele de comandă.

3) Mijloacele de fabricație trebuie să fie capabile să obțină și să prelucreze informații cu privire la momentele de începere / terminare a perioadei de funcționare și la variația necesară în timp a parametrilor.

4) Corelarea funcționării componentelor sale tot prin intermediul unor mijloace tehnice (subsistemul de comandă al SFF).

Automatizarea, robotizarea și informatizarea fabricației eliberează operatorul uman de activități repetitive, fără componente de creație. Extragerea lui din procesul de fabricație contribuie la îmbunătățirea calității produselor [Li08].

2.2 Implementarea și testarea unui simulator pentru un sistem mecatronic de transfer piese

Simularea proceselor industriale este o unealtă necesară deoarece permite obținerea de informații despre funcționarea procesului. Folosind ultimele tehnologii apărute în domeniul dezvoltării de software, programele RAD (*Rapid Application Development*), este posibilă dezvoltarea rapidă de aplicații interactive. În categoria programelor RAD intră și C# și .NET Framework, tehnologii Microsoft, care permit dezvoltarea rapidă de software pentru orice domeniu. De exemplu, C# permite accesul programatorului la resursele *low level* ale sistemului, într-o modalitate sigură și robustă.

Echipa MEROB prezintă competențe în informatizarea, automatizarea și robotizarea proceselor industriale, demonstrate prin aplicațiile dezvoltate în cadrul laboratoarelor proprii sau în unele proiecte. În cadrul acestui portofoliu a fost prezentată realizarea unei aplicații care simulează un sistem mecatronic de transfer piese, condus cu automat programabil (AP), realizând o comunicare bidirecțională între un program realizat într-un limbaj de nivel înalt și o componentă hardware de nivel scăzut.

Acest sistem reprezintă un sistem de timp real, dialogul dintre cele două entități realizându-se de aproximativ 50 de ori pe secundă. În intervalele dintre comunicații, fiecare componentă a sistemului analizează datele primite și elaborează răspunsuri la ele, reacționând aproape instantaneu la schimbările produse în starea celeilalte componente.

Simulatorul realizat simulează un sistem mecatronic de transfer piese (FMS-201, Fig. 59a), existent în laboratorul de Mecatronică al Facultății de Automatică, Calculatoare și Electronică, sistem ce face parte din sistemul flexibil de fabricație SMC FMS-200 ([FMS08], [FMS12]).

Descrierea programului de simulare: Pentru realizarea aplicației de simulare s-au folosit C# ([Tru02]), .NET Framework 3.5 ([Lob03], [Tro07]) și Managed DirectX ([Jon04], [Kov00], [Mil03]). Modelele folosite de aplicație au fost realizate în 3D Studio Max. Aplicația este formată din mai multe

fișiere de cod, fiecare conținând implementarea unui obiect. Aplicația este alcătuită din nouă clase, dintre care șapte conțin logica de simulare a stației FMS și trasează fiecare câte un actuator, iar două fișiere sunt necesare pentru interacțiunea cu Windows și DirectX.

O aplicaţie de simulator de proces ce permite testarea programelor AP ce conduce procesul presupune o structură formată din (Fig. 59b): calculator ce rulează simulatorul procesului, interfaţa hardware ce permite conectarea AP la calculator, automatul programabil ce implementează programul de conducere al procesului simulat.

Testarea simulatorului pentru un sistem mecatronic de transfer piese: După realizarea simulatorului pentru sistemul mecatronic de transfer piese, condus de un AP, s-a trecut la testarea lui, ceea ce a presupus dezvoltarea unor programe de conducere pentru AP, plecând de la anumite protocoale de funcționare. Conducerea stației a fost realizată cu automatul programabil *Mitsubishi FX2N.* S-au realizat alocări de variabile specifice AP folosit pentru senzorii stației FMS-201, s-a elaborat diagrama GRAFCET ce rezultă pentru protocolul de funcționare specificat.

De asemenea, au fost obținute ecuațiile de stare, care au fost folosite pentru realizarea diagramei ladder. Programul de conducere rezultat a fost testat pe simulatorul prezentat anterior, cu rezultate foarte bune. O astfel de implementare are avantaje în testarea unor noi programe implementate pe AP respectiv, precum și în ceea ce privește depanarea acestor programe.

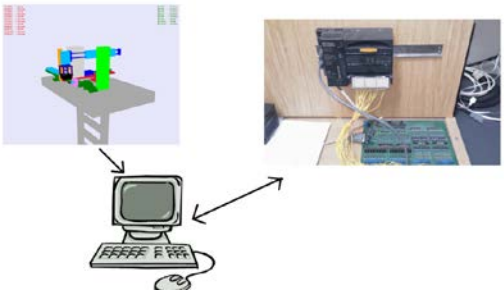
a  b 

Fig. 59. (a) Sistem mecatronic de transfer piese; (b) Structura sistemului de testare a programelor de conducere cu AP pentru un proces simulat pe un calculator

3. Sistemele automatizate / informatizate de depozitare / regăsire

Procesele industriale nu se pot informatiza fără implicarea automatizării, robotizării, respectiv utilizării sistemelor mecatronice. Direcția majoră analizată în această perioadă în cadrul subdomeniului este dedicată *Sistemelor automatizate/informatizate de depozitare/regăsire.*

Echipa MEROB a analizat și prezentat următoarele direcții:

- Soluții de depozitare și stocare în depozite automate / informatizate:
  - Depozite;
  - Depozite automate – *Automated Storage and Retrieval Systems* - ASRS (structuri de depozitare fixe și mobile, mijloace pentru servirea structurilor de depozitare, sisteme de comandă a depozitelor automate).
- Studiu privind simularea unui ASRS în industria automotive:
  - Funcționarea ASRS;
  - Simulare ASRS (realizarea unui ASRS într-o linie de asamblat automobile, ipoteze, funcționare, simulare).

Spre exemplificare, arhitectura unui sistem de comandă ASRS este prezentată în Fig. 60. Sistemul de comandă central conține un calculator "gazdă" care comunică printr-o magistrală informațională cu sistemele de comandă ale structurilor de depozit și cu cele aferente roboților de depozitare (RD). În Fig. 61 este prezentat un exemplu de funcționalitate în cadrul unui ASRS utilizat în sistemele de producție automobile (procesul de tranzacție logică și punctele de interes ale unei palete în ASRS).

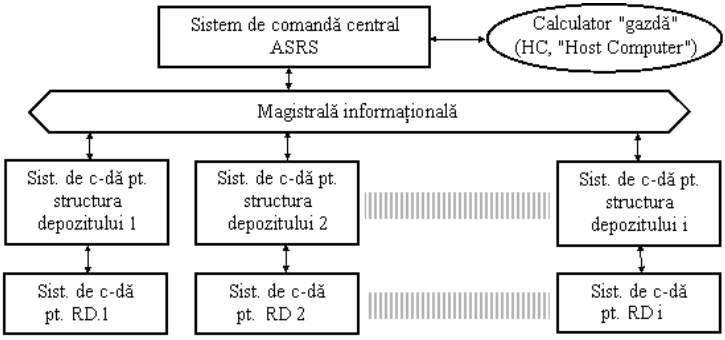


Fig. 60. Arhitectura sistemului de comandă a depozitului automat

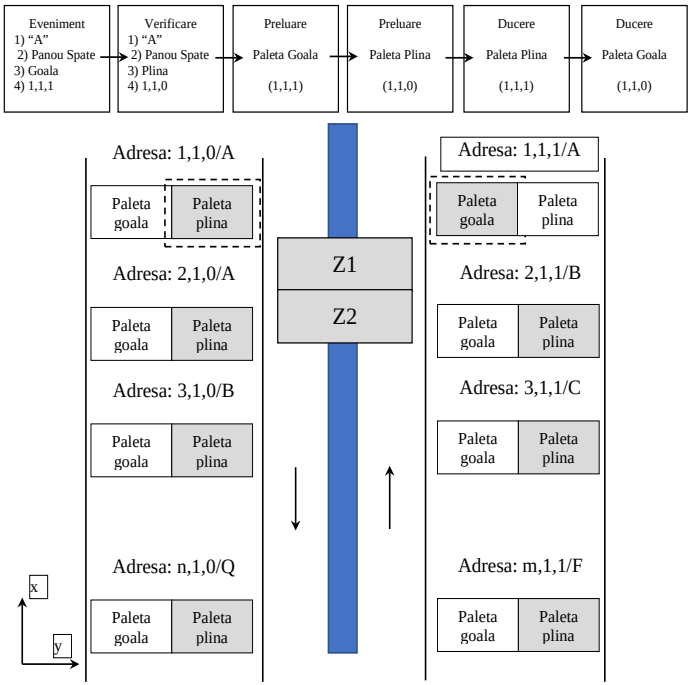


Fig. 61. Simulator software - funcționarea unui ASRS

4. Soluții automate / informatizate de transfer și sortare pentru sisteme flexibile de fabricație

Direcția majoră analizată în acest capitol în cadrul subdomeniului este dedicată *Fabricației asistate de calculator (Soluţii automate/informatizate de transfer şi sortare pentru sisteme flexibile de fabricaţie)*. Au fost analizate și prezentate următoarele subdirecții:

- Conducerea sistemelor cu automate programabile;
- Descrierea sistemelor de sortare;
- Conducerea sistemelor de sortare și transfer a caroseriilor din industria auto.

În portofoliu sunt prezentate particularitățile conducerii sistemelor cu automate programabile (AP). Cea mai favorabilă implementare a sistemelor de măsură pentru monitorizarea și controlul parametrilor electrici și/sau neelectrici din cadrul proceselor, în vederea reglării

acestora sau pentru furnizarea informațiilor unor sisteme SCADA, este una modulară: o componentă de achiziții de date din proces și o componentă de reglare, de control a parametrilor din proces. Componenta de achiziții de date poate lucra la viteze foarte mari și poate să utilizeze atât traductoare clasice cu ieșiri analogice cât și traductoare cu ieșiri seriale. Pentru transmisie se pot folosi protocoalele ASCII, ModBus, ArcNet, CANopen, DeviceNet, ProfiBus, Ethernet etc. [Cla04]. AP-ul este alcătuit dintr-o sursă de tensiune încorporată, unitatea centrală de prelucrare, intrări, la care se conectează dispozitive de intrare (cum ar fi butoane, senzori de proximitate, senzori pentru capete de cursă) și ieșiri, la care se conectează dispozitive de ieșire (motoare, relee etc.).

Sistemele de sortare sunt utilizate în medii de preparare ce necesită mișcarea unui număr relativ mic de produse comparativ cu mișcarea totală a unităților sau pachetelor ce necesită o anumită perioadă de pregătire. Capacitatea sistemelor de sortare automată garantează o clasificare rapidă a articolelor ce au fost anterior introduse în sistem, fiind utilizate în principal în distribuție și centre de transfer. Spre exemplificare, în portofoliu este prezentat și implementat un sistem de sortare a caroseriilor din industria auto. Au fost folosite trei automate programabile pentru conducerea întregului proces (Fig. 62). Au fost realizate diagramele Grafcet pentru fiecare din cele 3 subsisteme în parte (Fig. 63), au fost scrise ecuațiile de stare în variabile simbolice și apoi în variabile alocate. În final se obțin diagramele ladder (Fig. 64).

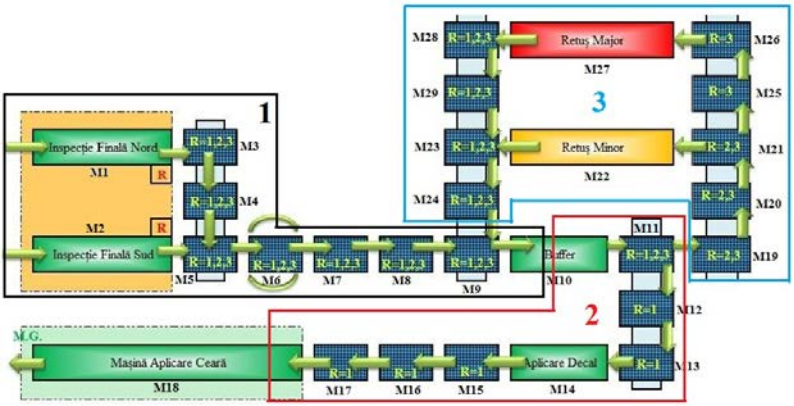


Fig. 62. Proces de sortare (cu 3 subsisteme corespunzător celor 3 AP-uri)

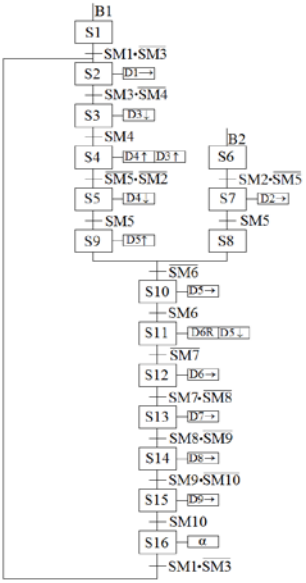


Fig. 63. Diagrama Grafcet - AP1

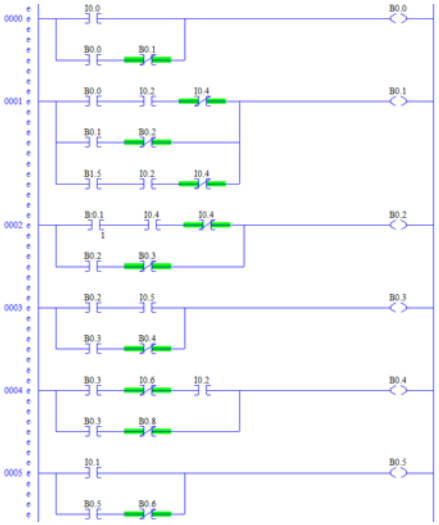


Fig. 64. Porțiune din diagrama ladder - AP1

Aceste diagrame implementate pe AP au fost testate prin simularea intrărilor și vizualizarea variabilelor corespunzătoare (stări și ieșiri). Exemplul scoate în evidentă necesitatea automatizării și robotizării proceselor, utilizării sistemelor flexibile de fabricație atât în industria constructoare de automobile cât și în celelalte industrii.

5. Soluții automate/informatizate de monitorizare, control și achiziții de date pentru sisteme flexibile de fabricație

În acest capitol sunt prezentate pe scurt ce soluții automate / informatizate de monitorizare, control și achiziții de date pentru sisteme flexibile de fabricație au fost abordate de echipa de cercetare.

SCADA este prescurtarea pentru Monitorizare, Control şi Achiziţii de Date (Supervisory Control And Data Acquisition). Termenul se referă la un sistem amplu de măsură şi control. Prin termenul SCADA se înţelege de obicei un centru de comandă care monitorizeaza şi controlează un întreg spaţiu de producţie. Cea mai mare parte a operaţiunilor se execută automat de către unitati terminale comandate de la distanţă (Remote

Terminal Unit) sau de către automate programabile (AP sau PLC – Programmable Logic Controller) [Meh17]. Funcţiile de control ale centrului de comandă sunt de cele mai multe ori restrânse la funcţii decizionale sau funcţii de administrare generală.

Dezvoltarea AP/PLC-urilor și a elementelor sistemelor SCADA a condus la posibilitatea de a realiza sisteme flexibile de fabricație automate, care permit flexibilitate și precizie, cât și monitorizarea procesului. Luând în considerare performanțele oferite de AP/PLC-uri, s-au studiat și realizat mai multe sisteme de conducere descentralizate în formulă Master-Slave, de tip SCADA. Se poate afirma că industria AP/PLC s-a dezvoltat pe trei direcții: mini/microautomate, automate compacte și echipament distribuit. În prezent se manifestă tendința de a combina structurile adaptate și fiabile ale AP/PLC cu capacitățile software ale PC-urilor. Cea mai favorabilă implementare a sistemelor de măsură pentru monitorizarea și controlul parametrilor electrici și/sau ne-electrici din cadrul proceselor, în vederea reglării acestora sau pentru furnizarea informațiilor unor sisteme SCADA, este pe structură modulară:

- o componentă de achiziții de date din proces;
- o componentă de reglare, de control a parametrilor din proces.

Componenta de achiziții de date poate lucra la viteze foarte mari și poate să utilizeze atât traductoare clasice cu ieșiri analogice cât și traductoare de ultimă generație cu ieșiri seriale. Pentru transmisie se pot folosi protocoalele ASCII, ModBus, ArcNet, CANopen, DeviceNet, ProfiBus, Ethernet etc.

SCADA reprezintă tehnologia care permite unui utilizator să colecteze date de la unul sau mai multe elemente/instalații/procese aflate la o anumită distanță și să trimită instrucțiuni de control/comenzi către aceste elemente/instalații/procese [Kru05].

Elementele SCADA. Cele 3 componente principale sunt (Fig. 65):

- Stația master MTU (Master Terminal Unit) și unitatea HMI (Human-Machine Interface).
- Mai multe unități „slave” RTU (Remote Terminal Unit) (Fig. 66).
- Infrastructura de comunicație (Protocoalele SCADA de bază: Modbus, RP-570, Conitel; Protocoalele standard: IEC 60870-5-101 sau 104, Profibus și DNP3).

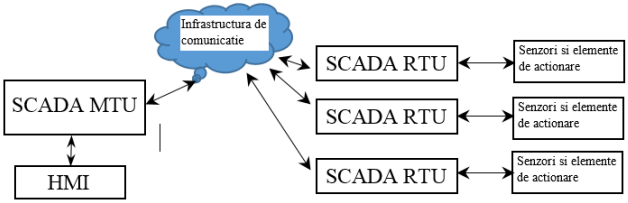


Fig. 65. Elementele unui sistem SCADA

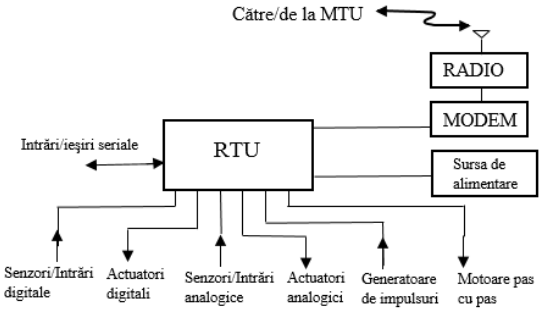


Fig. 66. O unitate RTU (Remote Terminal Unit)

Deși sistemele SCADA limitează controlul care poate fi exercitat de către MTU, ele totuși permit controlul. Partea "supervizoare" a SCADA și comunicația limitată sau intermitentă dintre unitatea MTU și unitățile RTU disting SCADA de alte sisteme de control precum DCS (Distributed Control System). Se preconizează că sistemele SCADA viitoare vor avea conexiune continuă de bandă largă între MTU și RTU. În acest caz se preconizează că sistemul nu va fi un sistem SCADA, ci va fi un DCS foarte mare.

Soluţii SCADA de control şi monitorizare pentru sisteme flexibile de fabricaţie. Au fost analizate și propuse soluții SCADA tipice furnizate de Omron, precum și un sistem SCADA pentru un sistem flexibil de fabricaţie.

CX-Programmer și CX-Supervisor reprezintă nucleul unei aplicații SCADA, folosind echipamente Omron. Datorită interoperabilității dintre cele două programe, aplicațiile sunt ușor de dezvoltat, conexiunile, atât între dispozitive cât și între programe sunt gestionate automat de componenta CX-Server. Partea de interfață a aplicației SCADA este creată în CX-Supervisor, iar baza de date este de asemenea inclusă în CX-Supervisor [OMR14].



Fig. 67. Procese mecatronice

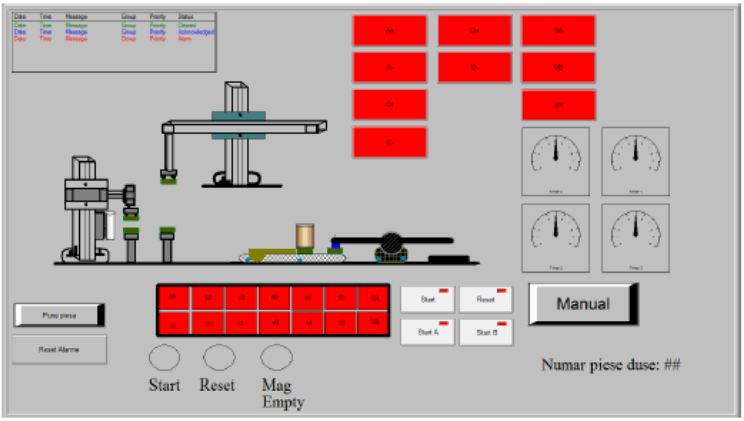


Fig. 68. Interfața operator pentru aplicația dezvoltată

Pentru două sisteme distincte din propriul laborator s-a dezvoltat un sistem SCADA format dintr-un calculator pe care a rulat interfața operator dezvoltată și două automate programabile Omron CP1L-E cu rol de RTU. Cele două AP-uri conduc două procese mecatronice (Fig. 67) ce pot face parte dintr-un SFF. Cu ajutorul software-ului CX-Supervisor a fost dezvoltată o interfață operator pentru ambele sisteme mecatronice (Fig. 68). Pe lângă partea de monitorizare, cu ajutorul interfeței se pot controla procesele, gestiona alarmele și se pot achiziționa date în timp real despre procesul condus.

6. Soluții automate / informatizate de control pentru procese

Creșterea performanțelor și asigurarea competitivității presupune automatizare, robotizare, informatizare, utilizarea unor sisteme flexibile de fabricație, SCADA. În această etapă au fost abordate soluții automate/informatizate de control pentru sisteme/procese. În portofoliu au fost prezentate aspecte privind soluții automate/informatizate de control care pot rezolva necesitățile firmelor partenere din contractele subsidiare de tip D. În portofoliu au fost abordate următoarele subdirecții:

- *Conducerea sistemelor/proceselor cu automate programabile*
- *Interfațarea automatelor programabile cu procesul condus*
- *Interconectarea automatelor programabile*
- *Conducerea sistemelor de către AP master/slave*

Conducerea sistemelor/proceselor cu automate programabile. Automatele programabile (acronim AP sau PLC – Programmable Logic Controller) sunt echipamente electronice destinate automatizării proceselor industriale cu caracter preponderent secvențial. AP-urile au performanţe tehnico-economice ridicate datorită capacităţii sporite de prelucrare a datelor, flexibilităţii în adaptarea la cerințele procesului de condus și la modificări post instalare, simplităţii în programare [Pop01].

Dezvoltarea AP/PLC-urilor a condus la posibilitatea de a conduce diverse sisteme, procese, de a realiza sisteme flexibile de fabricație automate, care permit flexibilitate și precizie, cât și monitorizarea procesului. Luând în considerare performanțele oferite de AP/PLC, s-au studiat și realizat mai multe sisteme de conducere descentralizate în formulă Master-Slave, sau monobloc. În ultimii ani, și în cadrul sistemelor de control se pune din ce în ce mai mult accent pe lucrul în rețea, pe comunicarea sistemele de control (automatele programabile) între ele sau cu alte sisteme (de exemplu calculatoare).

Programarea AP/PLC este un domeniu în plină dezvoltare, absorbind tehnologii software dezvoltate pentru PC-uri. Astfel de pildă, protocoale de comunicație utilizate în domeniul calculatoarelor au fost preluate, modificate, adaptate și în domeniul AP. Pe de altă parte, programarea unui sistem de control rămâne o activitate laborioasă, care solicită un grad înalt de cunoaștere detaliată a etapelor procesului condus, iar modificarea unui program existent nu este o activitate facilă [Hac04].

Interfațarea automatelor programabile cu procesul condus. Conectarea unui AP la un proces industrial, instalație tehnologică sau robot se realizează prin intermediul unor circuite de interfață intrare/ieșire ce asigură compatibilitatea în tensiune și putere a semnalelor transmise. Interfața AP cu procesul condus este constituită din sistemul intrărilor și al ieșirilor analogice și numerice.

Interconectarea automatelor programabile. În ultimii ani a crescut importanța comunicațiilor dintre echipamentele industriale și această tendință va continua în scopul creșterii productivității. Astfel, diferite echipamente independente cum ar fi mașinile unelte cu CN, sistemele de transfer, manipulatoarele etc. sunt integrate într-un sistem de fabricație complet. Existența unor SFF dedicate constituie bazele dezvoltărilor ulterioare în domeniile MIS ("management information system") și CIM ("computer integrated manufacturing"). Au fost abordate concepte ca:

- Standardele RS232 și RS422/423
- Module de comunicații pentru AP
- Comunicația între mai multe AP
- Tipuri de rețele (Rețele tip bus, Rețele particulare)

Conducerea sistemelor de către automate programabile master/slave. Echipa MEROB are experiență în conducerea sistemelor cu ajutorul AP, exemplificând aici, pe scurt, conducerea unui SFF prin intermediul AP-urilor ce lucrează în relația master - slave. Sistemul flexibil de fabricație FMS-200 (Fig. 69) este un echipament flexibil ce permite modularea realistă a proceselor industriale de transfer și asamblare, ducând la o dezvoltare completă în înțelegerea și aplicarea competențelor solicitate de industrie. Sistemul este un SFF care realizează procesul de asamblare a unui mecanism de rotație. Au fost analizate sistemul de transfer, automatele programabile Mitsubishi FX2N-32MR, protocolul de funcționare, alocările pentru variabilele de intrare și de ieșire folosite pentru stații, iar pe baza acestora au fost realizate diagramele Grafcet pentru fiecare din subsisteme în parte (de exemplu, diagrama Grafcet pentru subsistemul 2 - FMS 208 de manipulare și depozitare este prezentată în Fig. 70), ecuațiile de stare corespunzătoare și diagramele ladder ce rezultă în urma implementării ecuațiilor de stare, editate folosind mediul de dezvoltare specific AP Mitsubishi FX2N ([FMS08], [FMS12]).



Fig. 69. Sistemul flexibil de fabricație FMS-200

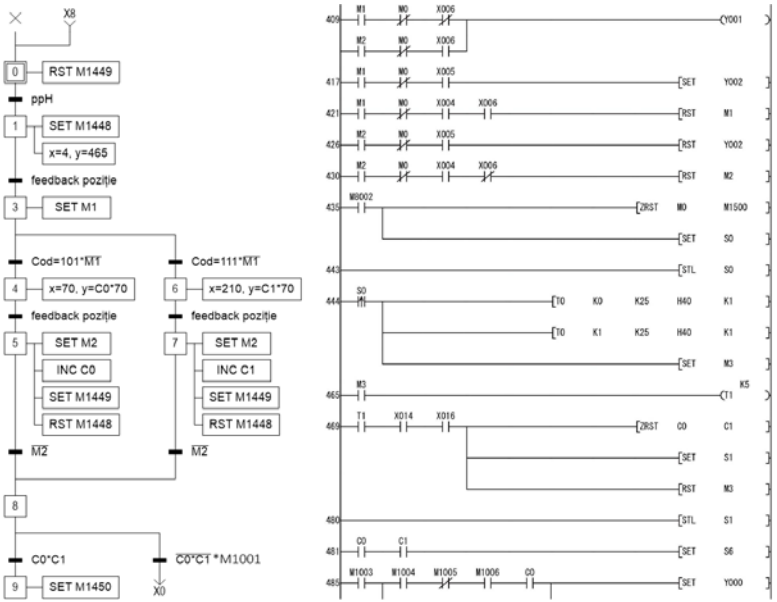


Fig. 70. Diagrama Grafcet și o porțiune din diagrama ladder pentru subsistemul 2

În concluzie, în cadrul sistemelor de control se pune din ce în ce mai mult accent pe lucrul în rețea, pe comunicarea sistemelor de control între ele sau cu alte sisteme. Această prezentare scoate în evidență utilizarea AP într-o rețea de tip Master-Slave, propunând o soluție de conducere pentru sisteme ce se pot regăsi în variante similare în industria românească. Abordarea propusă permite conducerea pe bază de AP care lucrează cooperativ. Exemplul scoate în evidență necesitatea utilizării sistemelor de conducere conectate în rețea, informatizarea SFF, ceea ce poate determina creșterea productivității muncii, creșterea eficienței și a profitului.

Bibliografie

[Alb82] Albrecht P., Vollstedt W. Microcomputer control of a variable speed double-fed induction generator operating on the fixed frequency grid, *Conference on Microelectronics in Power Electronics and Electrical Drives*, Darmstadt , pp. 363-8, 1982.

[Ast96] Åström K.J., Wittenmark B. *Computer-Controlled Systems - Theory and Design*, Prentice-Hall, 1996.

[Bak75] Baker R.H. *Electric Power Converter*, U.S.Patent 3 867 643, Feb. 1975.

[Bas90] Bastin G., Dochain D., *On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors*, Elsevier, Amsterdam, 1990

[Bat02] Batstone D.J. *et. al.* The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1), *Water Sci. & Technology*, 45(10), pp. 65-73, 2002.

[Bha80] Bhagwat P., Stefanovic V.R. Generalized structure of a multilevel PWM inverter, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, p. 761, 1980.

[Bis02] Bishop R.H., (Editor-in-Chief). *The Mechatronics Handbook*, CRC Press, New York, 2002.

[Cat08] Catrina, D. s.a. *Sisteme flexibile de producţie*, MatrixRom, București, 2008.

[Chi12] Chin C.S. *Computer-Aided Control Systems Design: Practical Applications Using MATLAB® and Simulink®*, CRC Press, 2012.

[Chr05] Chryssolouris G. *Manufacturing Systems – Theory and Practice*, 2nd edition, New York, Springer Verlag, 2005.

[Chu75] Chua L.O., Lin P.M. *Computer-aided analysis of electronic circuits – algorithms and computational techniques*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.

[Cla04] Clarke G., Reynders D. *Practical Modern SCADA Protocols - DNP3, 60870.5 and Related Systems*, Newnes, 2004.

[Con11] Conrad J.M., Dean A.G. *Embedded Systems, An Introduction Using the Renesas RX62N Microcontroller*, Micrium, 2011.

[CSA17] *Cloud Security Alliance, Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing v4.0*, 2017, disponibil on-line la adresa https://cloudsecurityalliance.org/downloads/security-guidance-v4/

[Dan13] Dan Z., Gao Z. (Eds.). *Recent Developments in Manufacturing Robotic Systems and Automation*, Bentham eBooks, Bentham Science Publ., 2013.

[Doc01] Dochain D., Vanrolleghem P. *Dynamical Modelling and Estimation in Wastewater Treatment Processes*, IWA Publ., 2001.

[Dum09] Dumitrache I., Marin C. *Proiectarea sistemelor de reglare automată*, Cap. 9, Automatica (Ed. I. Dumitrache), Editura Academiei Române, 2009.

[Dum13] Dumitrache I., Petre E., Feştilă C. *Sisteme adaptive*, Cap. 24, Automatica (Ed. I. Dumitrache), Editura Academiei Române, București, 2013.

[Flo07] Floricau D., Gateau G., Dumitrescu M., Teodorescu R. A New Stacked NPC Converter: 3L-topology and control, *12th European Conference on Power Electronics and Applications – EPE 2007*, Aalborg, Denmark, 2007.

[FMS08] *FMS-200 User Manual*, 2008.

[FMS12] *FMS-200 International Training*, English Manual, 2012.

[Gal08] Galitsky C., Worrell E., *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Vehicle Assembly Industry*, Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL-50939-Revision), 2008.

[Gal13] Galloway B., Hancke G.P. *Introduction to Industrial Control Networks*, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2013.

[Hac04] Hackworth J.R., Hackworth F.D. *Programmable Logic Controllers*, Pearson Ed., 2004.

[Ioa96] Ioannou P., Sun J. *Robust Adaptive Control*, Prentice-Hall, 1996.

[Ior10] Iordache M., Mandache L., Niculae D. *Analiza asistată de calculator a senzitivităţilor şi toleranţelor circuitelor analogice*, Ed. MatrixRom, Bucureşti, 2010.

[ISM13] *ISO/IEC 27001:2013 Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements*, 2013, disponibil on-line la adresa https://www.iso.org/isoiec-27001-information-security.html

[Iva07] Ivanov S. *Modelare și simulare. Sisteme electromecanice, procese de mediu*. Editura Universitaria, Craiova, 2007.

[Iva98] Ivanov S., Popescu M., Ivanov V., Dobriceanu M. Vector control of the induction motor: the influence of the type of the inverter on the static and dynamic performances. *Conferința Națională de Acționări Electrice, CNAE'98*, Craiova, România, pp. 133-138, 1998.

[Jon 04] Jones W. *Beginning DirectX 9*, Premier Press, 2004.

[Kov00] Kovach P.J., *Inside Direct3D*, Microsoft Press, 2000.

[Kov99] Kovacs Fr., Tusz Fr., Varga St. *Fabrica viitorului*, Ed. Multimedia International, 1999.

[Kru05] Krutz R.L. *Securing SCADA Systems*, Wiley Publishing, 2005.

[Kun06] Kun-Lin Hsieh. The study of cost-tolerance model by incorporating process capability index into product lifecycle cost, *The Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, Springer, 28, pp. 638-642, 2006.

[LAB00] *LabVIEW Measurements Manual*, National Instruments, SUA, 2000.

[Li08] Li J., Blumenfeld D.E., Marin S.P. Production System Design for Quality Robustness, *IEE Transactions*, 40, pp. 162-176, 2008.

[Lin92] Lin P.M. Sensitivity analysis of large linear networks using symbolic programs, *Proceedings of The IEEE International Symposium on Circuits and Systems ISCAS '92*, 3, pp. 1145-1148, 1992

[Liu03] Liu W., Song Q., Xie X., Chen Y., Yan G. 6 kV/1800 kVA medium voltage drive with three-level NPC inverter using IGCTs, *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, APEC '03. Eighteenth Annual IEEE, 2003.

[Lju87] Ljung L. *System Identification, Theory for the User*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1987.

[Lob03] Lobao A.S., Hatton E. *NET Game Programming with DirectX 9.0*, Apress, 2003.

[Lur11] Lurie B., Enright P. *Classical Feedback Control: With MATLAB® and Simulink®*, CRC Press, 2011.

[Mar05] Marin C. *Structuri şi legi de reglare automată*, Ed. Sitech, Craiova, 2005.

[MAT14] *MATLAB User's Guide*. The Mathworks Inc., USA, 2007, 2014.

[Meh17] Mehra R., Vij V. *PLCs & SCADA - Theory and Practice*, Laxmi Publ., 2017.

[Mil03] Miller T. *Managed DirectX® 9 Kick Start: Graphics and Game Programming*, Sams Publishing, 2003.

[NID01] *NI-DAQ User Manual*, National Instruments, SUA, 2001.

[NIS11] *NIST formalizes cloud computing definition, issues security and privacy guidance - CSO Online - Security and Risk*, 2011, disponibil on-line la adresa https://www.csoonline.com/article/2126937/data-protection/ nist-formalizes-cloud-computing-definition--issues-security-and-privacy-guidance.html

[Niț97] Nițulescu M. *Sisteme flexibile de fabricaţie*, Editura SITECH, Craiova, 1997.

[OMR14] *OMRON, CX-Supervisor – Manuals*, 2014.

[Pet13a] Petre E., Selişteanu D., Şendrescu D. Adaptive and robust-adaptive control strategies for anaerobic wastewater treatment bioprocesses, *Chemical Engineering Journal*, Elsevier, 217, pp. 363-378, 2013,

[Pet13b] Petre E., Selişteanu D. A multivariable robust-adaptive control strategy for a recycled wastewater treatment bioprocess, *Chemical Engineering Science*, Elsevier, 90, pp. 40-50, 2013.

[Pet15] Petre E., Tebbani S., Selişteanu D. Robust-Adaptive Control Strategies for a Time Delay Bioelectrochemical Process Using Interval Observers, *Asian Journal of Control*, Wiley, 17(5), pp. 1767-1778, 2015.

[Pop01] Popescu D. *Automate programabile*, Ed. Sitech, 2001.

[Rap05] Rapaport A., Dochain D. Interval observers for biochemical processes with uncertain kinetics and inputs, *Math. Biosci*., 193(2), pp. 235-253, 2005

[Rod02] Rodriquez J., Lai J.-S., Peng F.Z. Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications, *IEEE Trans. on Ind. Electronics*, 49, pp. 724-738, 2002.

[RST17] *Raport Ştiinţifico-Tehnic*, proiect ADCOSBIO, Universitatea din Craiova, 2017.

[Sel10] Selişteanu D., Ionete C., Petre E. *Instrumentaţie virtuală. Aplicaţii de prelucrare numerică a semnalelor*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2010.

[Sel18] Selişteanu D., Popescu I.M., Petre E. Roman M., Şendrescu D., Popa B. *Distributed control systems for a wastewater treatment plant: Architectures and advanced control solutions*, Chapter 9, in: Wastewater and Water Quality, InTech Pub. (Taner Yonar Ed.), pp. 153-181, 2018.

[Şen13] Şendrescu D. *Metode şi algoritmi pentru identificarea parametrică a sistemelor*, Editura Universitaria, 2013.

[Sta08] Stallings W., Brown L. *Computer Secrurity: Principles and Practice*, 1st edition, Prentice Hall, Pearson Education Books, 2008.

[Tro07] Troelsen A. *Pro C# 2008 and the .NET 3.5 Platform*, Apress, 2007.

[Tru02] Turtschi A., Werry J., Hack G., Albahari J., Nandu S., Meng Lee W. *C# .NET*, Syngress Publishing, 2002.

[Vas98] Vas P. *Sensorless Vector and Direct Torque Control*, Clarendon Press, Oxford, 1998.