POC
Axa 1 Cercetare, dezvoltare tehnologică şi inovare (CDI) în sprijinul competitivităţii economice şi dezvoltării afacerilor
Acţiunea: 1.2.3 Parteneriate pentru transfer de cunoştinţe
Denumire Proiect: CERCETĂRI ŞI TRANSFER DE CUNOŞTINTE ÎN DOMENIUL TEHNOLOGIILOR ŞI INSTRUMENTELOR SOFTWARE PENTRU INFORMATIZAREA PROCESELOR INDUSTRIALE - TISIPRO
ID / Cod My SMIS: P_40_416 / 105736
Nr. Contract: 61/05.09.2016

PORTOFOLIU INTERMEDIAR DE COMPETENȚE ȘI EXPERTIZE FORMULAT DE ECHIPA DE IMPLEMENTARE

Perioada: 01.03.2018-31.05.2018

- Rezumat -

În cadrul activității **A. Stimularea transferului de cunoștințe**, sub-activitatea A.1 Identificarea și formularea ofertei de expertiză și rezultate, a fost continuată formularea portofoliilor 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).

Domeniile și echipele de lucru sunt următoarele:

I. Domeniul Știința calculatoarelor și tehnologia informației

Conf. dr. ing. Elvira POPESCU

Șef lucr. dr. ing. Ion-Eugen GANEA

Șef lucr. dr. ing. Marius-Adrian MARIAN

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

Prof. univ. dr. ing. Iuri-Sergiu IVANOV

Prof. univ. dr. ing. Lucian MANDACHE

Asist. univ. dr. ing. Constantin ȘULEA-IORGULESCU

V. Domeniul Sisteme automate, subdomeniul Robotică și Mecatronică

Prof. univ. dr. ing. Dorin POPESCU

Prof. univ. dr. ing. Dan SELIȘTEANU

Șef lucr. dr. ing. Ion-Marian POPESCU

I. Domeniul Știința calculatoarelor și tehnologia informației

Subdomeniul: Proiectarea unor infrastructuri de securitate și serviciilor / mecanismelor de securitate asociate

Subdomeniul: Servicii informatice în nor (cloud)

Competențele și expertizele prezentate și dezvoltate sunt corelate cu obiectivul general al proiectului TISIPRO: *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. Direcțiile abordate în această etapă au fost dedicate prezentării unor metode de asigurare a securității sistemelor de control industriale și a unor sisteme și tehnologii pentru învățarea la locul de muncă. Aceste direcții sunt de interes pentru contractul de cercetare subsidiară de tip D ce se va derula cu SC Centrul de Calcul SA Tg. Jiu.

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. 1). 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 care poate prezenta 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.).

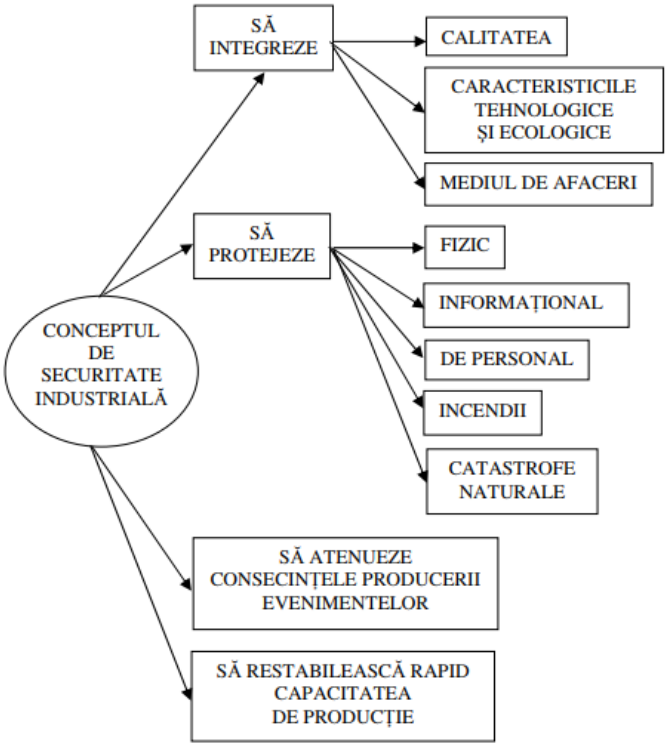


Fig. 1. Conceptul de securitate industrială

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;

- 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 atacatori, 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.

O direcție complementară în care echipa de cercetare oferă expertiză este cea legată de învățarea la locul de muncă (*workplace learning*), prin care se poate asigura transferul de competențe și pregătirea profesională în cadrul companiei. Pot fi astfel realizate instrumente software educaționale aplicabile direct în mediul industrial specific, temă de interes pentru potențialii parteneri. Se pot crea platforme online pentru facilitarea învățării și comunicării între angajați, care oferă experiențe de învățare și conținuturi utile.

Soluțiile de e-learning, bazate pe utilizarea tehnologiilor informației și comunicațiilor, sunt din ce în ce mai folosite în învățarea la locul de muncă, datorită costurilor reduse, a flexibilității și a livrării de conținut exact atunci când este necesar (*just-in-time delivery*). Există o serie de tehnologii emergente care au început să fie utilizate în învățarea la locul de muncă: sisteme de gestiune a conținutului educațional, tehnici de adaptare și personalizare, instrumente social media, dispozitive mobile, simulări pe calculator, platforme de realitate virtuală și augmentată, tehnici de analiză a datelor educaționale.

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

Atingerea obiectivului TISIPRO se va concretiza prin obținerea unor instrumente software aplicabile direct în mediul industrial specific. În etapa curentă a fost dezvoltată următoarea direcție majoră a portofoliului de competențe și expertize:

- 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 matematic cu o structură impusă apriori. Printre aceste metode se pot menționa:

- estimarea recursivă a parametrilor (după criteriul celor mai mici pătrate sau al variației 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***.

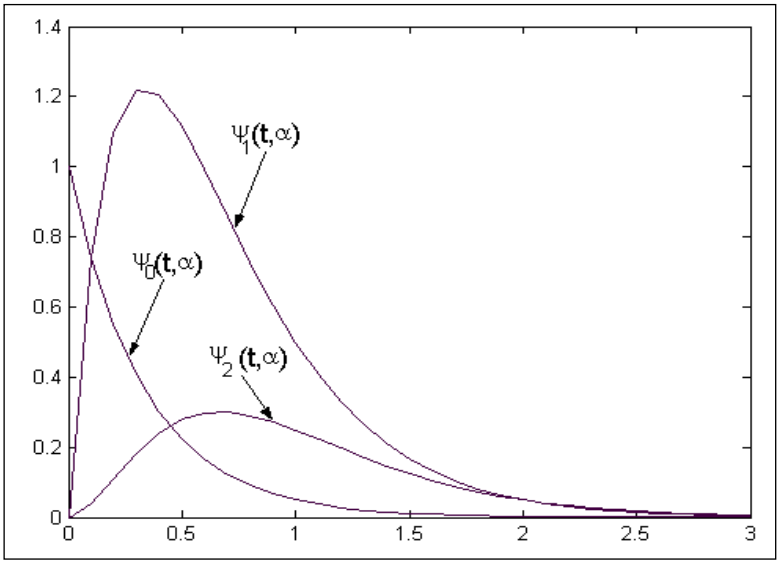


Fig. 2. Nucleul $\psi_j(t,\alpha)$

Momentul ponderat *j* apare ca o funcțională reală a unei funcții *f*: $m_j^{\alpha}(f)=\int_0^{\infty}\psi_j(t,\alpha)\,f(t))dt$, cu nucleul $\psi_j(t,\alpha)=\frac{(-t)^j}{j!}w(t,\alpha)$. Spre exemplificare, nucleul $\psi_j(t,\alpha)$ reprezentat în Fig. 2 prin câteva valori *j*, realizează o ponderare externă la momentul de timp $t_j=\frac{j}{\alpha}$, $j\geq 0$, 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 $n,m,b^{\alpha}{}_k,a^{\alpha}{}_k$ obținute din identitatea (3).

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

Echipa de cercetare oferă expertiză întreprinderilor pentru realizarea de servicii și soluții noi/îmbunătățite sub forma unor instrumente software pentru implementarea driverelor de conectare la DCS-ul (*Distributed Control System*) specific întreprinderii. Mai precis, în cadrul acestei direcții 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 National Instruments, lider în domeniul soluțiilor hardware și software de achiziții de date - LabView/LabWindows CVI).

Preliminând încheierea în perioada următoare a unor contracte subsidiare de tip D cu firmele *SC Compania de Apă Oltenia SA* și *Centrul Energetic Oltenia – Rovinari*, în portofoliul de expertize și competențe 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

Echipa de cercetare are expertiză în domeniul soluțiilor de monitorizare, achiziții de date și control în stațiile 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], se vor propune 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.

Stația de epurare Calafat a fost dimensionată pentru prelucrarea unui debit mediu zilnic de 8366m^3/zi și un debit maxim orar de 530m^3/h. A fost realizată descrierea fluxului tehnologic (treapta mecanică, treapta biologică) și a buclelor de reglare primare. Spre exemplificare, în Fig. 3 sunt prezentate câteva dintre buclele de reglare din stația de epurare. Soluția DCS - SCADA/HMI pentru Stația de epurare Calafat, organizată ca sistem distribuit și ierarhizat de control automat și prelucrare a informației este prezentată în Fig. 4. *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.

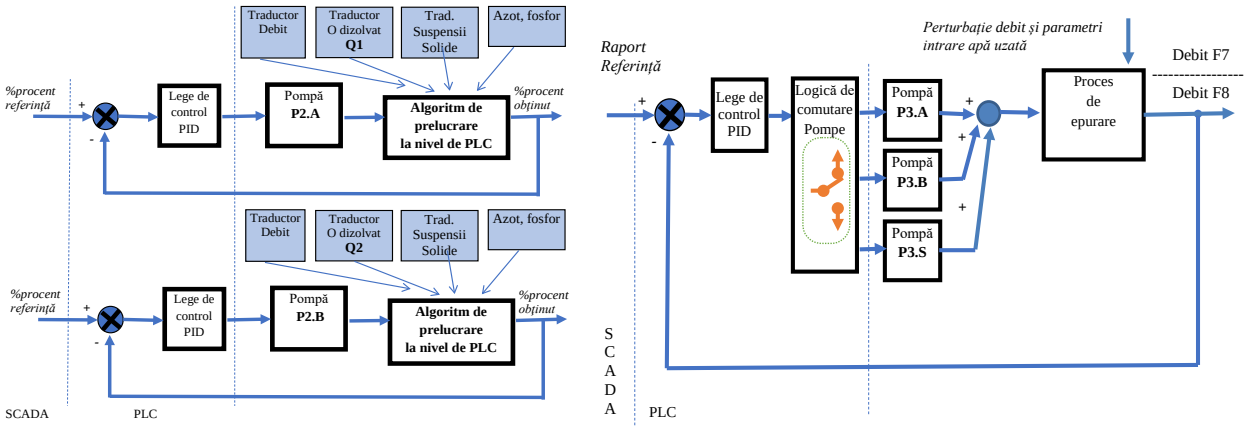


Fig. 3. Bucle de reglare debit de recirculare (stânga) și bucla de reglare a raportului debit nămol activ/debit apă uzată la intrare stație (dreapta)

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.

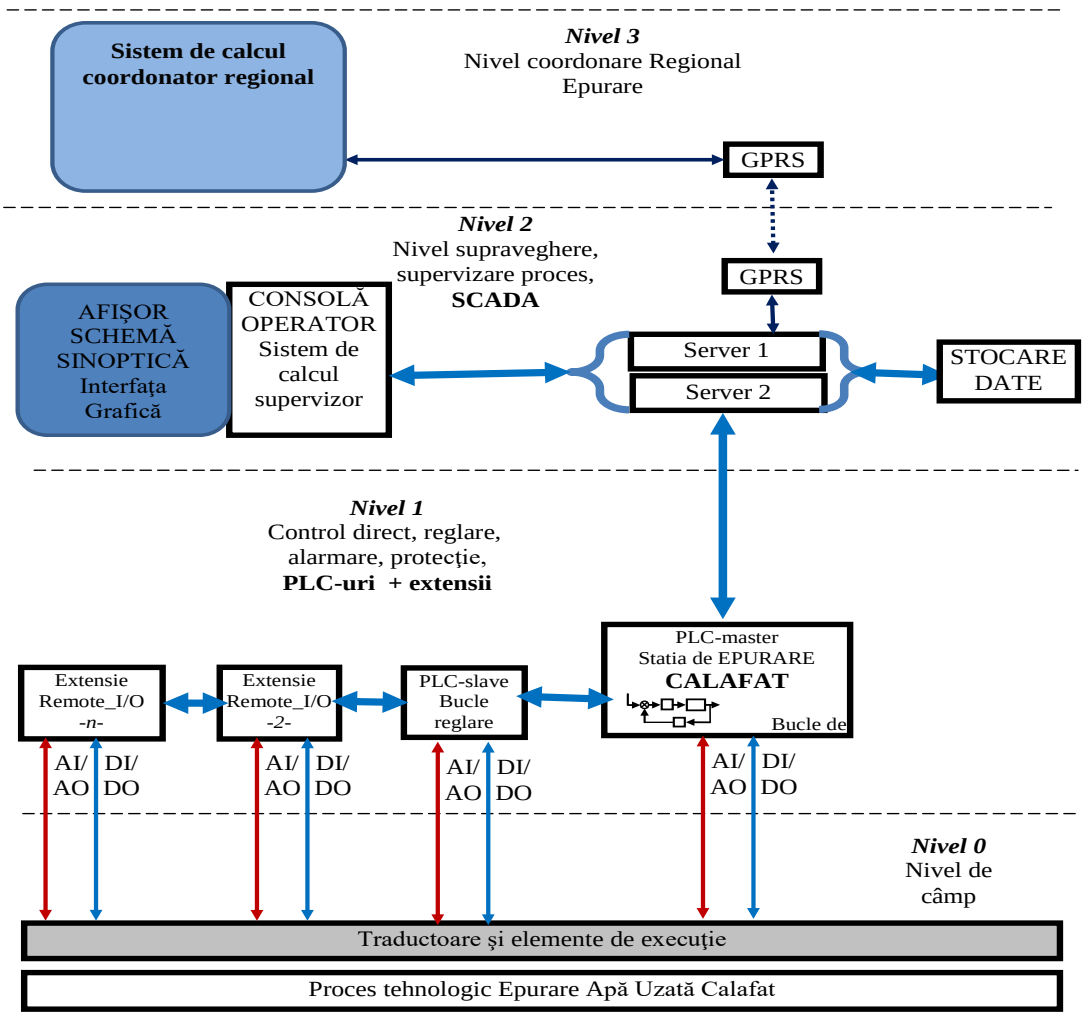


Fig. 4. Sistem de control distribuit și ierarhizat structurat pe 4 niveluri – Stația de epurare Calafat [ADCOSBIO2017]

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 (proporțional - integrator - derivator) sau elemente de tip PID care, în majoritatea situațiilor, satisfac cerințele tehnice impuse sistemelor de reglare convențională. Prin utilizarea acestor legi tipizate de reglare în cadrul unor regulatoare tipizate, 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 rezultate în urma proiectării analitice a sistemului.

Forma discretă a legilor de tip PID. Dându-se o lege continuă de tip PID se pune problema determinării unui model pur discret care să aproximeze în momentele de eșantionare comportarea sistemelor continuale. Pentru *discretizarea regulatorului continuu* se poate folosi orice metodă, dar modalitatea de discretizare cea mai simplă și mai directă a legilor de reglare este metoda substituției Tustin. 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:

$$\begin{cases} y_p(k) = K_p\, u(k) \\ y_I(k) = y_I(k-1) + \dfrac{T_e}{2T_i}\big(u(k)+u(k-1)\big) \\ y_{D_r}(k) = \dfrac{2T_g - T_e}{2T_g + T_e} y_{D_r}(k-1) + \dfrac{2T_d}{2T_g + T_e}\big(u(k)-u(k-1)\big) \end{cases} \tag{4}$$

Atunci când se utilizează elemente de reglare de tip PI sau I trebuie evitat fenomenul de wind-up.

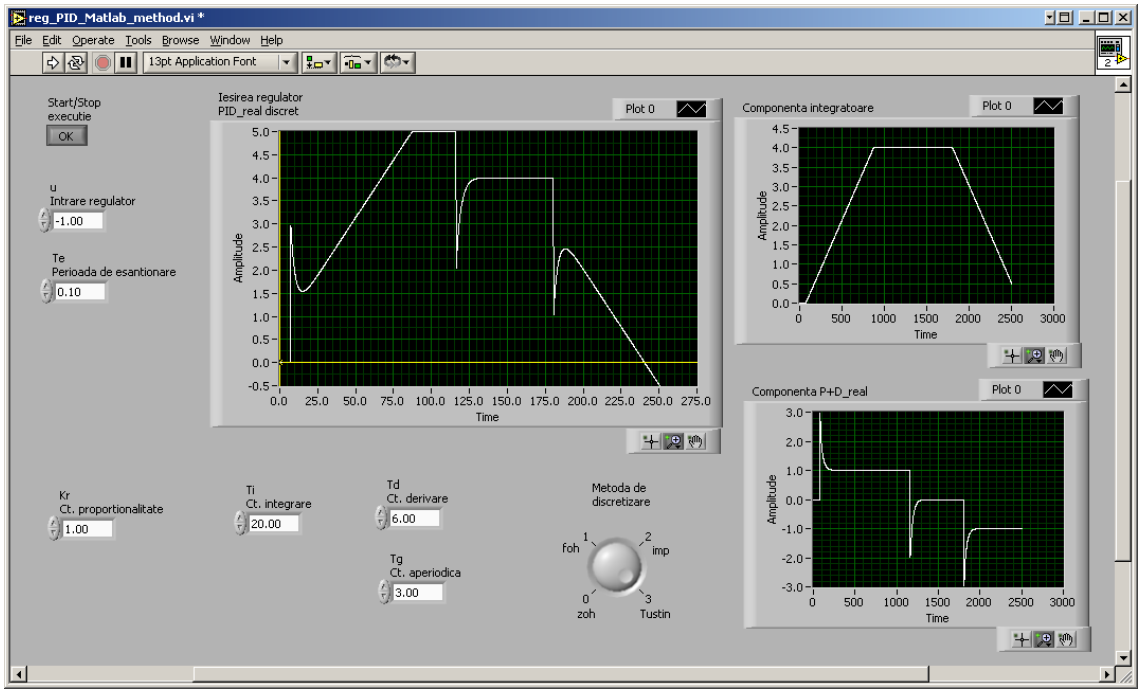
Au fost realizate două tipuri de implementări software:

- Implementarea algoritmilor tip PID_{real} în LabVIEW cu Formula Node

- Implementarea algoritmilor tip PIDreal în LabVIEW cu MATLAB Script (Fig. 5)

MATLAB este limbajul științific unanim recunoscut atât în mediile inginerești cât și în cele academice. Din ce în ce mai mulți producători de software integrat apelează la facilități de înglobare de cod MATLAB în mediile proprii de programare.

Obiectul *MATLAB Script* 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. Variabilelor de intrare și de ieșire, reprezentate pe marginile stânga-dreapta ale obiectului, le vor corespunde controale și indicatoare în LabVIEW.



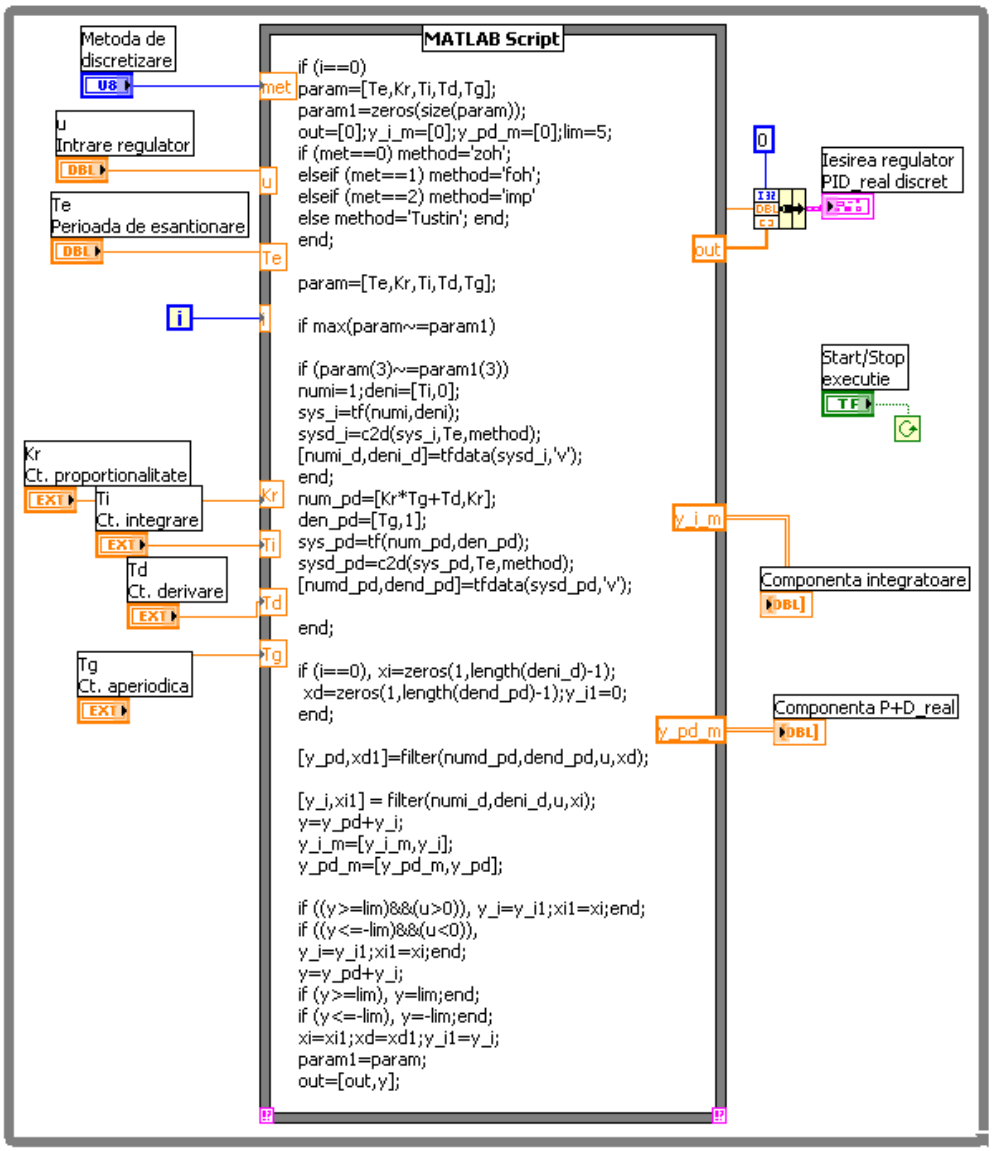


Fig. 5. Panoul frontal și Diagrama regulatorului PID_real discret cu *MATLAB Script*

IV. Domeniul Software aplicativ pentru Ingineria electrică, **Subdomeniile:** Sisteme de acționare, Energetică și Proiectare asistată de calculator

Obiectivul TISIPRO este *creșterea interacțiunii Universității din Craiova cu mediul industrial,* bazată pe facilitarea accesului întreprinderilor la expertiza științifică și infrastructura de cercetare a Universității din Craiova, în scopul transferării rezultatelor de cercetare către întreprinderile industriale. Atingerea acestui obiectiv se va concretiza prin obținerea unor instrumente software specifice pentru Ingineria electrică, cu posibile aplicații contractuale la SC Indaeltrac SRL Craiova, SC Reloc SA Craiova.

Direcția majoră din această etapă este centrată pe ***simularea mașinilor asincrone alimentate cu invertoare de tensiune***.

În vederea simulărilor care preced realizarea unui model experimental aferent sistemelor de comandă pentru acționări electrice cu motoare asincrone, este esențială sintetizarea semnalelor de tensiune modulate în durată, care formează sisteme trifazate simetrice. Astfel, a fost propusă schema de simulare Simulink din Fig. 6, care conține:

- Blocul mărimilor de intrare (B1): referința de timp, frecvența de comandă, frecvența de comutație, raportul tensiune/frecvență pentru evitarea saturației mașinii asincrone, fazele inițiale ale sistemului trifazat de tensiuni;
- Blocul de sintetizare al semnalului purtător de formă triunghiulară și frecvența egală cu frecvența de comutație a invertorului de tensiune (B2);
- Blocul de sintetizare al semnalului de comandă, de formă sinusoidală și frecvență egală cu frecvența fundamentală de la ieșirea invertorului de tensiune (B3);
- Blocul de sintetizare al semnalului modulat în durată (B4);
- Blocul de conversie al semnalului modulat în durată în unde de tensiune care formează sistemul trifazat (B5);
- Blocul de măsură a tensiunilor și curenților pentru o sarcină trifazată echilibrată cu caracter inductiv (B6).

Pentru studiul sistemului complet al unui sistem de acționare cu motor asincron, în schema de simulare din Fig. 6 sarcina inductivă a fost înlocuită cu modelul unui motor cu rotor în scurtcircuit cu parametrii nominali160kW/400V/50Hz/1487rpm (Fig. 7). 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.

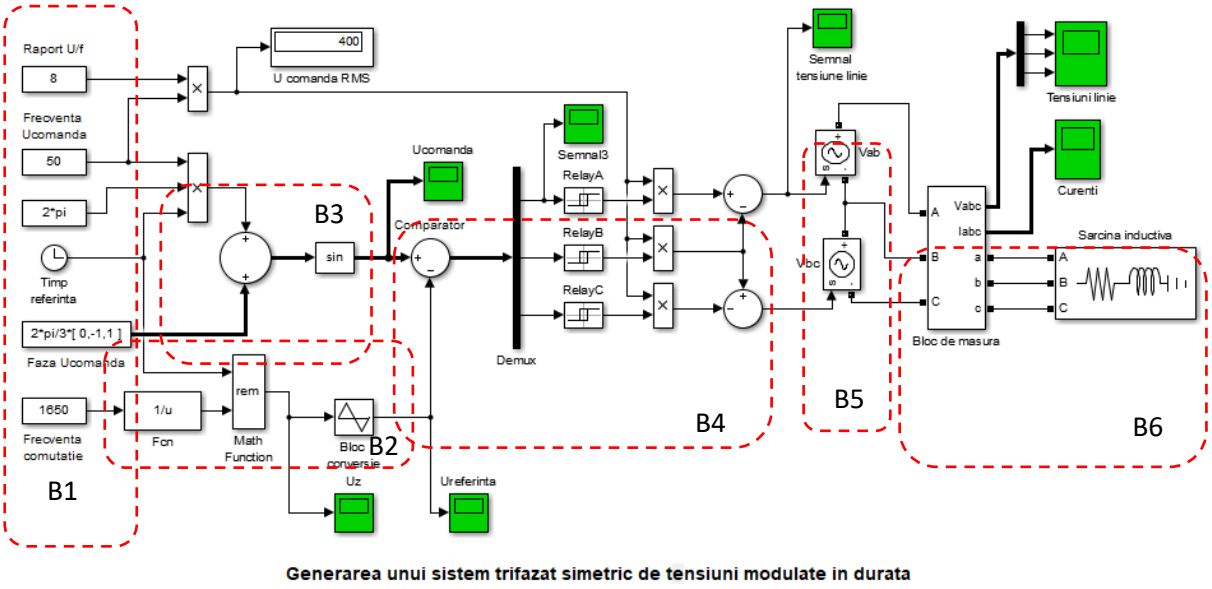


Fig. 6. Schema de simulare a unui sistem trifazat simetric de tensiuni modulate în durată

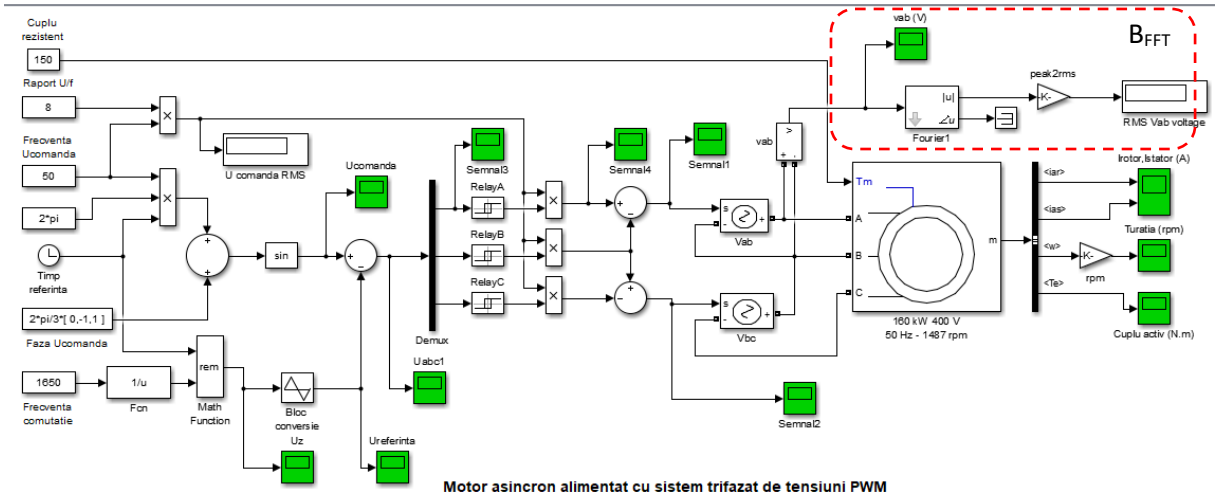
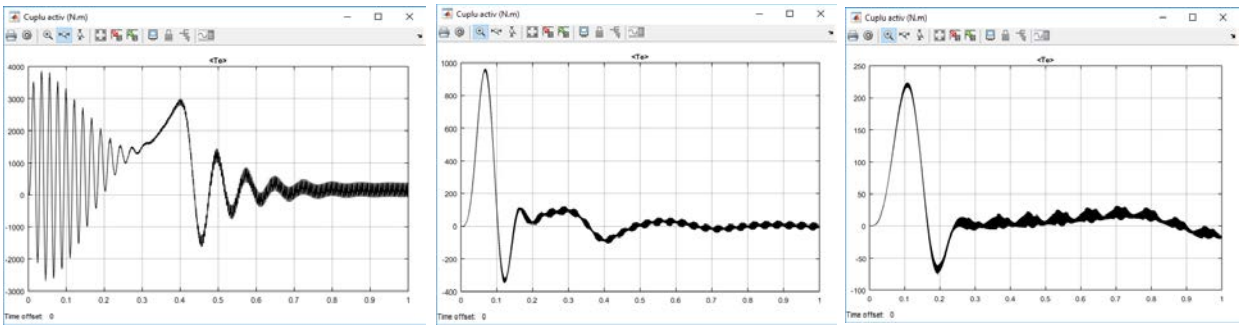


Fig. 7. Schema de simulare unui motor asincron alimentat cu sistem trifazat simetric de tensiuni modulate în durată

Ca mărimi de ieșire, pe parcursul procesului de pornire sunt urmărite viteza, cuplul activ (Fig. 8), curentul statoric și curentul rotoric pe una dintre faze, la 50Hz, 5Hz și 2Hz.



(a) (b) (c)

Fig. 8. Evoluția cuplului activ pe parcursul procesului de pornire: (a) la 50Hz; (b) 5Hz; (c) 2Hz

V. Domeniul Sisteme automate, Subdomeniul Robotică și Mecatronică

Creșterea performanțelor și asigurarea competitivității presupune automatizare, robotizare, informatizare, utilizarea unor sisteme flexibile de fabricație, SCADA. În această etapă au fost abordate ***soluții de achiziții de date pentru analiza vibrațiilor în sisteme mecanice.***

În portofoliu au fost prezentate aspecte privind sistemele de achiziție a semnalelor de vibrațiilor, fiind identificate necesități de rezolvare a unor probleme specifice la parteneri cum ar fi SC Vonrep SRL Tg. Jiu și SC Reloc SA Craiova.

Pentru analiza vibrațiilor în rulmenții cu elemente de rostogolire se folosește analiza în frecvență (Transformata Fourier) a datelor obținute, metodă care, datorită volumului mare de calcule, se pretează implementării pe un sistem numeric de calcul. Pentru a avea o analiză cât mai exactă este necesar ca viteza de achiziție a semnalului util să fie cât mai mare în raport cu frecvența maximă din spectrul semnalului analizat. Cum frecvența de lucru a accelerometrelor poate fi în domeniul [1Hz...30KHz], și cum pentru o analiză cât mai exactă este necesară o viteză de achiziție de cel puțin 10 ori mai mare, rezultă că sistemul de achiziție va trebui să poată prelua cel puțin 300.000 eșantioane/ secundă. Este necesară deci o viteză de achiziție relativ mare, ceea ce duce la apariția unui volum mare de date eșantionate. Pentru analiza în timp real a acestor date trebuie folosite sisteme cu microprocesor cu putere mare de calcul. Totodată, rulmenții sunt plasați în medii industriale din cele mai diverse, improprii din punct de vedere climatic și electro-mecanic amplasării unui sistem de calcul chiar în construcție industrială. Soluția constă în plasarea unui sistem de achiziție simplu din punct de vedere hardware cât mai aproape de senzori și transmiterea informației către un sistem de calcul. Structura sistemului de achiziție proiectat la nivel principial este cea prezentată în Fig. 9.

Traductoarele de vibrații reprezintă elemente de bază ale sistemelor de achiziție a semnalelor de vibrații. În general, în construcția acestora sunt incluse 2 elemente: un element mecanic, care urmărește mișcarea structurii în vibrație și un adaptor T, care transformă mișcarea relativă a masei *m* față de structură, într-un semnal electric de ieșire. La accelerometrele piezoelectrice, cele 2 elemente sunt inseparabile. Traductoarele de vibrații de tip aparate seismice (Fig. 10) sunt formate dintr-un sistem “masă-arc-amortizor”, legat printr-un suport fix de structura în vibrație și care măsoară mișcarea relativă a masei față de suport.

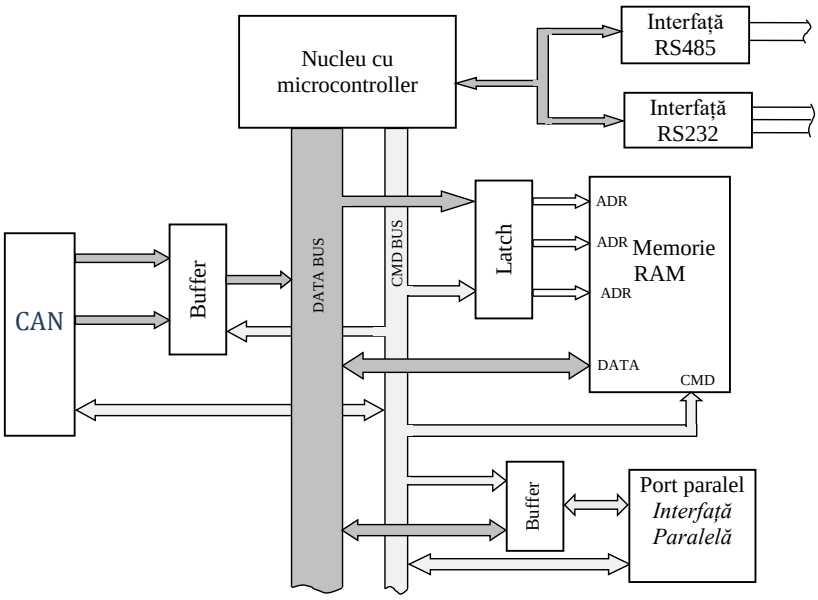


Fig. 9. Structura principială a sistemului de achiziţie

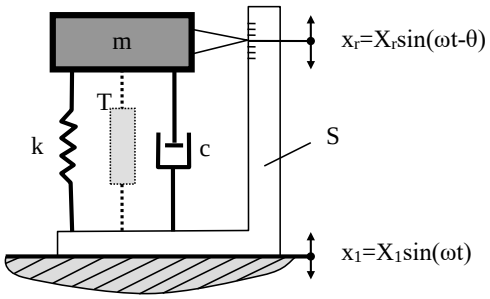


Fig. 10. Elementele de bază în modelarea unui traductor seismic de vibrații

În Fig. 11 sunt puse în evidentă trei zone importante pentru domeniile de lucru ale unui traductor seismic.

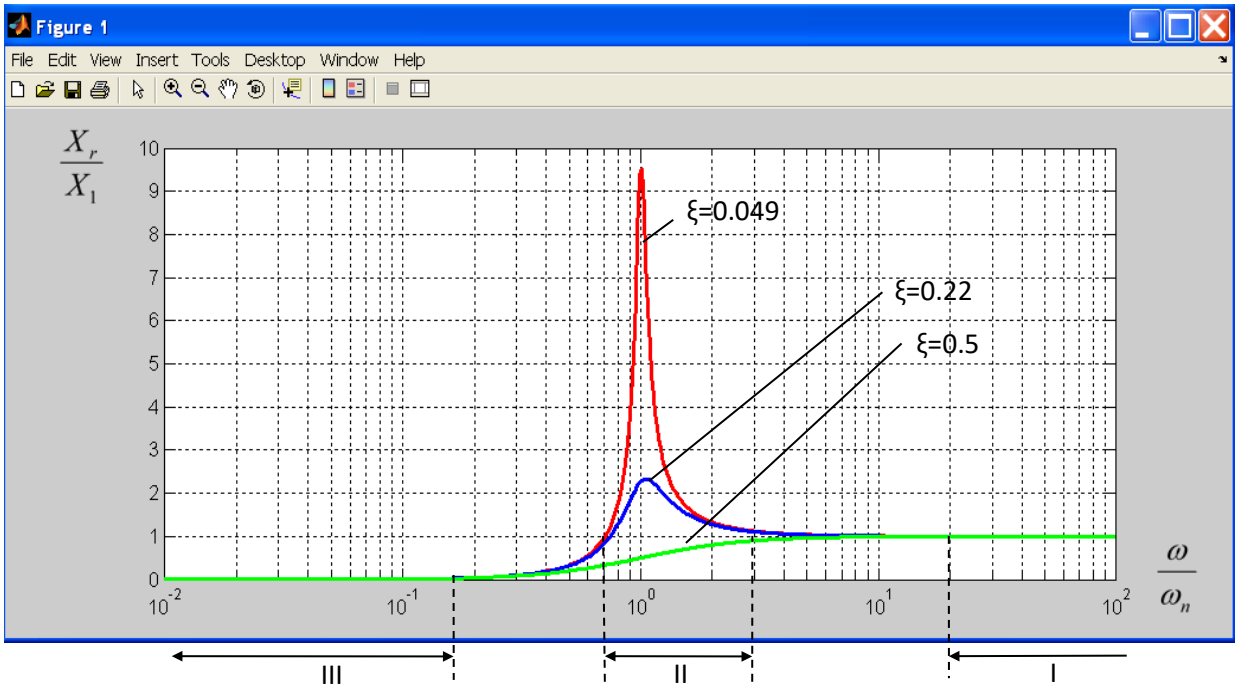


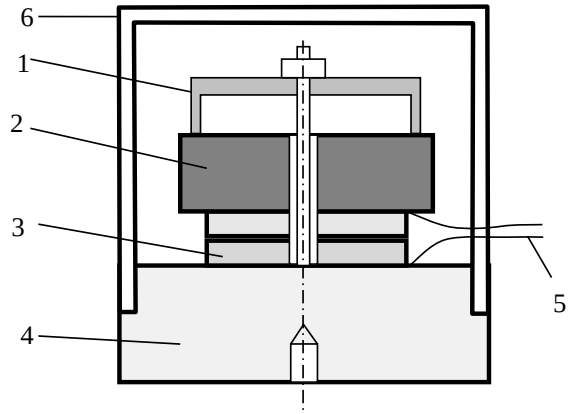
Fig. 11. Caracteristica de frecvență a deplasării relative X_r / X_1 a traductorului de vibrații

Zona I: pentru pulsații $\omega >> \omega_n$. În această zonă a graficului $X_r = X_1$, deci mișcarea relativă între masa seismică *m* a traductorului de vibrații și suport (structura mecanică măsurată) este aproximativ aceeași cu mișcarea suportului.

Zona II: aparatul seismic lucrează în zona de rezonanță a caracteristicii de frecvență, fenomen folosit la construcția frecvențmetrelor.

Zona III: pentru pulsații $\omega << \omega_n$. În această zonă, mișcarea masei seismice *m* se face în fază cu cea a suportului.

În prezent, accelerometrele cele mai utilizate folosesc drept traductoare elemente piezoelectrice. Schema unui captor seismic, cu cristalul piezoelectric folosit drept element elastic, este prezentată în Fig. 12. Considerând caracteristica de frecvență a accelerației relative $\frac{a_r}{a_1} = \frac{\omega_n^2 X_r}{\omega^2 X_1}$ a unui traductor piezoelectric (accelerometru seismic), domeniul de lucru este prezentat în Fig. 13.



1-elementul elastic de pretensionare
2-masa seismică
3-elemente piezoelectrice
4-baza captorului
5-legăturile electrice
6-carcasa

Fig. 12. Structura unui traductor piezoelectric de vibrații

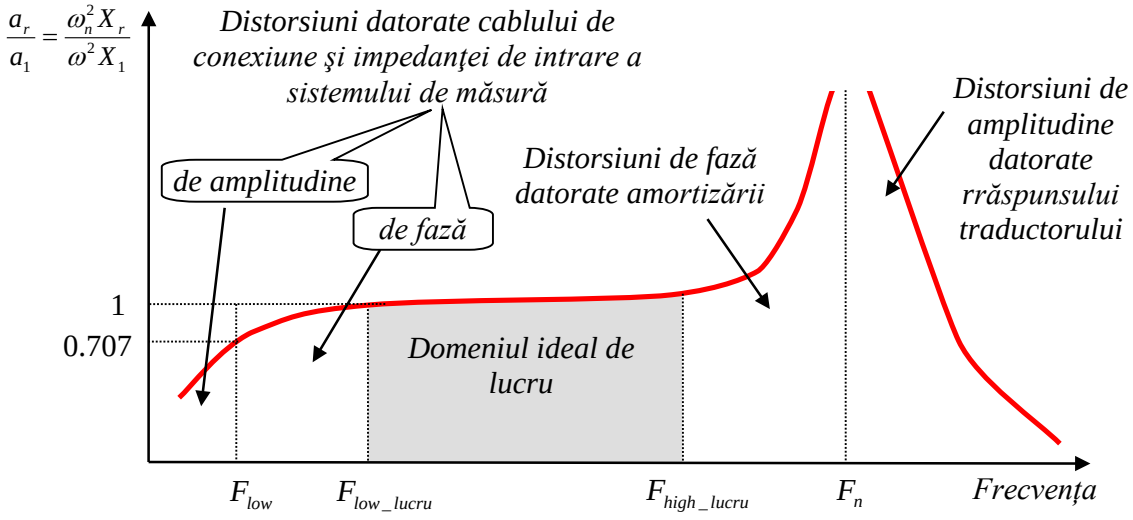


Fig. 13. Domeniul de lucru ideal al unui accelerometru