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: 01.06.2018-31.08.2018

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 …….. 3
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…… 13
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…….... 35
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……. 58
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…….. 81
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

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

O 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 [Ban16]. Tehnologiile specifice acestei revoluții industriale sunt prezentate în Fig. 1.

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 [Bif16]. O prezentare generală a arhitecturii Web-ului semantic este inclusă în Fig. 2. Structura este una ierarhică, în care fiecare limbaj/tehnologie se bazează pe cele de la nivelurile inferioare. În cele ce urmează ne vom concentra atenția asupra nivelului ontologiilor și a potențialului acestora pentru *Industry 4.0*.

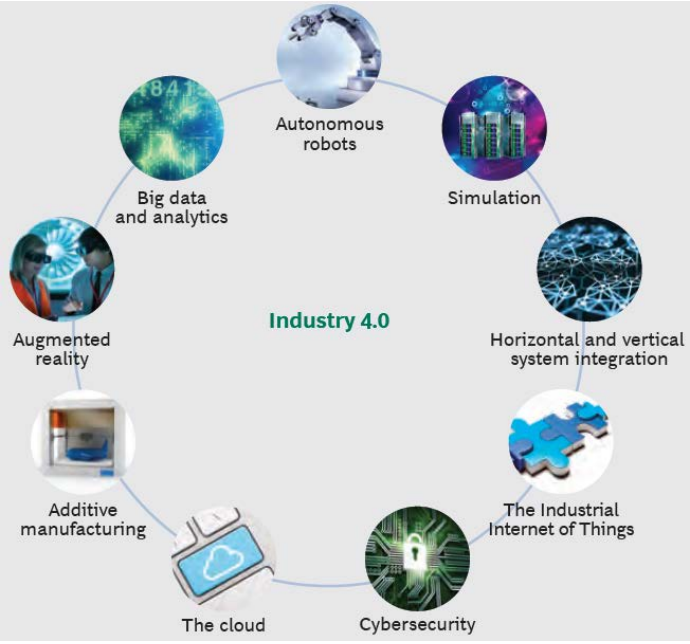


Fig. 1. Tehnologiile specifice celei de-a patra revoluții industriale (*Industry 4.0*) [Rus15]

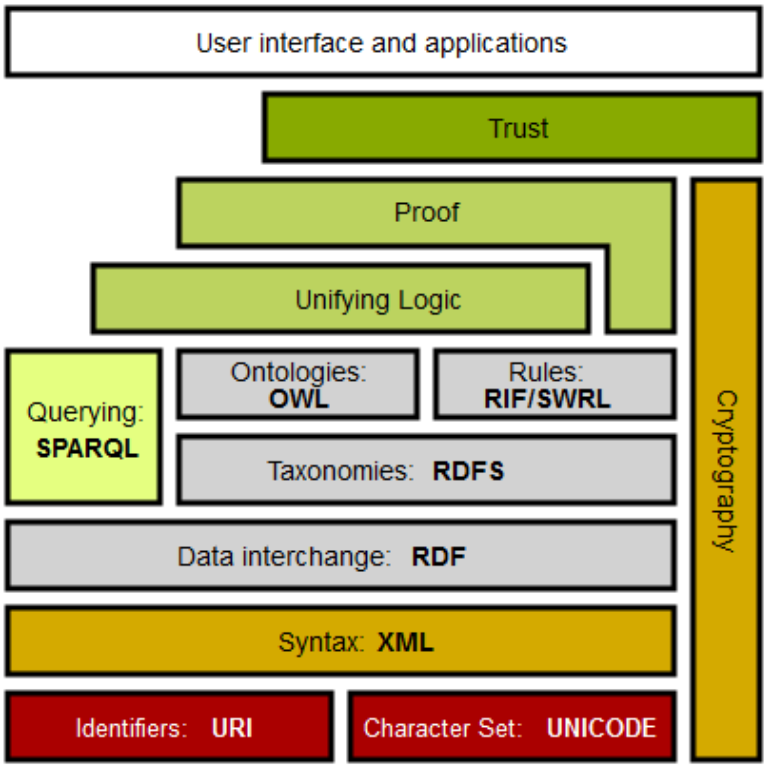


Fig. 2. Nivelurile de specificare a Web-ului semantic (*Semantic Web Stack*)[1]

Ontologii

Ontologiile 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 [Sab16].

Ontologia creată trebuie să constituie o reprezentare completă și corectă a domeniului, care să răspundă cerințelor de utilizare; ca atare, acest pas necesită o cunoaștere aprofundată a domeniului și o bună înțelegere a modului în care ontologia va fi utilizată în aplicație. Acest proces se poate dovedi dificil în special în cazul sistemelor complexe multidisciplinare și în care aplicațiile se dezvoltă și se extind de-a lungul timpului. De asemenea, trebuie aleasă o reprezentare optimă, care să permită mecanisme de interogare și raționament. În acest sens au fost propuse diferite șabloane de proiectare a ontologiilor (*ontology design patterns - ODP*), aplicabile pentru diverse scenarii tipice de conceptualizare și modelare a cerințelor [Gan09].

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Semantic_Web_Stack

Metodologii de dezvoltare a ontologiilor

În ultimele două decenii au fost propuse numeroase metodologii pentru crearea ontologiilor [Cor03; Sua12; Pov16]. Pașii esențiali pentru dezvoltarea unei ontologii, conform [Noy01], sunt:

1. Determinarea domeniului și scopului ontologiei
2. Posibilitatea de a reutiliza ontologii existente
3. Identificarea conceptelor cheie din domeniu
4. Definirea claselor și a ierarhiilor de clase (aceasta se poate face fie pornind de la conceptele cele mai generale către cele mai specifice - *top-down approach*, fie invers, pornind de la clasele specifice și gruparea lor în clase generice - *bottom-up approach*; uneori poate fi utilă o variantă hibridă)
5. Definirea proprietăților claselor (caracteristici individuale și relații cu alte clase)
6. Definirea constrângerilor proprietăților (definirea caracteristicilor proprietăților în detaliu: domeniu, gamă, restricții de cardinalitate sau de valori)
7. Crearea instanțelor (popularea claselor din ontologie cu entități concrete din domeniu - instanțe sau indivizi).

O perspectivă mai largă asupra ciclului de viață al unei ontologii este oferită de metodologia *On-to-Knowledge* [Sta01], care ia în considerare nu doar dezvoltarea ontologiei în sine, ci și cea a aplicației care utilizează respectiva ontologie. Sunt propuse astfel 5 faze:

1. Studiu de fezabilitate, care identifică problemele și oportunitățile din perspectivă organizațională și selectează soluțiile corespunzătoare.
2. Inițierea ontologiei, care presupune specificarea cerințelor (domeniul și scopul ontologiei), identificarea aplicațiilor care vor utiliza ontologia și a surselor de date pe baza cărora se va crea ontologia (experți ai domeniului, documente relevante, ontologii existente care pot fi reutilizate etc.). Această fază corespunde pașilor 1-2 din metodologia [Noy01].
3. Rafinarea, care se referă la dezvoltarea propriu-zisă a ontologiei, corespunzătoare pașilor 3-7 din metodologia [Noy01] (enumerarea conceptelor cheie, a relațiilor dintre ele și formalizarea cunoștințelor într-un limbaj de reprezentare precum OWL).
4. Evaluarea, care presupune determinarea calității ontologiei rezultate, din punct de vedere al satisfacerii cerințelor inițiale și a funcționalităților necesare aplicațiilor care o utilizează. Dacă este necesar, se revine la etapa anterioară, de rafinare a ontologiei, pe baza feedbackului evaluării.

5. Mentenanța, care cuprinde activitățile de actualizare a ontologiei în funcție de schimbările apărute (noi cerințe ale utilizatorilor, noi aplicații, modificări ale cunoștințelor din domeniu) [Sab16].

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

- *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/
- Limbajul *XSPARQL* - https://www.w3.org/Submission/xsparql-language-specification/
- Limbajul *R2RML* (RDB to RDF Mapping Language) - https://www.w3.org/TR/r2rml/
- *TopBraid Composer* - https://www.topquadrant.com/tools/modeling-topbraid-composer-standard-edition/.

Exemple de ontologii folosite în inginerie

O serie de ontologii pentru domeniile industriale au fost propuse în literatură, conform recenziei realizate în [Sab16], astfel:

OntoCAPE[2] este o ontologie pentru suportul ingineriei proceselor asistate de calculator, realizată la Universitatea RWTH Aachen [Mar09]. Are o structură modulară, cu peste 60 de fișiere OWL și este proiectată pe mai multe niveluri:

- Nivelul specific aplicației, care conține cunoștințe particulare pentru domeniul concret de aplicație
- Nivelul orientat către proces, care descrie instalația, tehnologia folosită și echipamentul de control al procesului
- Nivelul conceptual, care include concepte suport pentru modelarea proceselor și materialelor, precum și diferite caracteristici ale acestora
- Nivelul superior, care permite reprezentarea rețelelor și sistemelor de coordonare.

[2] http://www.avt.rwth-aachen.de/cms/AVT/Forschung/Software/~ipts/OntoCape

OntoCAPE este definită de un meta-model care oferă conceptele și structurile fundamentale pentru modelare.

Un exemplu de aplicație în domeniul ingineriei chimice este prezentat în [Wie08]; schema generală poate fi vizualizată în Fig. 3.

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

ManufOnto este o ontologie care descrie sistemele de fabricație, incluzând aspecte legate de: produse, tipuri de resurse și tipuri de procese [Als10]. O privire de ansamblu asupra ontologiei propuse este inclusă în Fig. 4.

EquipOnt este o ontologie proiectată pentru sistemele de asamblare reconfigurabile, bazată pe paradigma *funcție - comportament - structură* [Loh06]. Schema ontologiei propuse este reprezentată în Fig. 5.

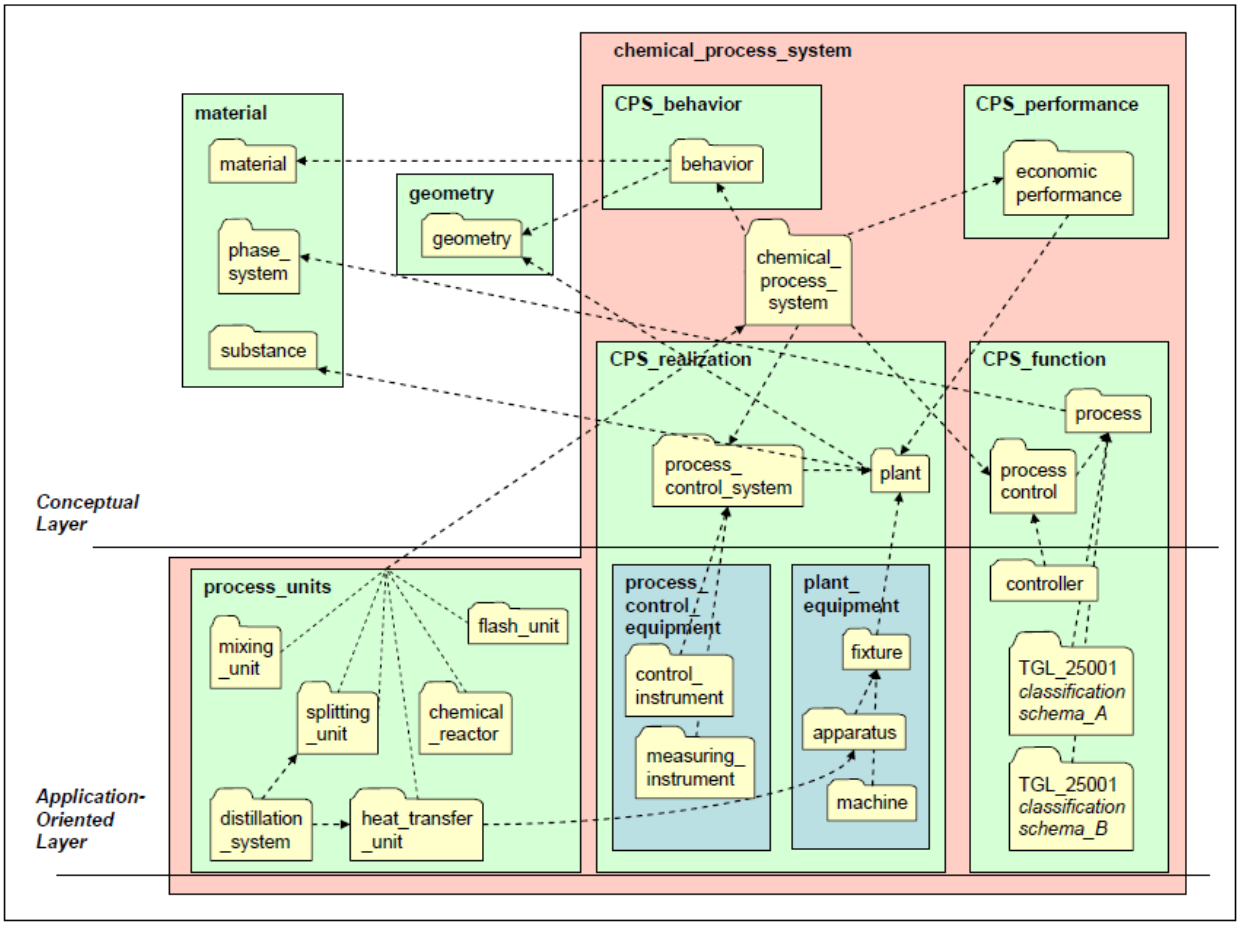


Fig. 3. Modelul unui sistem din ingineria chimică [Wie08]

[3] https://www.posccaesar.org/wiki/ISO15926inOWL

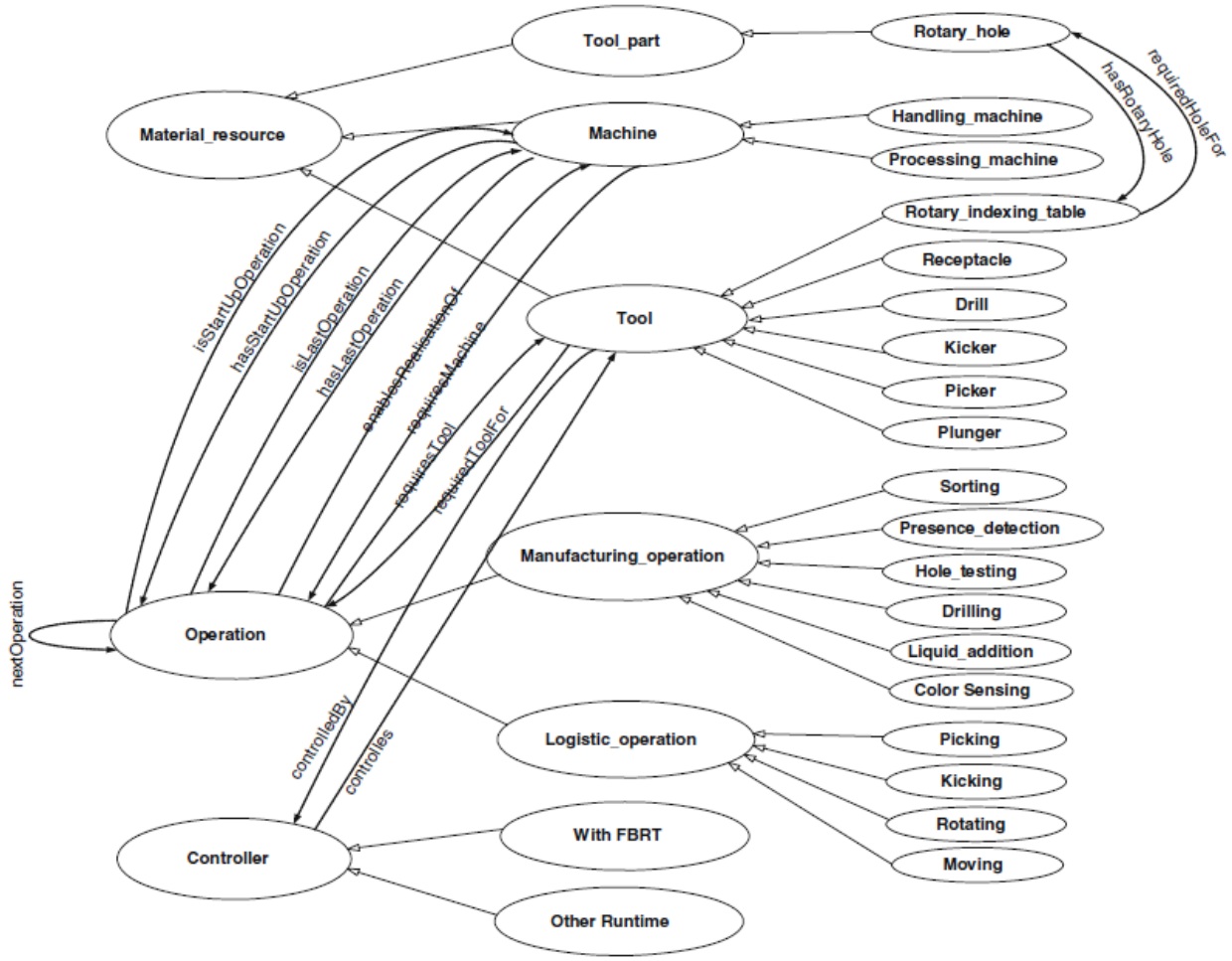


Fig. 4. Ontologia asociată unui sistem de fabricație, propusă în [Als10]

Semantic Sensor Network (SSN) Ontology[4] 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 completă este structurată în 10 module și conține 41 de concepte și 39 de proprietăți. Figura 6 oferă o reprezentare schematică a acestei ontologii, care include conceptele și relațiile de bază, împărțite pe module.

Ontologia SSN se bazează pe șablonul *Stimulus–Sensor–Observation (SSO)*, care realizează o conexiune între senzori, stimuli și observațiile rezultate, așa cum se poate observa în Fig. 7.

Automation Ontology este o ontologie propusă în [Nov15], care cuprinde cunoștințe despre întreprinderi industriale și sistemele de automatizări incluse de acestea; ontologia oferă suport pentru proiectarea și integrarea modulelor de simulare. O descriere simplificată a acestei ontologii este inclusă în Fig. 8.

[4] https://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/ssnx/ssn

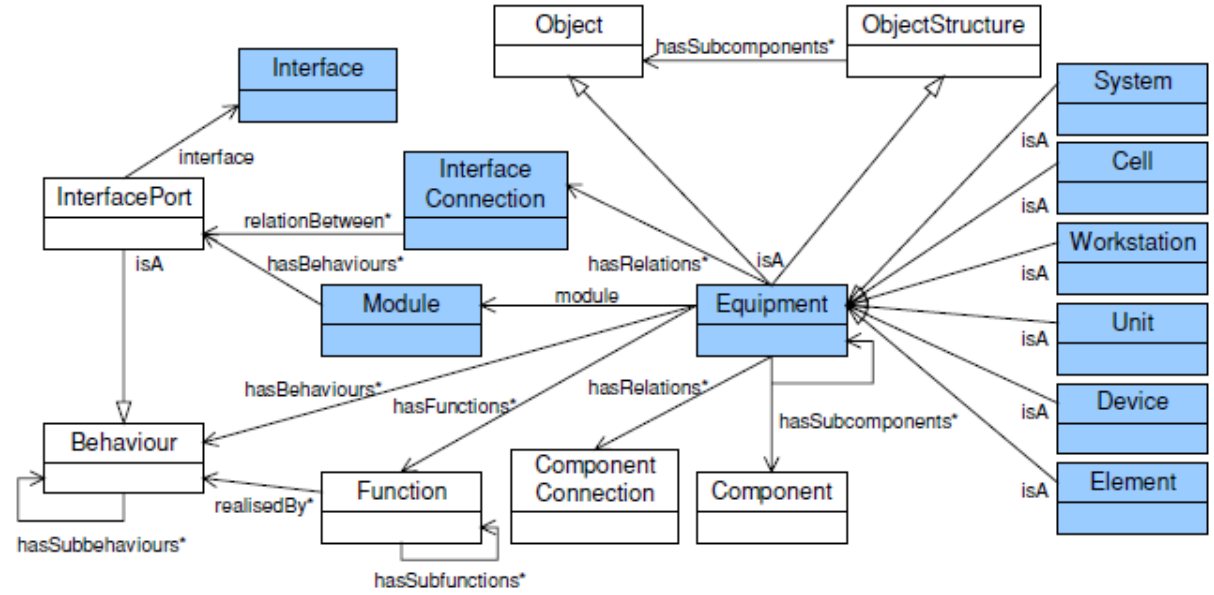


Fig. 5. Ontologia asociată echipamentului unui sistem de asamblare reconfigurabil [Loh06]

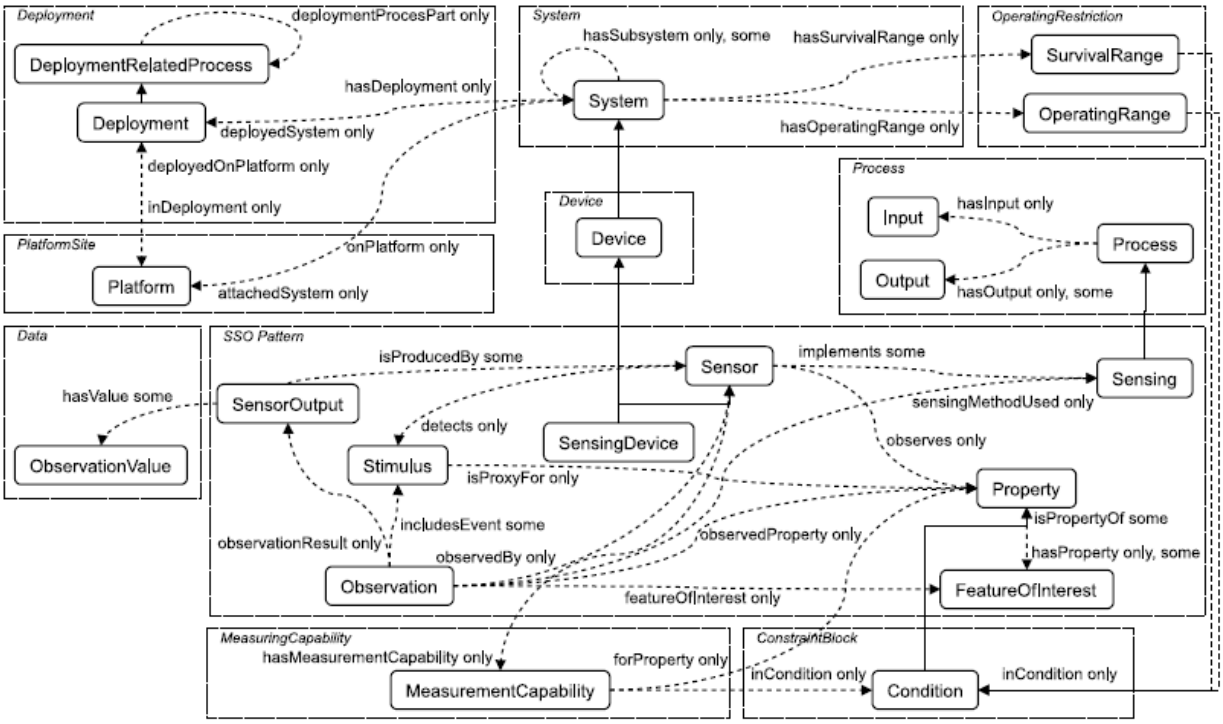


Fig. 6. Ontologia SSN, propusă în [Com12]

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 [Sab16].

[5] http://data.ifs.tuwien.ac.at/aml/ontology

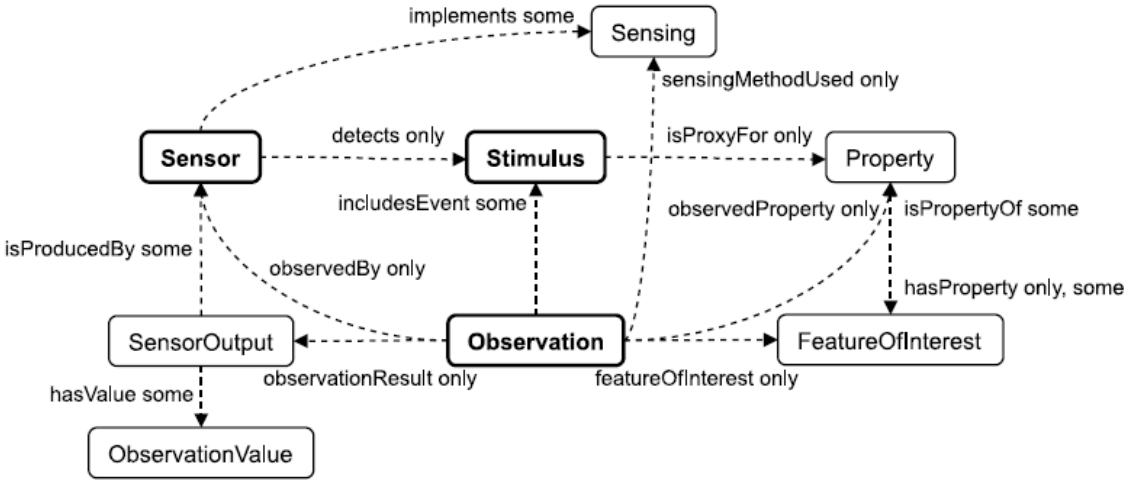


Fig. 7. Șablonul Stimul-Senzor-Observație [Com12]

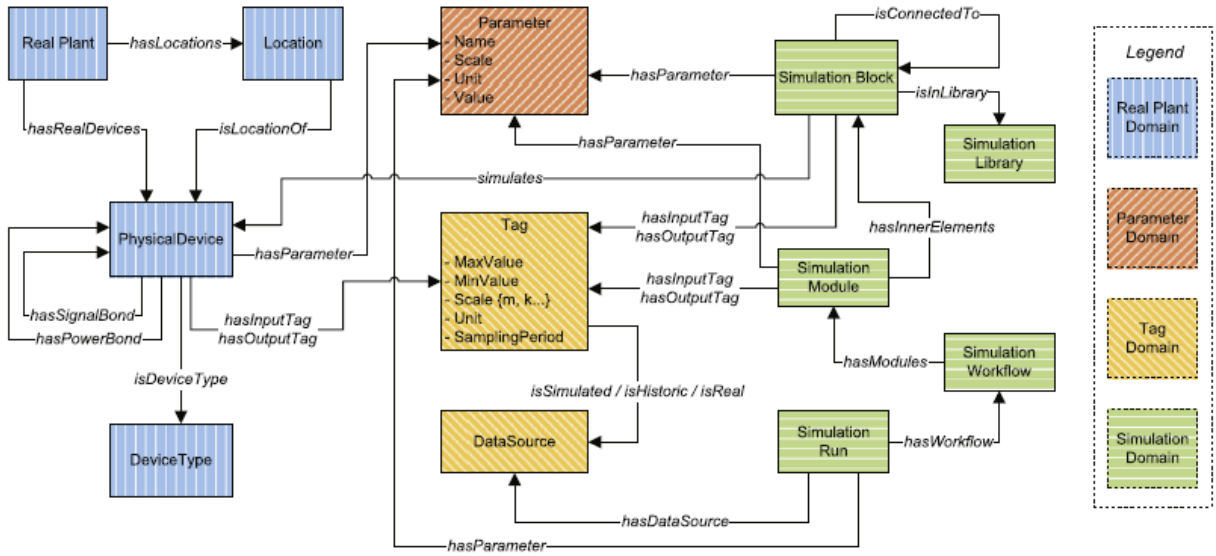


Fig. 8. Prezentare simplificată a ontologiei Automation, propusă în [Nov15]

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. Este alcătuită din două părți, așa cum se poate vedea și în Fig. 9:

- Aspectele organizaționale, care includ conceptele cheie *Proiect*, *Client*, *Inginer* (care are diferite *Roluri*, realizează diferite *Activități* și generează diferite *Documente*)
- Aspectele inginerești, care includ conceptele cheie *Obiect Software, Obiect Electric, Obiect Mecatronic*, precum și structura acestora și comunicarea dintre ele (*Semnale Fizice* și *Semnale Logice*) [Sab16].

[6] http://data.ifs.tuwien.ac.at/engineering/cco

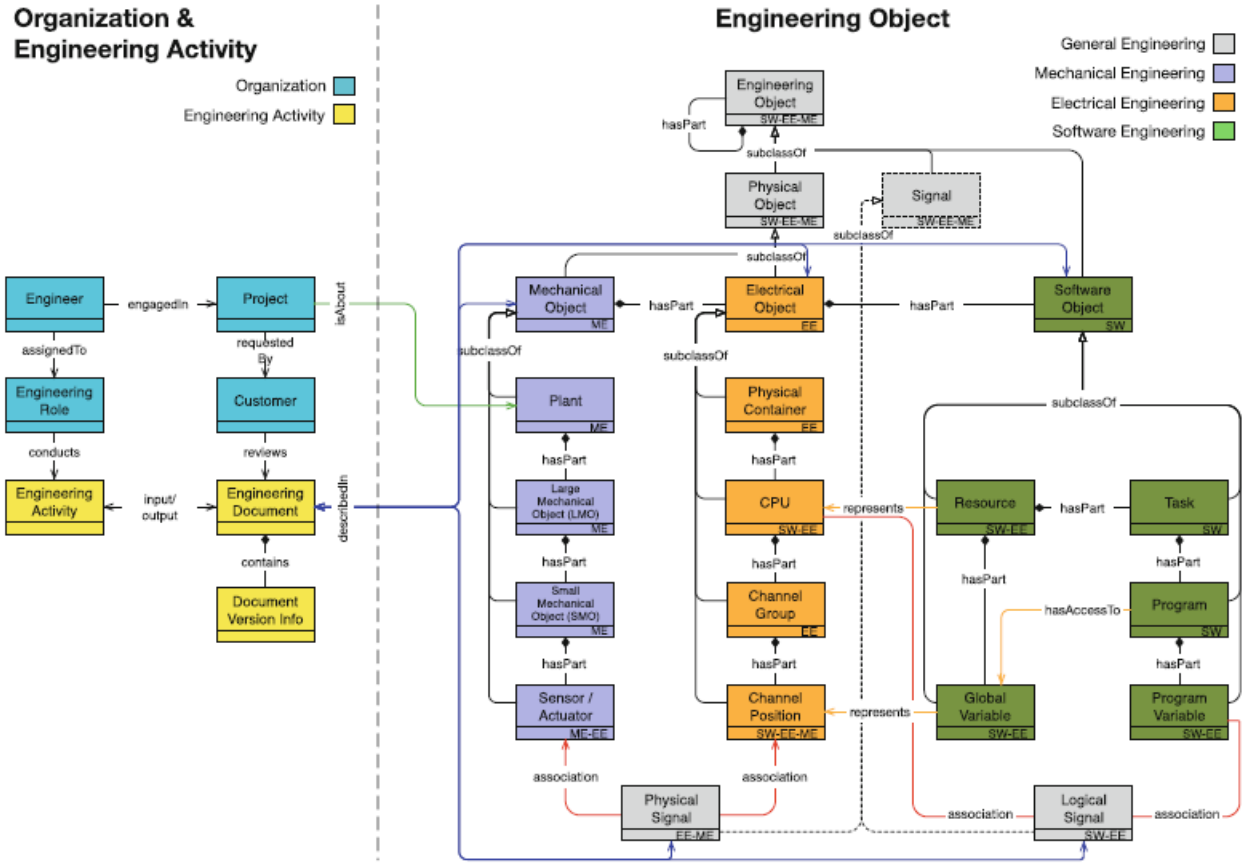


Fig. 9. Ontologia CCO [Sab16]

Bibliografie

[Als10] Alsafi, Y., Vyatkin, V., Ontology-based reconfiguration agent for intelligent mechatronic systems in flexible manufacturing. *Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(4), 381-391, 2010.

[Ban16] Banabic, D., A patra revoluţie industrială a început. Este pregătită România pentru a face faţă sfidărilor acestei noi revoluţii?. *Revista de politica ştiinței și scientometrie,* serie nouă, 5(3), 194-201, 2016.

[Bif16] Biffl, S., Luder, A., Winkler, D., Multi-Disciplinary Engineering for Industrie 4.0: Semantic Challenges and Needs. In: *Semantic Web Technologies for Intelligent Engineering Applications*, pp. 17-52, Springer, 2016.

[Com12] Compton, M., Barnaghi, P., Bermudez, L., Garcia-Castro, R., Corcho, O., Cox, S., Graybeal, J., et al., The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 17, 25-32, 2012.

[Cor03] Corcho, O., Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., Methodologies, tools and languages for building ontologies: Where is their meeting point?. *Data Knowledge Engineering,* 46(1), 41-64, 2003.

[Gan09] Gangemi, A., Presutti, V., Ontology design patterns. In: Staab, S. et al. (eds.) *Handbook of Ontologies*, 2nd edition, pp. 221-244, Springer, 2009.

[Loh06] Lohse, N., Hirani, H., Ratchev, S., Equipment ontology for modular reconfigurable assembly systems. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 17(4), 301-314, 2006.

[Mar09] Marquardt, W., Morbach, J., Wiesner, A., Yang, A., *OntoCAPE – A Re-Usable Ontology for Chemical Process Engineering*. Springer, 2009.

[Nov15] Novák, P., Serral, E., Mordinyi, R., Šindelář, R., Integrating heterogeneous engineering knowledge and tools for efficient industrial simulation model support. *Advanced Engineering Informatics*, 29, 575-590, 2015.

[Noy01] Noy, N.F., McGuinness, D.L., *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford University Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05, 2001.

[Pov16] Poveda-Villalón, M.P., *Ontology Evaluation: a pitfall-based approach to ontology diagnosis*. Ph.D. Thesis, UPM Madrid, 2016.

[Rus15] Russmann, M. et al., *Industry 4.0 - The future of productivity and growth in manufacturing industries*, The Boston Consulting Group, 2015.

[Sab16] Sabou, M., Kovalenko, O., Novák, P., Semantic Modelling and Acquisition of Engineering Knowledge. In: *Semantic Web Technologies for Intelligent Engineering Applications*, pp. 105-136, Springer, 2016.

[Sta01] Staab, S., Schnurr, H.P., Studer, R., Sure, Y., Knowledge processes and ontologies. *IEEE Intelligent Systems*, 16(1), 26-34, 2001.

[Sua12] Suárez-Figueroa, M.C.: *NeOn Methodology for Building Ontology Networks: Specification, Scheduling and Reuse*. Dissertations in Artificial Intelligence, vol. 338, IOS Press, 2012.

[Wie08] Wiesner, A., Morbach, J., Yang, A., Bayer, B., Marquardt, W., *Chemical Process Systems*. Technical Report LPT-2008-29, disponibil la: http://www.avt.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaatptsi, 2008.

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

Descrierea implementării unui DCS pentru o termocentrală

1. Introducere

În prezent, ideea controlului automat al proceselor industriale nu mai poate fi imaginată fără existența în arhitectura sistemului a unui microprocesor. Dezvoltarea fără precedent a tehnologiei integrate a condus la dezvoltarea pe scară largă a celor mai diverse structuri de sisteme cu microprocesoare. Cu toate acestea, se poate formula un concept de mare actualitate:

„A implementa un program se numește îndemânare, iar a descoperi formula optimă a algoritmului (funcția matematică) a ceea ce trebuie să realizeze un program, se numește cu adevărat cercetare/proiectare”.

La nivelul uneltelor de programare, legate unitar de sisteme hardware extrem de variate, în domeniul automaticii rămâne în continuare problema foarte greu de rezolvat, a proiectării algoritmului de control care să conducă la *“cea mai bună decizie”* pentru comanda unui proces. Astfel, procesele complexe (mari) sunt divizate într-un mod virtual în subprocese mai simple ce sunt mai ușor de modelat și evident mai intuitiv de controlat. În acest fel se realizează o descentralizare a deciziilor/comenzilor, ceea ce apropie foarte mult ideea de control spre noțiunea de timp-real adevărat.

După cum se știe, structura generală a unui sistem de conducere în general sau de conducere automată în particular, conține următoarele elemente principiale interconectate, ca în Fig.1:

a) *Obiectul condus* >> reprezintă procesul supus automatizării;

b) *Obiectul conducător* >> dispozitivul care elaborează decizii/comenzi de conducere pe baza prelucrării unui algoritm de conducere.

c) *Sistemul de transmitere si aplicare a comenzilor* >> EE - Element de Execuție

d) *Sistemul informațional de culegere si transmitere a informațiilor* >> TR - Traductor

Structura de control prezentată este valabilă în cele mai diverse domenii: inginerie, economic, social, militar, învățământ, sănătate, etc. Obiectul conducător, prin prelucrarea unui algoritm de conducere pe baza informațiilor din proces furnizate de traductor-TR, a mărimii de referință și a unor criterii de calitate impuse, elaborează decizii care se transmit către elementele de execuție - EE. Elementele de execuție aplică aceste decizii direct procesului sub formă de comenzi.

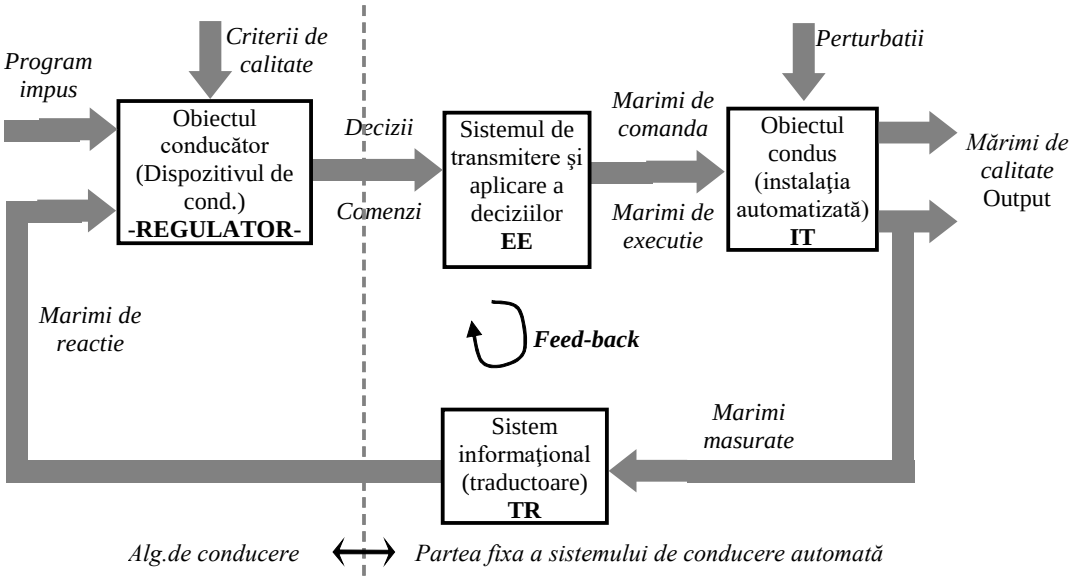


Fig. 1. Structura clasică a unui sistem de conducere automată

Deciziile de conducere au ca scop îndeplinirea de către obiectul condus a unui program impus, ce respectă îndeplinirea unor criterii de calitate, a satisfacerii unor restricții de funcționare, în condițiile în care asupra obiectului condus acționează inevitabil o serie de perturbații. Structura de mai sus este o structură de conducere în circuit închis >>FEED-BACK<< deoarece deciziile aplicate la un moment dat sunt dependente și de efectul deciziilor anterioare. Dacă lipsește legătura de reacție, sistemul este în circuit deschis și se numește sistem de comandă.

Aceste principii sunt bine cunoscute în automatică, dar arhitecturile actuale de sisteme cu microprocesoare cu putere mare de calcul aduc elemente suplimentare. În sistemele deja clasice, arhitectura din Fig.1 avea criteriile de calitate stabilite inițial și pe baza lor se realiza proiectarea soluției de control. În sistemele actuale, datorită faptului că un sistem de control dispune de o putere mare de calcul și puternice facilități de lucru în timp real, criteriile de calitate sunt evaluate și on-line în timpul funcționării, ceea ce conduce la reproiectarea on-line a soluției de control. Acest lucru permite implementarea unor soluții cu adevărat avansate de control. Sunt de mare actualitate practică metodele de verificare a modelelor prin rularea în paralel a modelului, cu procesul deja în funcțiune.

Totodată, se poate observa din Fig.1 că o parte a structurii de conducere reprezintă partea fixă, iar cealaltă parte este reprezentată de algoritmul de conducere. Denumirea de “parte fixă”, provine din faptul că în activitatea de proiectare a unei structuri de conducere, procesul real, împreună cu elementele de execuție și traductoarele sunt considerate cunoscute, fixate, date inițiale de proiectare, rezultatul proiectării fiind doar algoritmul de conducere.

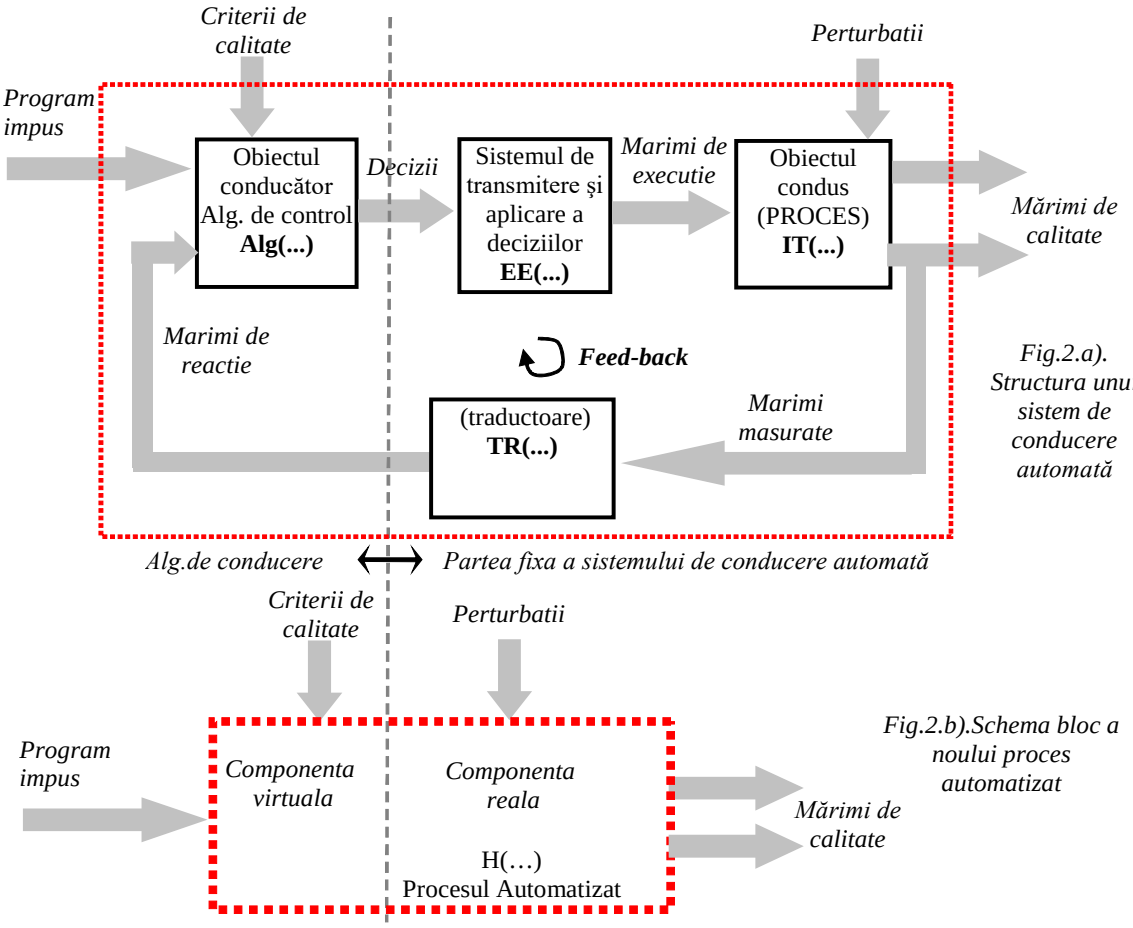


Fig. 2. Interpretarea structurii unui sistem de conducere automată

Această soluție de conducere proiectată pentru un proces real nu este unică și astfel proiectarea unei soluții de conducere "mai performante" pentru același proces o provocare actuală. Datorită faptului că soluția de control este de fapt acel algoritm de conducere, se poate spune că o structură de conducere are și o componentă virtuală în strânsă legătură cu componenta fizică a procesului (a se vedea structura din Fig. 2).

Conform celor prezentate, principial, procesul automatizat este caracterizat de un model matematic H(…), iar elementul de execuție, instalația tehnologică și traductorul, au modelele matematice de forma EE(…), IT(…), TR(…), ce pot fi compuse in modelul matematic al părții fixe sub forma: $PF(...) = EE(...) \otimes IT(...) \otimes TR(...)$.

Astfel, procesul automatizat (procesul după implementarea structurii de conducere), va fi caracterizat de un model matematic ce depinde de algoritmul de control și partea fixă prin relația generică:

$$H(...) = f\left(\text{Alg}(...), PF(...)\right) \qquad (1)$$

Din relația generică (1), se poate obține o altă relație generică:

$$\mathrm{Alg}(...) = g\left(H(...), PF(...) \right) \qquad (2)$$

Relația (2) exprimă principiul care stă la baza proiectării structurilor de conducere și exprimă ideea că $\mathrm{Alg}(...)$ - algoritmul de conducere proiectat depinde în mare măsură de ceea ce vrem să se întâmple cu procesul, adică $H(...)$, și cât de bine este cunoscut în realitate procesul $PF(...)$. Cum $H(...)$ este bine definit, problema care rămâne este gradul de aproximare a părții fixe (procesul real) cu un model matematic $PF(...)$. În funcție de precizia de modelare a procesului fizic real, $\mathrm{Alg}(...)$- algoritmul de conducere poate influența performanțele obținute, mergând de la *"ceva foarte bun"*, până la *"ceva foarte prost"* sau chiar *instabilitate*. De aceea, ca o concluzie importantă, se poate spune că soluția de automatizare nu este unică și astfel permite îmbunătățirea în timp.

2. Sisteme distribuite și ierarhizate: o modalitate actuală de abordare

Principiile mai sus prezentate au fost extinse la abordarea unor procese complexe, cu multe intrări și ieșiri interconectate sub forma unui sistem distribuit si ierarhizat. Astfel, se valorifică din plin unul dintre avantajele sistemelor cu microprocesor actuale, generat de faptul că se pot interconecta foarte ușor unul cu altul prin linii de comunicație în construcție industrială. Pornind de la acest lucru, pentru asigurarea cerințelor legate de siguranța în funcționare, creșterea fiabilității sistemului de conducere, creșterea vitezei de prelucrare a informațiilor din ce în ce mai complexe, conducerea optimală a proceselor industriale, s-au construit sisteme distribuite și ierarhizate de conducere. Principiul care stă la baza acestui concept este reliefat în Fig. 3.

Partiționarea unui proces complex în subprocese (distribuirea) se realizează în conformitate cu elementele grupate funcțional ale procesului, dar în primul rând pentru a se respecta restricțiile de timp real. Prin prelucrarea în paralel de către mai multe sisteme cu microprocesor a informațiilor din proces, se obține un timp total de prelucrare mai mic și totodată se obține o reducere a complexității, ceea ce conduce la o fiabilitate mai mare pentru echipamentele de automatizare în ansamblu. Sistemele distribuite sunt proiectate pentru a menține avantajele ambelor tendințe oponente care au marcat în mod alternativ evoluția sistemelor automate - centralizarea și descentralizarea. Sistemele de control distribuite reprezintă unul din cele mai profitabile compromisuri între aceste abordări.

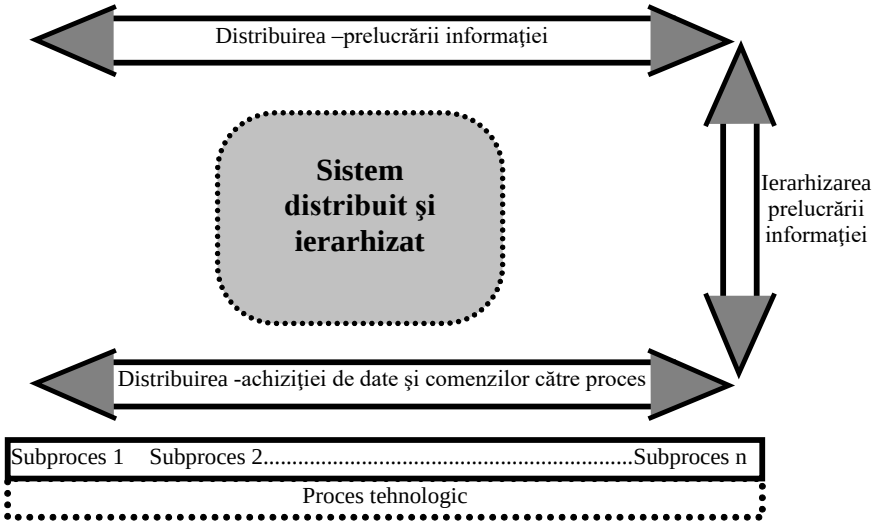


Fig. 3. Structura principială a unui Sistem Distribuit şi Ierarhizat

Dezvoltarea fără precedent a unor sisteme de comunicație industriale cu o fiabilitate foarte ridicată a generat posibilitatea de distribuție a controlului, printr-o împărțire a sarcinilor la mai multe procesoare ce prelucrează independent și în paralel informația provenită direct din proces (în timp real). Aceste avantaje au condus la posibilitatea controlului în ansamblu al unui proces industrial complex-mare ca un tot unitar. Sistemele de automatizare distribuite au apărut la granița dintre două domenii aparent opuse din punctul de vedere a procesării de date: sistemele de achiziție de date și rețelele de comunicații. În această idee (prelucrare paralelă) se micșorează semnificativ timpul de execuție la nivelul aplicației, ceea ce are rezultate semnificative în respectarea cu o mai mare siguranță a cerințelor de timp real, specifice proceselor industriale reale.

Ierarhizarea algoritmilor de prelucrare a informației pe verticală se realizează în sensul că algoritmii complecși (consumatori de timp) se depărtează de conducerea directă a procesului, pe când algoritmii mai simpli sunt mai aproape de nivelul conducerii directe. O structură distribuită și ierarhizată pe 5 niveluri este prezentată în Fig. 4.

În cadrul acestei structuri se poate observa modularitatea ansamblului, în care comunicația între echipamente de același nivel și între nivele se realizează prin magistrale specializate tocmai pentru a crește viteza de vehiculare a informației. Prin această conducere distribuită se asigură o distribuție a sarcinilor și totodată o specializare a echipamentelor sau programelor de conducere, ceea ce permite prelucrarea în paralel a informației, conducând la creșterea vitezei de lucru a ansamblului. Deși viteza de lucru a procesoarelor a ajuns să fie destul de mare, adică timpi de prelucrare foarte mici, totuși creșterea vitezei de prelucrare a ansamblului ce formează un proces complex nu se mai poate face decât prin prelucrarea distribuită și realizarea în paralel a mai multor sarcini.

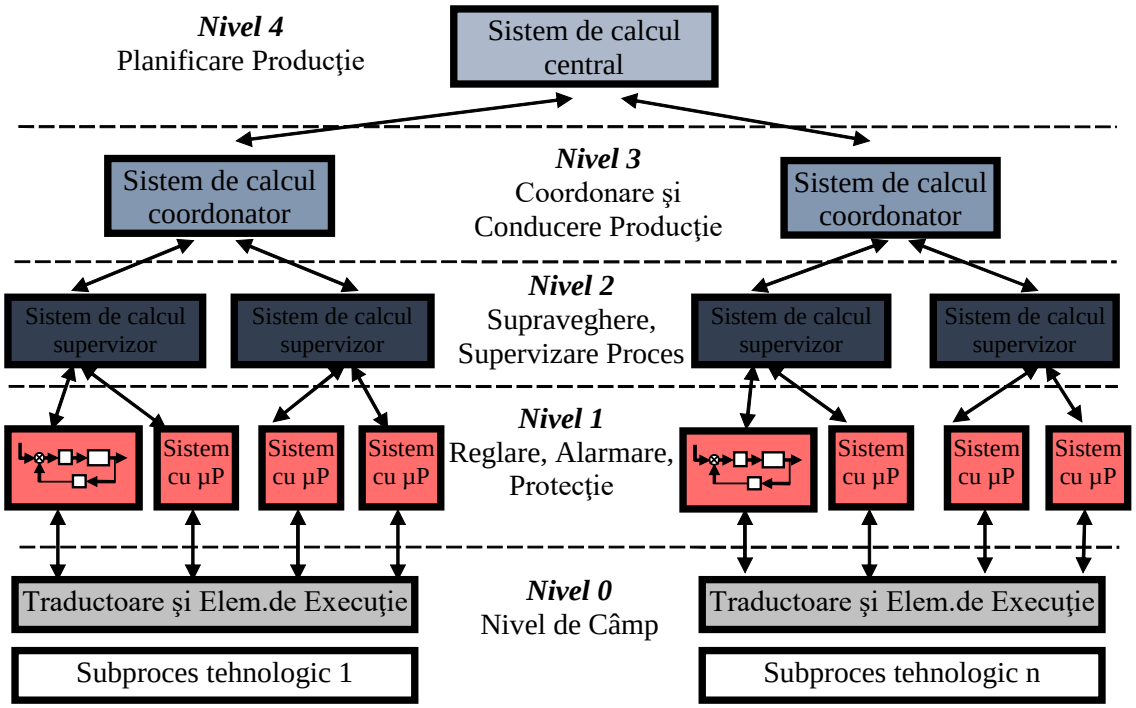


Fig. 4. Structură Distribuită și Ierarhizată de conducere structurată pe 5 niveluri

3. Structuri tehnologice în industria energetică

Dezvoltarea fără precedent pe care a cunoscut-o teoria controlului automat, precum și dezvoltarea permanentă a structurilor hardware/software de sisteme de achiziție de date și generare comenzi, a condus la creșterea complexității proceselor reale care se controlează ca un tot unitar.

Termenul *"algoritm de control"* a înlocuit principial termenul de *"lege de reglare/control",* deoarece procesele care sunt controlate sunt din ce în ce mai complexe ca dimensiune și ca dinamică, ceea ce necesită o multitudine de prelucrări pentru obținerea deciziei (comenzii) în cadrul unei structuri de control.

În cadrul acestui capitol se prezintă la modul principial și intuitiv structura fluxului tehnologic din cadrul unei centrale termoenergetice, în ideea prezentării modalităților de abordare din punctul de vedere al automatizării unui proces industrial complex.

Între producția de energie și consum trebuie să fie în permanență o strânsă corelație, deoarece energia produsă nu poate fi stocată pentru o folosire ulterioară. Dintre formele de energie, producția de energie electrică și energie termică au ponderea cea mai mare în cadrul oricărui sistem social. Avantajele utilizării energiei electrice derivă din utilizarea resurselor primare, în special cele dense (cărbune) pentru producție.

Producția de energie electrică, în general, se realizează prin :

⇒*Centrale termoelectrice*, în care au loc transformări energetice succesive pornind de la combustibili primari (lignit, gaze naturale, reziduuri petroliere), rezultă energie termică sub forma de abur supraîncălzit, apoi energie mecanică obținută prin destinderea aburului în turbinele de abur și în final energie electrică obținută de la generatoarele electrice antrenate de turbinele de abur.

⇒*Centrale nuclearo-electrice*, în care se pornește de la combustibil nuclear, din care, prin procese de fisiune se obține energie termică ce se transferă la aburul supraîncălzit sau gaze, după care apar aceleași elemente ca și la centralele termoelectrice : turbină-generator.

⇒*Centrale hidroelectrice*, la care energia mecanică de antrenare a generatorului electric se obține de la turbina hidraulică ce convertește energia potențială a resurselor hidroenergetice.

⇒*Centrale eoliene, mareice, solare*….care sunt de relativă actualitate, dar au încă o pondere foarte mică.

Datorită faptului că într-un sistem energetic național energia nu poate fi stocată, rezultă că producția trebuie să fie cu puțin peste consum la momente instantanee de timp. Nerespectarea acestei cerințe poate duce la căderea sistemului energetic național sau la uzuri mari ale stațiilor de transformare sau linii de transport care trebuie sa cedeze sub formă de căldură sau vibrații surplusul. În aceste condiții se impune un sistem de control/automatizare foarte performant la nivelul producției de energie. Din punct de vedere al dinamicii, centralele nuclearo-electrice, hidrocentralele pe firul apei (Porțile de Fier) nu permit variații în limite largi ale puterii electrice produse. Singurele care pot varia în limite mai mari puterea produsă pentru a acoperi vârfuri de sarcini sunt *Centralele hidroelectrice cu lac de acumulare, Centralele eoliene, mareice, solare.* Acestea din urmă, deși produc cea mai ieftină energie, sunt limitate de secetă, vânt sporadic, lumină solară diurnă etc...

Astfel, singura soluție actuală, la nivel mondial pentru sistemele naționale în scopul acoperirii “oricând” a vârfurilor de sarcină este producția de energie în *Centrale termoelectrice.* Ca atare s-a investit foarte mult în acest domeniu la nivel de sistem de automatizare. De exemplu, la Termocentrala Rovinari din Județul Gorj, după prima etapă de modernizare a sistemului automat (s-a trecut la calculatoare de proces), în urmă cu 20 de ani, s-a obținut o pantă de creștere în dinamică a puterii produse de 2MW/min. S-a trecut apoi, în urmă cu 6 ani, prin forțarea procesului, la 3MW/min, dar s-a considerat că s-a ajuns la limită, adică se “stresează” procesul (se sparg țevi, vibrații suplimentare cu uzură puternică). Mai nou, ultimul sistem de automatizare implementat de firma

Emerson permite pante de creștere de peste 5MW/min. În același timp, “stresul” asupra instalațiilor este mult mai mic, iar sistemul este mult mai stabil. Ca o performanță, notabilă și verificabilă, este faptul că grupul energetic a mers 3 luni consecutive fără să intre pe avarie. Justificarea logică pentru această creștere de performanță este faptul că s-a implementat o structură de control predictivă, plasată pe un nivel superior a structurii DCS deja implementată.

Principala problemă la nivel de grup termoenergetic este faptul că este un proces foarte complex are peste 3000 de puncte de măsură și peste 100 de bucle de reglare principale care funcționează practic independent, dar mărimile controlate fac parte din același proces și sunt puternic interconectate.

>>>Prima etapă de automatizare a constat în înlocuirea efectivă a sistemului de automatizare analogic cu sistem de automatizare numeric. În acest moment s-a reușit o creștere a stabilității și acea pantă de creștere în dinamică a puterii produse la 2MW/min. Cu alte cuvinte, arhitectura sistemului de automatizare s-a păstrat și doar s-a înlocuit sistemul hardware analogic cu un sistem hardware numeric (aceleași bucle au fost implementate numeric). Deși performanțele s-au îmbunătățit, totuși apăreau probleme de instabilitate, deoarece buclele interconectate intrau în timp într-un fenomen de rezonanță și se ajungea la instabilitate.

>>>A doua etapă de automatizare a însemnat realizarea unor corecții între buclele de reglare, practic s-a folosit un sistem de tip feed-forward de corecție a deciziei buclei principale cu informații despre influența celorlalte bucle. Astfel s-a ajuns la creșterea pantei la 3MW/min și creșterea stabilității (grupul a mers 1 lună fără să intre deloc pe avarie).

>>>A treia etapă, la ultimul grup modernizat, s-a implementat un sistem de control predictiv, ceea ce a condus la creșterea pantei la peste 5MW/min cu creșteri semnificative ale stabilității. Partea interesantă este că procesul nu a fost forțat (“stresat”), ba chiar în perioada de mentenanță ulterioară, problemele au fost chiar mai mici.

Din această descriere etapizată se poate vedea efectul implementării unor algoritmi de control avansați la nivel de stabilitate, la nivel de fiabilitate, la nivel de creștere a dinamicii de producere a energiei. În acest fel, Centralele termoelectrice sunt singura soluție garantată de a compensa vârfurile de sarcină la orice moment de timp, pe când partea eoliană, hidro, solară au limitări temporale specifice. Totodată, se poate vedea efectul implementării unor algoritmi avansați de conducere, lucru care va fi studiat în viitor deoarece se pot obține soluții mult mai optimizate și chiar mai performante. În sprijinul acestei afirmații vine faptul că sistemul de automatizare are un istoric memorat a tuturor

semnalelor din proces pe ultimii 3 ani, ceea ce înseamnă că a surprins toate situațiile apărute, de tip avarii, instabilitate, puncte slabe la nivel de echipamente de câmp. O analiză minuțioasă a acestui istoric *poate conduce la îmbunătățiri semnificative ale efectului algoritmilor de control.*

De exemplu, în Fig. 5, preluată de pe site-ul www.transelectrica.ro, se poate observa dinamica producției bazată pe cărbune comparativ cu celelalte surse. Consumul instantaneu 1-roșu, trebuie susținut cu energia termoelectrica 2-negru, energia hidroelectrica 3-albastru, energia eoliană 4-verde. În această perioada a plouat foarte mult (vara 2018 a fost foarte ploioasă), iar energia produsă de centralele hidroelectrice este semnificativă 3-albastru. Totuși, compensarea realizată de centralele termoelectrice 2-negru este destul de semnificativă. La toate acestea se adaugă și faptul că energia eoliană 4-verde care este prioritară în sistem a scăzut semnificativ, ceea ce înseamnă că dinamica de funcționare a centralelor termoelectrice trebuie să fie și mai puternică. Se poate spune simplist ca “bate vântul->puterea debitată termoelectric scade, se oprește vântul->puterea debitata termoelectric crește”. Această dinamică mare conduce la funcționarea cu randament scăzut, la creșterea prețului pe MW la centralele termoelectrice, dar și la apariția unui fenomen de “stres” la nivelul instalației ce generează uzură și costuri suplimentare. Totuși, datorită necesității unei dinamicii superioare de funcționare se “impune” redimensionarea algoritmilor de control existenți și aducerea acestora în zona algoritmilor evoluați de conducere cu facilități de optimizare on-line.

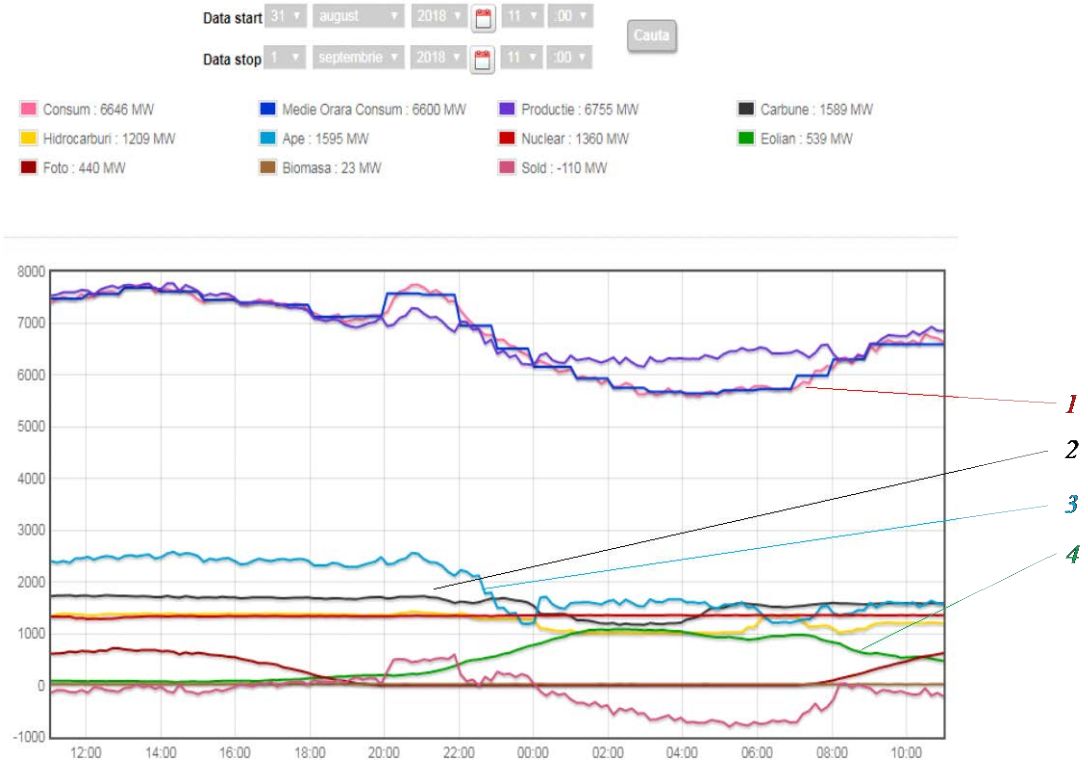


Fig. 5. Producția de energie - structurată pe sursele de producere

Fluxul tehnologic în centrale termoelectrice

Descrierea fluxului tehnologic în centrale termoelectrice este prezentat în sensul ideii de automatizare ca proces. Justificarea acestei descrieri este făcută deoarece *"nu se poate controla ceva ce nu cunoști"*. O centrală termoelectrică este constituită dintr-un ansamblu de instalații care transformă energia înmagazinată în combustibili solizi în energie electrică.

Părțile componente ale unei centrale termoelectrice :

a). *Instalațiile gospodăriei de combustibil*: aceste instalații permit descărcarea, prepararea și transportul până la depozite de capacitate mică, numite buncăre. Cărbunele sosit de la locul de extracție este descărcat cu ajutorul unor benzi transportoare în depozitul de combustibil. Depozitul de combustibil este organizat în aer liber pe o arie de mii sau zeci de mii de m^2. Depozitarea şi consumul se fac conform unor reguli precise pentru a preîntâmpina așa-numita autoaprindere a cărbunelui. Cantitatea înmagazinată trebuie să permită funcționarea centralei timp de 10 sau 15 zile pentru a evita opririle datorate unor greutăți ce pot apărea în aprovizionare. Din depozit, cărbunele este împins cu buldozere spre benzile de transport care îl duc la concasare, unde este sfărâmat până la o anumită granulație. De la stația de concasare, cărbunele este transportat tot prin intermediul unor benzi transportoare spre buncărele de alimentare.

b). *Cazanele cu abur* sunt agregate complexe care transformă energia înmagazinată în combustibil în energie potențială a aburului sub presiune.

c). *Turbinele de abur* constituie motorul primar care transformă energia aburului în energie mecanică, pe care o transmit la generatoarele sincrone.

d). *Generatoarele sincrone* transformă energia mecanică primita prin ax, de la turbine în energie electrică pe care o livrează pe la bornele lor în aria energetică din care fac parte.

e). *Instalațiile anexe* efectuează operații necesare funcționării instalațiilor de bază și se împart în următoarele categorii :

- Instalația de epurare chimică a apei de alimentare a cazanelor
- Instalația apei de răcire a condensatoarelor turbinelor
- Instalația serviciilor interne
- Instalația de evacuare a cenușii
- Instalația de filtrare a gazelor de ardere.
- Instalația de desulfurare (este un proces nou apărut pentru gestiunea noxelor)

Părțile cele mai importante din punct de vedere al conducerii procesului (a unui grup termoenergetic) sunt cazanele, turbinele și generatoarele sincrone.

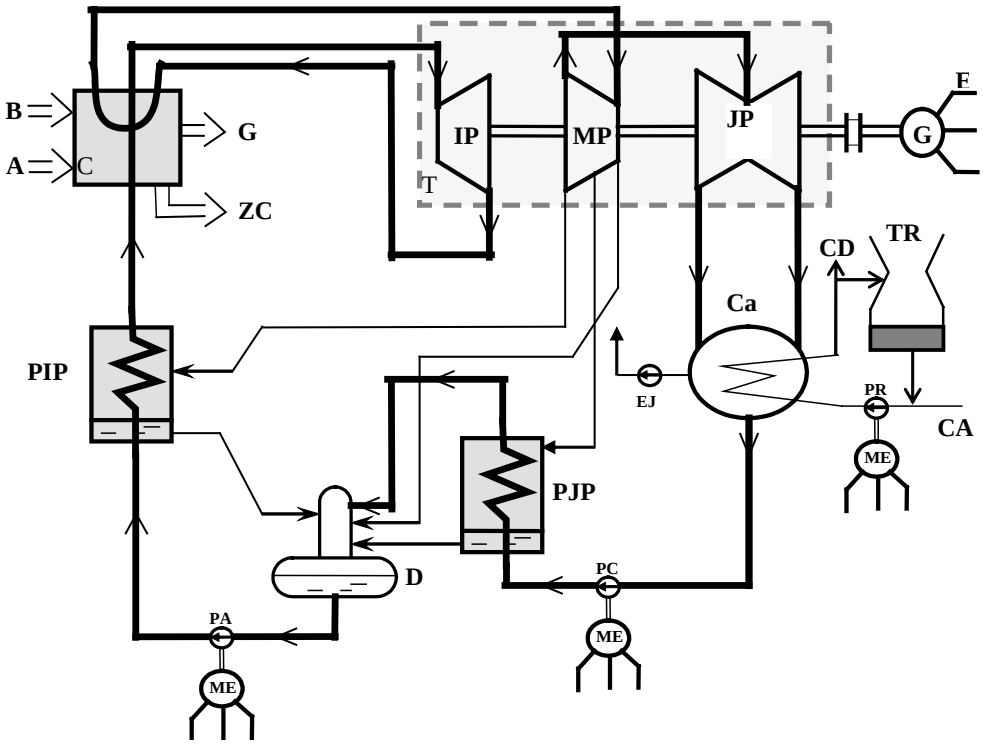


Fig. 6. Schema termomecanică a unui grup termoenergetic

Regimurile dinamice ale acestora prezintă un grad de complexitate ridicat și din acest motiv instalațiile de conducere sunt la rândul lor foarte complicate. Fluxul principal al unui grup termoenergetic este prezentat în Fig. 6, care constituie schema termomecanică de bază. Notații:

- ▹ **C** - *cazan cu abur;*
- ▹ **B** - *combustibil introdus în focarul cazanului;*
- ▹ **A** - *aerul introdus în focar pentru arderea combustibilului;*
- ▹ **G** - *gazele rezultate prin arderea combustibilului;*
- ▹ **ZC** - *zgura și cenușa rezultate prin arderea combustibilului;*
- ▹ **T** - *turbina cu abur ce are următoarele corpuri:*
  - -**IP** - *corp de înaltă presiune;*
  - -**MP** - *corp de medie presiune;*
  - -**JP** - *corp de joasă presiune;*
- ▹ **G** - *generator sincron;*
- ▹ **E** - *energia electrică livrată de generatorul sincron;*
- ▹ **Ca** - *condensatorul de abur;*
- ▹ **EJ** - *ejector sau pompa de vid;*
- ▹ **PR** - *pompa de răcire;*
- ▹ **CA** - *conducta de aducțiune a apei dintr-un râu din apropierea centralei;*

- ▹ **CD** - *canal de deversare;*
- ▹ **TR** - *turn de răcire;*
- ▹ **PC** - *pompa de extracție a condensului din condensator ;*
- ▹ **PIP** - *preîncălzitor de înaltă presiune ;*
- ▹ **D** - *degazor pentru eliminarea gazelor din apă ;*
- ▹ **PA** - *pompa de alimentare ;*
- ▹ **PJP** - *preîncălzitor de joasă presiune;*
- ▹ **ME** - *motor electric de acționare;*
- ▹ **Ca** - *condensator pentru condensarea aburului ce iese din turbină.*

Descrierea (circuitului) fluxului tehnologic este următoarea: în cazanul **C** se introduce apă cu ajutorul pompei de alimentare **PA**, iar în focarul cazanului se introduce combustibil și aer necesar arderii acestuia. Căldura necesară prin arderea combustibilului este transmisă apei ce se vaporizează. Vaporii rezultați circulă apoi prin supra-încălzitoarele de abur și iau naștere în felul acesta *vapori la o presiune de până la 220 bari și o temperatura de* $540^0 C$. Vaporii sub presiune sunt apoi introduși în turbină, ce transformă energia lor potențială în energie mecanică ce se transmite generatorului sincron. Acesta, la rândul său, transformă energia mecanică în energie electrică pe care o livrează la bornele sale cuplate la aria energetică din care face parte. Aburul din turbină trece în condensatorul **Ca** unde se condensează. Căldura pe care o cedează aburul prin condensare este preluată de apa de răcire care circulă prin țevile condensatorului (în număr de câteva mii) împinsă de pompa de răcire **PR**. Apa de răcire încălzită, după ce a trecut prin condensator, este trimisă la râu prin canalul de deversare **CD**, sau este trimisă la turnurile de răcire **TR**, unde este lăsată să curgă liber de la înălțime pentru a se răci. După răcire, apa reintră în circuitul de răcire.

În condensator se creează vid cu ajutorul unui ejector **EJ** (sau pompa de vid), pentru a fi siguri că, scăzând presiunea, toată cantitatea de vapori se condensează. Apoi condensatul este extras cu ajutorul unei pompe de extracție condens **PC** care îl trimite prin preîncălzitorul de joasă presiune **PJP** în degazor. Aici, prin încălzire cu abur prelevat din corpul de medie presiune **MP** al turbinei (prin una din prizele sale de abur), se elimină gazele pe care le conține condensatul (în special oxigen) și care ar putea produce oxidări ale țevilor de fierbere ale cazanului.

Din degazor, apa de alimentare (condensatul degazat) este preluată de pompa de alimentare **PA** şi trecută prin preîncălzitorul de înaltă presiune **PIP** și după aceea este introdusă în cazan.

În felul acesta se închide circulația apei în schema termomecanică, sub cele 3 forme: *abur, condensat și apa de alimentare*. Preîncălzitoarele **PIP** și **PJP** au fost introduse pentru a se mări randamentul întregii instalații. Într-o manieră simplistă se explică faptul că se evită pierderea unei anumite cantități de căldură în condensator, datorită introducerii ei în circuit prin prelevarea unei anumite cantități de abur dintr-un punct intermediar al turbinei, deci după ce o mare parte din energia sa a fost transformată în energie mecanică.

Din transformările energetice la nivelul unui grup termoenergetic, se poate desprinde concluzia că regimul dinamic nu poate fi descris din punct de vedere matematic într-un mod simplu. Numai în baza unor ipoteze *simplificatoare*, ecuațiile cu derivate parțiale pot fi transformate în ecuații diferențiale ordinare, care să ne conducă la o descriere prin funcții de transfer, luând în calcul, practic puncte statice de funcționare.

Concluzia care se poate desprinde este aceea că trebuie acordată o atenție deosebită descrierii cantitative a fenomenelor ce se desfășoară în lanțul transformărilor energetice și abia după aceea trecerea la sinteza sistemelor de conducere corespunzătoare.

Fluxul tehnologic la un cazan cu abur

Cel mai complex sistem la nivelul unui grup termoenergetic este cazanul cu abur, deoarece este un proces lent și după câte se spune în foarte multe cărți de specialitate, procesele lente sunt foarte greu de controlat. Cazanele se împart în 3 tipuri principale:

1. Cazane cu circulație naturală

2. Cazane cu circulație forțată

3. Cazane cu străbatere forțată

Schema de principiu este prezentată în Fig. 7. Notații:

◁▷ **BC** - buncăr de cărbune,

◁▷ **BT** - bandă transportoare,

◁▷ **R** - reductor,

◁▷ **MA** - motor de antrenare,

◁▷ **AR** - conductă pentru aerul de răcire,

◁▷ **MC** - moara de cărbune,

◁▷ **AA** - aer de ardere,

◁▷ **CMAA** - controlul mecanismului de acționare a aerului,

◁▷ **ZA** - zona arzătorului,

◁▷ **TF** - țevi fierbătoare,

◁▷ **TC** - țevi de coborâre,

◁▷ **CI** - colector inferior,

◁▷ **T** - tambur,

◁▷ **SR** - supraîncălzitor de radiație pentru abur viu,

◁▷ **SC** - supraîncălzitor de convecție pentru abur viu,

◁▷ **SI** - supraîncălzitor intermediar,

◁▷ **INJ1, INJ2**- injecțiile de condens 1 și 2,

◁▷ **INJI** - injecție intermediară,

◁▷ **VR** - ventile pentru reglarea debitelor apei de injecție,

◁▷ **BTC**- banda transportoare pentru cenușă,

◁▷ **IEC** - instalație pentru evacuarea cenușii,

◁▷ **DAG** - drumul ascendent al gazelor,

◁▷ **DDG** - drumul descendent al gazelor,

◁▷ **Pa** - preîncălzitor de aer,

◁▷ **E** - economizor,

◁▷ **VA** - ventilator de aer,

◁▷ **PA** - priza de aer,

◁▷ **CG** - canal de gaze,

◁▷ **PA** - pompe de alimentare,

◁▷ **VRAA** - ventil pentru reglarea apei de alimentare.

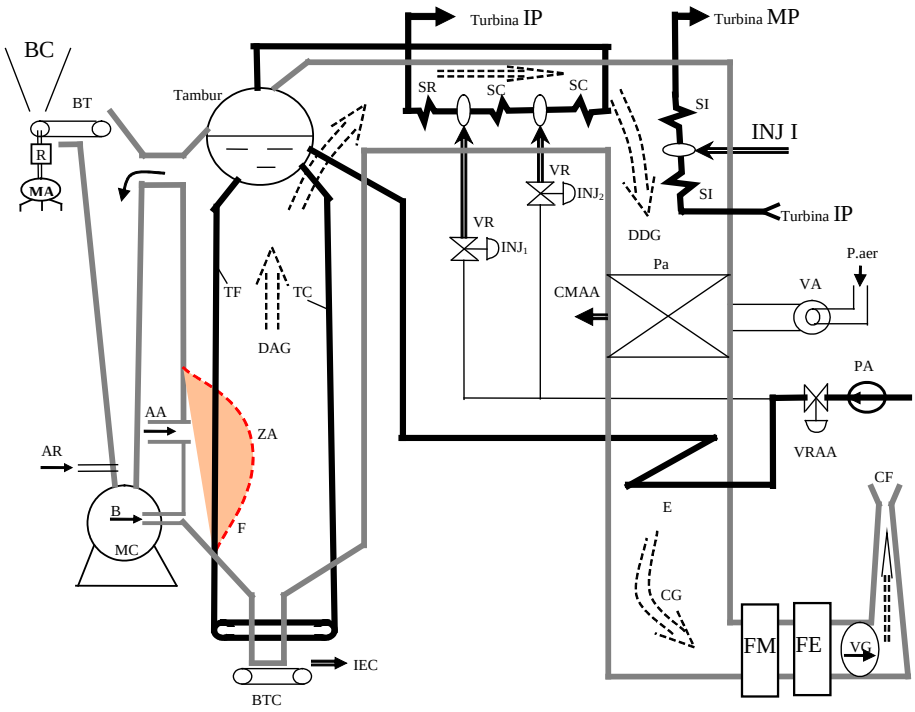


Fig. 7. Schema de principiu a unui cazan cu abur

Funcționarea cazanului se poate explica astfel :

Cărbunele sosit de la stația de concasare este depozitat în buncărul **BC** de unde cu ajutorul benzii transportoare **BT** este introdus în moara de cărbune **MC**. Debitul de cărbune introdus depinde de viteza benzii **BT** și de grosimea stratului de cărbune pe bandă, care vor trebui controlate (reglate). Moara de cărbune este de tip ventilator, adică are un stator, iar în interiorul acestuia se găsește un rotor cu palete radial-longitudinale, care prin învârtire, aspiră pe lângă axul său și refulează tangențial printr-o conductă spre arzător. Cărbunele aspirat în moară, împreună cu gazele arse din focarul **F** este sfărâmat fin prin lovire de către paletele rotorului morii de cărbune, după care e refulat în zona arzătorului **ZA** unde începe să ardă datorită aerului de ardere **AA** introdus printr-o conductă prevăzută cu o clapetă de reglare. Cărbunele care arde în focarul **F** dezvoltă o cantitate de căldură corespunzătoare, care este transmisă într-un procent foarte mare țevilor fierbătoare **TF** care *"căptușesc"* în mod practic pereții cazanului.

La rândul lor, țevile încălzesc apa care se află în ele, cea ce conduce la vaporizarea acesteia. Vaporii se separă de apă în partea superioara a tamburului de unde pleacă în instalația de supraîncălzire și aburul merge la corpul de înaltă presiune **IP** al turbinei. După ieșirea din corpul de înaltă presiune al turbinei, aburul se întoarce în cazan în supraîncălzitorul intermediar, după care trebuie să intre în corpul de medie presiune **MP** al turbinei.

În focarul **F**, datorită arderii cărbunelui, iau naștere gaze și cenușă. Gazele, care au o temperatură ridicată (>1000 ^{0}C) transmit prin convecție căldura pe care o conțin țevilor fierbătoare prin parcurgerea drumului ascendent al gazelor **DAG**. În partea superioară, gazele de ardere întâlnesc supraîncălzitoare pe care le *"spală"* cedându-le o anumită cantitate de căldură pentru supraîncălzirea aburului. După cum se poate observa din schema anterioară, urmează apoi drumul descendent al gazelor **DDG** în care gazele parcurg preîncălzitorul de aer **Pa** și economizatorul **E**.

Căldura transmisă aerului în preîncălzitor **Pa** și a apei de alimentare în economizorul **E**, face ca randamentul global al cazanului să crească. Se realizează în același timp și alte efecte favorabile, cum ar fi evitarea introducerii apei de alimentare la o temperatura prea scăzută în tambur, cea ce ar duce la diferențe mari de temperatură urmată de solicitări termice nepermise.

După parcurgerea drumului descendent **DDG**, gazele intră în canalul de gaze **CG** prin care ajung la filtrele mecanice **FM**, după care urmează filtrele electrostatice **FE**. În filtrele mecanice se realizează o filtrare grosieră, iar în filtrele electrostatice se face o filtrare fină (din cantitatea totală de praf, filtrele electrostatice pot reține până la 99%).

După filtrele de aer urmează ventilatorul de gaze care le aspiră și le trimite spre coșul de fum **CF** refulându-le în atmosferă. Aerul necesar arderii este furnizat de ventilatorul **VA** care are o priza de aspirație **Pa** situată în partea superioară a clădirii sălii cazanelor.

Aceste lucruri reprezintă o expunere pe scurt a proceselor în cazanul cu circulație naturală a apei.

Cazanul cu circulație forțată nu diferă ca schemă față de cel cu circulație naturală, decât prin existența unei pompe în circuitul format de țevile de coborâre, țevile de fierbere și tamburul, care forțează circulația apei realizându-se astfel o vaporizare mai intensă.

Cazanul cu străbatere forțată diferă de cele două tipuri prin lipsa tamburului și a țevilor de coborâre. La acest tip de cazan, apa de alimentare este introdusă direct în țevile fierbătoare pe parcursul cărora se vaporizează complet. Din țevile fierbătoare, vaporii trec în instalația de supraîncălzire, urmând apoi drumul descris în cazul cazanului cu circulație naturală.

Cerințe de automatizare la nivelul grupurilor termoenergetice

Sistemul de automatizare este format dintr-o serie de echipamente de măsură și control, având rolul de a asigura pentru centrala termoelectrică o funcționare sigură și eficientă care să corespundă cerințelor sistemului energetic național. Aceste cerințe nu trebuie să încalce restricțiile de siguranță și funcționale ale instalațiilor ce formează grupul energetic. De exemplu, limitările metalurgice impun un set de limite impuse pentru temperaturile metalului cazanului, pentru compoziția chimică a apei de alimentare, etc. În plus, funcționarea instalației trebuie să respecte restricțiile privind și protecția mediului. Echipamentele de automatizare trebuie să permită conducerea automată dar și manuală a grupurilor energetice astfel încât să se asigure :

- $\Rightarrow$ menținerea instalațiilor în interiorul restricțiilor de siguranță în exploatare
- $\Rightarrow$ monitorizarea limitelor și a condițiilor de exploatare, asigurarea indicațiilor imediate și înregistrarea permanentă a valorilor parametrilor
- $\Rightarrow$ semnalizarea și atenționarea operatorului tehnolog prin sistemul de alarmă a instalațiilor dacă restricțiile de funcționare au fost încălcate.

Sistemul de conducere trebuie sa asigure în principiu două categorii de sarcini:

1. Sarcini de sistem, dictate de sistemul energetic sau de consumatori;

2. Sarcini de grup sau locale, dictate de funcționarea internă a grupului energetic.

Sarcinile de sistem constau în livrarea unei anumite puteri electrice în sistemul energetic, la o anumită tensiune și o anumită frecvență. În general, *reglarea puterii se*

asigură prin comanda debitului de abur destins în turbină, iar reglarea tensiunii prin comanda tensiunii de excitație a generatorului.

Sarcinile locale sau de grup rezultă de fapt din sarcinile de sistem, în sensul că anumiți parametrii interni concură la realizarea sarcinilor de sistem, aceștia trebuie menținuți între anumite limite considerate normale pentru un anumit regim de funcționare, astfel încât grupul să nu ajungă în situații de avarie.

De exemplu, pentru controlul puterii grupului energetic prin debitul de abur furnizat de cazan, aburul trebuie adus la o anumită temperatură și presiune. Aceste mărimi trebuie menținute între anumite limite pentru evitarea aparițiilor unor situații de avarie atât la cazan cât și la turbină:

- pentru turbină, o destindere prea puternică a aburului poate conduce la condensarea aburului în turbină cu efecte devastatoare.
- pentru cazan, care, din punct de vedere dinamic este un proces lent în comparație cu turbina și generatorul, variația bruscă a debitului de abur poate conduce la perturbații serioase în circuitul apa-abur care declanșează sistemul de interblocare.

În cadrul acestor sarcini, *reglarea temperaturii aburului viu se asigură prin comanda debitului de combustibil.*

Sarcinile locale constau în :

- reglarea procesului de ardere, asigurându-se aerul de ardere pentru arderea completă și economică a combustibilului și evacuarea gazelor de ardere
- reglarea nivelului apei în tambur la cazanele cu tambur.

Din analiza fluxului tehnologic și ținând cont ca energia termică și în special energia electrică produsă nu poate fi stocată (*deci producția trebuie să fie egală cu consumul în orice moment de timp*) rezultă sarcini extrem de complexe pentru sistemele automate de conducere a grupurilor energetice.

În Fig. 8 se prezintă structura sistemului de conducere, cu echipamentele de automatizare grupate în funcție de sarcinile pe care le execută. Funcționarea lor se bazează pe informațiile primite de la proces prin intermediul senzorilor și traductoarelor notate în Fig. 8 cu “S” și acționează asupra procesului prin intermediul elementelor de execuție notate cu “A” ce au acțiune continuă sau discontinuă. Scurtă descriere:

a). sisteme de achiziție și prelucrare primară a datelor formate din totalitatea senzorilor și traductoarelor ce măsoară continuu sau la anumite intervale de timp parametrii tehnologici (debite, temperaturi, nivele de lichid, puteri, frecvență,….) precum și starea utilajelor sau echipamentelor (pornit/oprit, închis/deschis, maxim/minim).

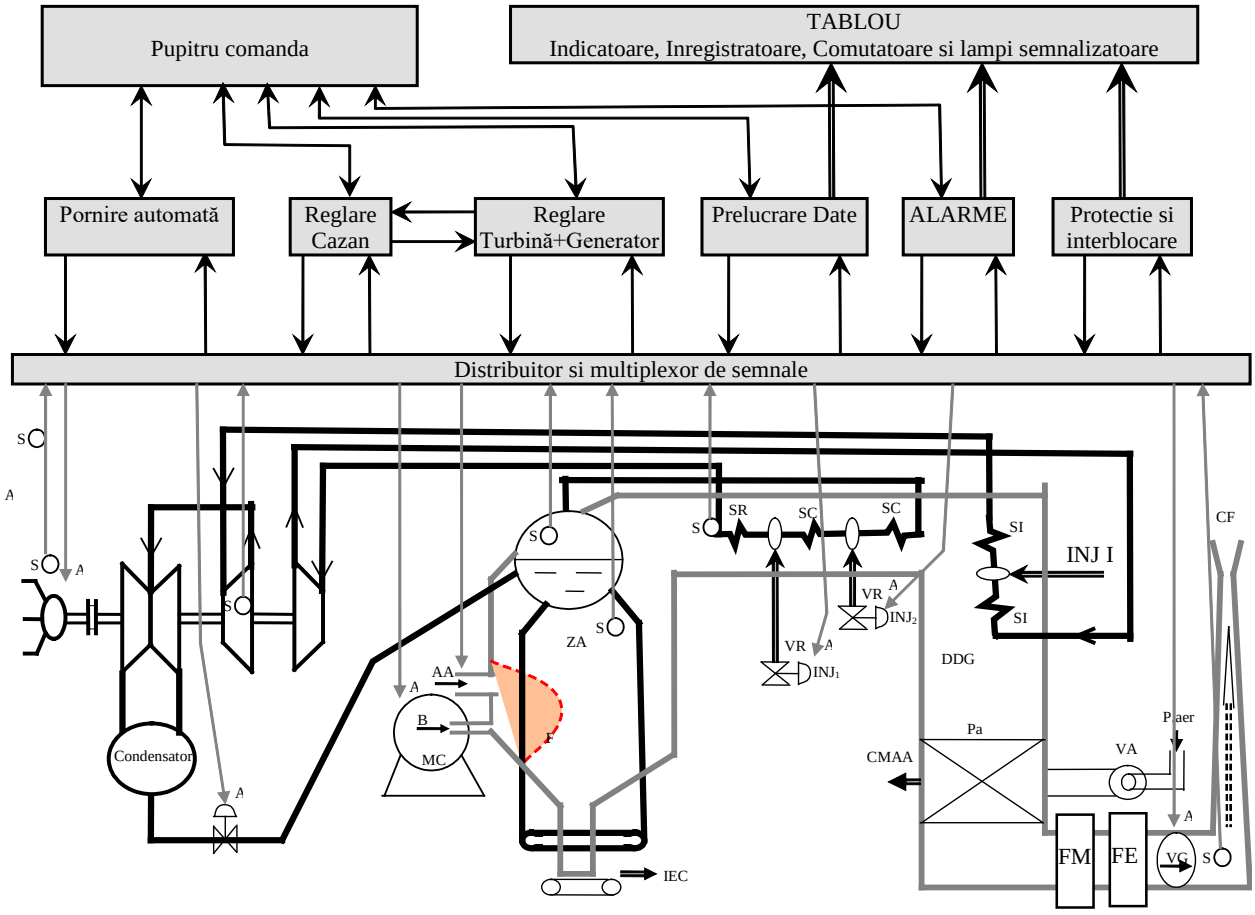


Fig. 8. Structura sistemului de conducere

b). sisteme de reglare automată ce asigură menținerea constantă sau modificarea după un program impus a parametrilor tehnologici, în limitele de siguranță, conform cerințelor de funcționare economică și sigură a grupului. Pentru creșterea performanțelor sistemului, simplificarea structurii și asigurarea unei fiabilități maxime în funcționarea ansamblului, aceste sisteme se grupează în următoarele categorii :

b1.) sisteme de control al alimentării cu combustibil ce cuprinde:

- Controlul încărcării morilor
- Controlul temperaturii morilor
- Controlul aerului de forțare prin moară
- Controlul aerului total

b2.) sisteme de control al alimentării cu condens al cazanului asigurând reglarea debitului de condens, controlul pompelor de alimentare în regim normal sau regimuri de pornire, sau stand-by, controlul ventilelor de reglare în regim normal sau de pornire și controlul presiunii de refulare sau a diferenței de presiune pe ventilele de reglare.

b3.) sistemul de control al procesului de ardere și evacuare a gazelor arse ce asigură arderea completă a combustibilului cu randament maxim la conversia căldurii, reglarea depresiunii în focar și controlul electrofiltrelor.

b4.) sisteme de control a preîncălzirii apei de alimentare în PIP-uri și PJP-uri astfel încât să se asigure un randament termic global cât mai mare al cazanului.

b5.) sisteme de control a temperaturii de supraîncălzire a aburului ce asigură menținerea constantă a temperaturii aburului la ieșirea din ultimul supraîncălzitor prin injecție de condens.

b6.) sisteme de control al vibrațiilor turbinei astfel încât să se asigure evitarea situațiilor de avarii la turbină și generator.

b7.) sisteme de control a încărcării grupului energetic prin comanda debitului de abur asigurând reglarea turației generatorului, reglarea puterii și frecvenței grupului energetic și reglarea tensiunii la bornele generatorului.

c). sistemul de semnalizare, protecție, interblocare și comandă manuală. Acest sistem utilizează echipamente de conducere logică și are următoarele funcțiuni generale :

- controlul și supervizarea instalației în manieră sigură și eficientă din camera de comandă a grupului sau din tablourile locale, limitând operațiile manuale numai la testare, întreținere, siguranță globală de funcționare.
- ghid operator, în special în regimurile complexe corespunzătoare pornirilor, ce impun controlul și comanda automată secvențială a funcțiunilor grupului energetic.
- pornirea și oprirea grupului energetic în maniera prescrisă și considerată în timp minim, cu respectarea unor limitări cumulative.
- prevederea resurselor în situații de avarii care să asigure menținerea în funcțiune a grupului (pompe, ventilatoare, ventile de reglare).

d). sisteme de supervizare și optimizarea la nivelul centralei, asigură controlul funcționării grupului și repartiția sarcinilor de sistem pe fiecare grup, astfel încât să se asigure o optimizare globală a întregii centrale.

Condiții impuse de funcționarea normală a centralelor termoelectrice

Centralele termoelectrice aparțin unei arii energetice sau unui sistem energetic și funcționează în paralel, fiind interconectate prin rețele de transport și distribuție la consumatorii de energie electrică. Energia electrică necesară în sistemul energetic trebuie distribuită pe fiecare centrală în parte în funcție de puterea disponibilă și de

funcționarea optimă și sigură a acesteia. Energia electrică furnizată în sistem de fiecare centrală trebuie să îndeplinească anumite condiții calitative concretizate prin valoarea frecvenței și tensiunii electrice.

Tensiunea electrică la bornele generatorului sincron cu care sunt dotate grupurile energetice, se poate regla la nivelul generatorului, prin comanda (variația) excitației sale. Frecvența însă, depinde de turația sau viteza unghiulară a rotorului generatorului cuplat rigid cu rotorul turbinei care depinde la rândul său de echilibrul cuplurilor, motor și rezistent, la arbore.

Cuplul motor la arborele turbinei depinde de debitul de abur și parametrii acestuia. Admisia aburului în turbină se poate modifica după dorință prin comanda ventilului de admisie al aburului în turbină.

Aburul, la parametri ceruți (presiune și temperatură) este furnizat de cazan, obiect cu o capacitate de acumulare mult mai mare decât a turbinei, dar totuși, în regim staționar debitul de abur produs de cazan trebuie să fie egal cu debitul de abur consumat de turbină. În caz contrar apar variații ale presiunii și temperaturii acestuia. Debitul de abur produs de cazan și parametrii săi pot fi controlați prin intermediul mărimilor de intrare ale cazanului.

Fiecare din variabilele de stare, intrare și ieșire ale cazanului, turbinei şi generatorului sunt supuse unor limitări de ordin tehnologic sau constructiv, *atât ca valori cât și ca viteze de variație*, atât ca valori minime cât și valori maxime.

Din punct de vedere dinamic, cazanul are în general o inerție și o robustețe (deci și o capacitate de acumulare) mult mai mare în raport cu turbina și generatorul și va fi deci mai puțin sensibil la variații bruște de scurtă durată ale sarcinii și poate suporta fără pericol de defecțiune asemenea variații. Drept urmare, atenția în privința calității reglării, a intervențiilor controlului automat, trebuie acordată cu prioritate turbinei și apoi cazanului.

Conform celor expuse, se impune ca sistemul de conducere automată a grupurilor termoenergetice să fie împărțit în următoarele categorii de sarcini :

- sarcini de sistem,
- sarcini de grup,
- sarcini de deservire și întreținere.

Sarcinile de sistem reprezintă cerințele impuse de aria sau sistemul energetic din care face parte centrala și se traduc prin aceea că sistemul de conducere al grupului trebuie să acționeze în sensul creșterii stabilității sistemului energetic în regim normal sau

de avarie. Acest lucru se traduce prin cerința de furnizare în fiecare moment de timp a unei puteri impuse, constantă sau variabilă după un anumit program.

Sarcinile de grup reprezintă cerințele impuse sistemului de reglare al grupului ca să mențină parametrii de funcționare în toate regimurile, în limitele impuse. Acestea vor duce la creșterea duratei de funcționare și a eficienței de utilizare.

În condiții speciale de funcționare, cerințele de sistem pot fi în contradicție cu cerințele de grup, caz în care se dau prioritate cerințelor de sistem dacă nu se depășesc limitele de siguranță ale grupului. Dacă acest lucru nu se poate îndeplini, se neglijează cerințele de sistem (nu se mai livrează puterea cerută), luându-se în considerare cerințele de grup astfel încât să se restabilească cât mai rapid puterea furnizată la valoarea cerută de sistem.

În concluzie, sistemul de conducere automată a grupului energetic va urmări în permanență asigurarea puterii electrice (activă și/sau reactivă) impusă conform graficului orar dinainte stabilit cu respectarea însă a condițiilor de siguranță pentru grup. În cazul în care apare o situație de avarie, se neglijează cerințele de funcționare ale turbinei şi apoi ale cazanului.

Apare necesitatea introducerii unei structuri de conducere ierarhizată conținând un sistem COORDONATOR CAZAN pentru cazan, un sistem COORDONATOR TURBINĂ, ce coordonează sistemele de reglare ale turbinei și generatorului, ambele supravegheate de un al treilea COORDONATOR SISTEM.

În regim normal de funcționare sistemul de conducere COORDONATOR SISTEM stabilește mărimile de referință: presiune și debit de abur pentru sistemul COORDONARE TURBINĂ și debitul de combustibil și presiunea aburului pentru sistemul COORDONARE CAZAN.

În cazul în care nu se mai respectă condițiile de siguranță pentru turbină sau cazan, sistemele de coordonare corespunzătoare intervin, neglijează cerințele de sistem și readuc cât mai rapid posibil turbina sau cazanul la parametrii ceruți. Indiferent de regimul de funcționare, tensiunea și frecvența turbinei trebuie menținute constante.

Ansamblul CAZAN $\Leftrightarrow$ TURBINĂ $\Leftrightarrow$ GENERATOR trebuie tratat ca un tot unitar și se încadrează în categoria sistemelor mari, sisteme multivariabile, neliniare și cu restricții severe, interne și externe, pe parcursul funcționării.

Concluzii

- În acest moment la un grup termoenergetic sunt în jur de 100 de Bucle de reglare ce funcționează independent. Pe parcursul funcționării, aceste bucle de reglare se influențează una pe cealaltă, ajungându-se în timp la instabilitate și astfel grupul energetic va intra pe avarie. Practic, în timp, fiecare buclă începe să ***"greșească"*** câte puțin și, datorită inter-influențelor, se poate ajunge la un ***"fenomen de rezonanță"*** ce conduce inevitabil la instabilitatea întregului sistem. De exemplu, *Temperatura* aburului viu este influențată de *Presiunea* aburului viu ceea ce înseamnă inevitabil că cele 2 bucle de reglare a Temperaturii și a Presiunii se vor influența una pe cealaltă în mod dinamic.
- După o identificare/modelare precisă a proceselor reale, se poate obține o redimensionare a algoritmilor de control, astfel încât să se obțină o creștere semnificativă a productivității și stabilității.
- Validarea proiectării și implementării Nivelurilor 2, 3 și 4 din arhitectura DCS poate fi realizată fără a perturba activitatea grupului termoenergetic, în sensul că se poate conecta un simplu calculator în sistemul existent, calculator care va prelua toate datele măsurate sau disponibile din proces și totodată va simula în paralel cu procesul real tot ce înseamnă funcționalitate proiectată.

Bibliografie

[1] Jean-Jacque Slotine, Weiping Li, "*Aplied nonlinear control*", Pretince-Hall, 1991.

[2] Matei Vînătoru *"Conducerea automată a proceselor industriale"*, Ed. Universitaria Craiova, 2001.

[3] Ion Marian Popescu, *"Sistem de prelucrare a vibrațiilor pentru mentenanță predictivă și modelarea în buclă închisă a unor procese complexe"*, Editura Sitech, Craiova, 2011.

[4] http://www.transelectrica.ro/widget/web/tel/sen-grafic/-/SENGrafic_WAR_SENGraficportlet (31.08.2018)

[5] Documentare directă, Termocentrala Rovinari, 2018.

[6] Constantin Marin, *"Structuri și legi de reglare automată",* Editura Universitaria, Craiova, 2000.

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

Aplicații software pentru modelarea și simularea proceselor industriale (dezvoltate în mediile Matlab/Simulink, LabView)

1. Introducere

Competențele și expertizele prezentate și dezvoltate de echipa ASCODATA 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. Unul dintre obiectivele specifice ale proiectului este *Identificarea și oferirea de soluții software inovative* din domeniul informaticii aplicate și al automaticii. Ideea de cercetare aplicativă este sintetizată de paradigma Sistemelor de Control Distribuite (Distributed Control Systems - 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 specifice sistemelor de control. Arhitectura acestor instrumente software este una deschisă și emulează ideea de toolbox-uri caracteristice celor mai importante medii de proiectare asistată de calculator din domeniul ingineriei sistemelor. În portofoliul curent este vizat Nivelul 0 al DCS, și anume dezvoltarea unor *instrumente software specifice pentru modelarea și simularea proceselor industriale,* dezvoltate în medii de programare precum LabView de la National Instruments și/sau Matlab/Simulink de la Mathworks.

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 prezentul portofoliu de expertize și competențe sunt descrise aplicații software care permit modelarea și simularea proceselor tehnologice din cadrul acestor firme, pe baza limbajului unitar de descriere oferit de teoria sistemelor. Modelele și instrumentele software permit dezvoltarea de soluții de control și implementarea informatizării de proces a întreprinderilor.

2. Realizarea și implementarea software a modelelor unor procese tipice utilizând LabView și Matlab

2.1 Reconstituirea semnalului continuu. Extrapolatoare de ordinul 0

Realitatea practică a arătat că majoritatea instalațiilor tehnologice care necesită automatizare și informatizare sunt sisteme continue, care acceptă ca intrări semnale continuale și oferă la ieșire tot semnale continuale. De asemenea, majoritatea elementelor de execuție precum și a traductoarelor sunt tot sisteme continue. Astfel, putem spune că așa-numitele părți fixe ale sistemelor de reglare automate (SRA) sunt în esență sisteme continue care acceptă ca semnale de intrare semnale continuale și oferă la ieșire tot semnale continuale. De regulă, prin partea fixă a unui SRA se înțelege ansamblul format din procesul propriu-zis, elementele de execuție și traductoare, adică acele elemente care nu se modifică în timpul procesului de proiectare a SRA.

Atunci când se pune problema realizării unui sistem de reglare în care elementul de reglare (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). Părțile fixe continue nu acceptă ca intrare o mărime pur discretă, numerică, aceasta fie din cauză că nu pot prelucra aceste semnale, fie că benzile laterale de frecvență înaltă din spectrul semnalului eșantionat determină o uzură excesivă a unor elemente componente. Rezultă că trebuie refăcută forma continuală a semnalului de intrare în aceste elemente, prin îndepărtarea benzilor complementare din spectrul semnalului eșantionat cu ajutorul unui filtru trece jos - FTJ. Semnalele continuale reale au o bandă limitată, ceea ce face neutilizabil un filtru real. Atunci, cea mai bună soluție este reconstituirea semnalului continuu printr-o aproximare cât mai bună a acestuia. În practică se caută soluții care să realizeze un compromis între precizia și durata operației de reconstituire a semnalului continuu.

Procesul de aproximare a semnalului continuu pe baza semnalului eșantionat poate fi considerat un proces de extrapolare.

Să considerăm în continuare secvența numerică $\{u(0), u(T_e), u(2T_e), \ldots, u(kT_e), \ldots\}$. Se poate considera că această secvență numerică se obține prin eșantionarea unui semnal continual $u(t)$:

$$u_k = u(kT_e) = u(t)\big|_{t=kT_e} \tag{1}$$

Această secvență numerică nu se poate aplica la intrarea unei instalații continue, motiv pentru care ea trebuie transformată într-un semnal continual. Procesul de extrapolare constă în obținerea, printr-un anumit procedeu, a unui semnal continual $u(t)$ din eșantioanele sale; se poate spune că extrapolarea este operațiunea inversă eșantionării. Pentru studiul procesului de extrapolare, vom considera dezvoltarea în serie Taylor a semnalului continual în jurul unui punct de eșantionare oarecare kT_e:

$$u(t) \cong \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(t-kT_e)^n}{n!} u^{(n)}(kT_e)$$

$$= u(kT_e) + \frac{(t-kT_e)}{1!} u^{(1)}(kT_e) + \frac{(t-kT_e)^2}{2!} u^{(2)}(kT_e) + \cdots + \frac{(t-kT_e)^n}{n!} u^{(n)}(kT_e) + \cdots ,$$

$$t \in [kT_e, (k+1)T_e). \qquad (2)$$

În relația (2) obținem o egalitate în cazul în care considerăm o infinitate de termeni în dezvoltare. În realitate, vom fi obligați să considerăm un număr finit de termeni. Astfel, dacă se consideră numai primul termen, deci $n = 0$, se obține o extrapolare de ordin 0:

$$u(t) \cong u(kT_e), \ t \in [kT_e, (k+1)T_e) \qquad (3)$$

Pentru o extrapolare de ordin 1, vom lua primii doi termeni a sumei, adică vom suma până la $n = 1$:

$$u(t) \cong u(kT_e) + \frac{(t-kT_e)}{1!} u'(kT_e), \ t \in [kT_e, (k+1)T_e) \qquad (4)$$

În practică, extrapolatorul de ordinul 0 este chiar CNA-ul (convertorul numeric-analogic). Acesta implementează relația (3) și transformă o secvență numerică într-un semnal continual constant pe porțiuni de lungime (durată) T_e.

Extrapolatorul de ordinul zero oferă la ieșire o valoare constantă între două perioade de eșantionare, valoarea constantă fiind egală cu valoarea eșantionului numeric.

Pentru determinarea funcției de transfer a extrapolatorului de ordinul 0, vom ține cont de faptul că această funcție de transfer este transformata Laplace a răspunsului la impuls (discret), definit prin:

$$u_k = \delta_k = \begin{cases} 1, & k = 0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases}$$

La ieșire se va obține:

$$y(t)=\begin{cases}1,\ t\in\left[kT_e,(k+1)T_e\right)\\0,\text{ în rest}\end{cases}$$

sau $y(t)=1(t)-1(t-T_e)$. Transformata Laplace a acestei relații ne conduce la:

$$Y(s)=\frac{1}{s}-e^{-sT_e}\frac{1}{s}=\frac{1-e^{-sT_e}}{s}$$

Rezultă că funcția de transfer a extrapolatorului de ordinul 0 va fi:

$$H_{EOZ}(s)=\frac{1-e^{-sT_e}}{s} \tag{5}$$

Pentru simularea numerică a sistemului de reglare automată, părții fixe $H_F(s)$ i se atașează la intrare extrapolatorul de ordin 0 (CNA-ul) astfel încât obținem:

$$H_F(z)=Z\left\{H_{EOZ}(s)\cdot H_F(s)\right\}=\left(1-z^{-1}\right)\cdot Z\left\{\frac{H_F(s)}{s}\right\},\ \text{unde}\ z=e^{sT_e} \tag{6}$$

În MATLAB dispunem de metoda de eșantionare ‘zoh’ (*zero-order hold*) care implementează discretizarea din relația (6) și care este metoda de discretizare cea mai adecvată pentru părțile fixe continue dintr-un sistem de reglare automată.

În conformitate cu relația (4) dispunem și de posibilitatea de folosire la intrarea în partea fixă a unui extrapolator de ordinul 1. Acest lucru se face discretizând partea fixă prin metoda ‘foh’ (*first-order hold*). Această metodă nu este prea des utilizată deoarece, în realitate, nu se folosesc extrapolatoare de ordinul întâi.

Timpul mort τ al unui sistem continuu este aproximat printr-un număr întreg *N* de perioade de eșantionare, dat de $N=\left[\frac{\tau}{T_e}\right]$. Atunci timpul mort se aproximează prin:

$$\tau\cong N\cdot T_e$$

de unde rezultă că: $e^{-\tau s}\cong e^{-N\cdot T_e\cdot s}=\left(e^{s\cdot T_e}\right)^{-N}=z^{-N}$. Deci,

$$e^{-\tau s}\cong z^{-N},\ \text{unde}\ z=e^{sT_e} \tag{7}$$

Funcția de transfer a unui sistem continuu cu timp mort nu mai este o funcție rațională, ea fiind de forma

$$H_{EOZ-F}(s)=e^{-\tau s}\cdot\tilde{H}(s) \tag{8}$$

unde τ este timpul mort iar $\tilde{H}(s)$ este o funcție de transfer rațională. Folosind (6) și (7), rezultă că echivalentul discretizat al unei părți fixe cu timp mort va fi:

$$H_{EOZ-F}(s) = e^{-\tau s} \cdot \tilde{H}(s) \xrightarrow[\text{discretizare}]{} \left(1 - z^{-1}\right) \cdot z^{-N} \cdot Z\left\{\frac{\tilde{H}(s)}{s}\right\} = H_F(z) \qquad (9)$$

2.2 Obținerea ecuațiilor recursive

În general, părțile fixe sunt sisteme continue care se aproximează prin funcții de transfer care conțin 1, 2, 3 sau maxim 4 poli. La aceștia se adaugă un număr de zerouri precum, dacă este cazul, timpul mort. O parte fixă discretă este în esență un algoritm recursiv care implementează o relație intrare-ieșire corespunzătoare unei funcții de transfer discrete furnizate de relația (9). Relația (9) poate avea diferite forme în funcție de forma particulară a funcției de transfer raționale $\tilde{H}(s)$. În cele ce urmează vom exemplifica doar câteva dintre părțile fixe care pot fi întâlnite în practică.

2.2.1 Forma recursivă a unor părți fixe discrete

Sistem de ordinul I

Pentru sistemele de ordinul I se obțin următoarele relații:

$$\begin{cases} H_F(s) = \dfrac{K_p e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}; \quad a = \dfrac{1}{T_1} \\ H_{EOZ-F}(z) = z^{-N} \dfrac{K_p z^{-1}(1 - e^{-aT})}{1 - z^{-1} e^{-aT}} \end{cases}$$

unde T este perioada de eșantionare.

Sistem de ordinul II (2 poli reali)

Pentru sistemele de ordinul II se obțin următoarele relații:

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

unde: $\begin{cases} b_1 = 1 - \dfrac{a_2}{a_2 - a_1} e^{-a_1 T} + \dfrac{a_1}{a_2 - a_1} e^{-a_2 T} \\ b_2 = e^{-a_1 T} e^{-a_2 T} - \dfrac{a_2}{a_2 - a_1} e^{-a_2 T} + \dfrac{a_1}{a_2 - a_1} e^{-a_1 T} \end{cases}$.

Sistem de ordinul I + integrator

$$\begin{cases} H_F(s) = \dfrac{K_p e^{-\tau s}}{s(T_1 s + 1)}; \quad a = \dfrac{1}{T_1} \\ H_{EOZ-F}(z) = K_p z^{-N} \dfrac{z^{-1}(aT - 1 - e^{-aT}) + z^{-2}(-aTe^{-aT} + 1 - e^{-aT})}{a(1 - z^{-1})(1 - z^{-1}e^{-aT})} \end{cases}$$

Sistem de ordinul II (2 poli reali + 1 zerou)

$$\begin{cases} H_F(s) = \dfrac{K_p(T_3 s + 1)e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}; \quad a_1 = \dfrac{1}{T_1}, a_2 = \dfrac{1}{T_2}, \ a_3 = \dfrac{1}{T_3} \\ H_{EOZ-F}(z) = K_p z^{-N} \dfrac{-z^{-1}b_1 + z^{-2}b_2}{(1 - z^{-1}e^{-a_1 T})(1 - z^{-1}e^{-a_2 T})} \end{cases}$$

unde: $\begin{cases} b_1 = e^{-a_1 T} + e^{-a_2 T} - 1 + \dfrac{a_2(a_3 - a_1)}{a_3(a_1 - a_2)} e^{-a_2 T} - \dfrac{a_1(a_3 - a_2)}{a_3(a_1 - a_2)} e^{-a_1 T} \\ b_2 = e^{-a_1 T} e^{-a_2 T} + \dfrac{a_2(a_3 - a_1)}{a_3(a_1 - a_2)} e^{-a_2 T} - \dfrac{a_1(a_3 - a_2)}{a_3(a_1 - a_2)} e^{-a_1 T} \end{cases}$.

După cum se observă din relațiile de mai sus, dacă dorim să creăm o bibliotecă de părți fixe ar trebui să implementăm efectiv toți acești algoritmi recursivi. Evident, acest lucru este perfect posibil dar nu constituie o abordare elegantă și intuitivă. Soluția va fi reprezentată de utilizarea instrumentului virtual evoluat *MATLAB Script*.

2.2.2 Implementarea părții fixe discrete folosind MATLAB Script

Instrumentul virtual ce va implementa sub LabVIEW și care va simula funcționarea părții fixe (a procesului industrial) va fi construit în jurul structurii *MATLAB Script*.

Controalele ce vor furniza parametrii de intrare ai părții fixe se vor conecta cu intrările în această structură. Cu ajutorul acestor controale vom putea configura structura părții fixe și furniza parametrii corespunzători precum și pe cei ai simulării (perioada de eșantionare).

Mărimea de intrare în partea fixă (comanda de la regulator) precum și mărimea de ieșire din partea fixă (mărimea măsurată) se vor afișa folosindu-se ieșirile din această structură.

Panoul frontal se va prezenta sub forma din Fig. 1.

Partea fixă se furnizează ca un produs de funcții de transfer cu proprietăți distincte, descrise de relațiile (10).

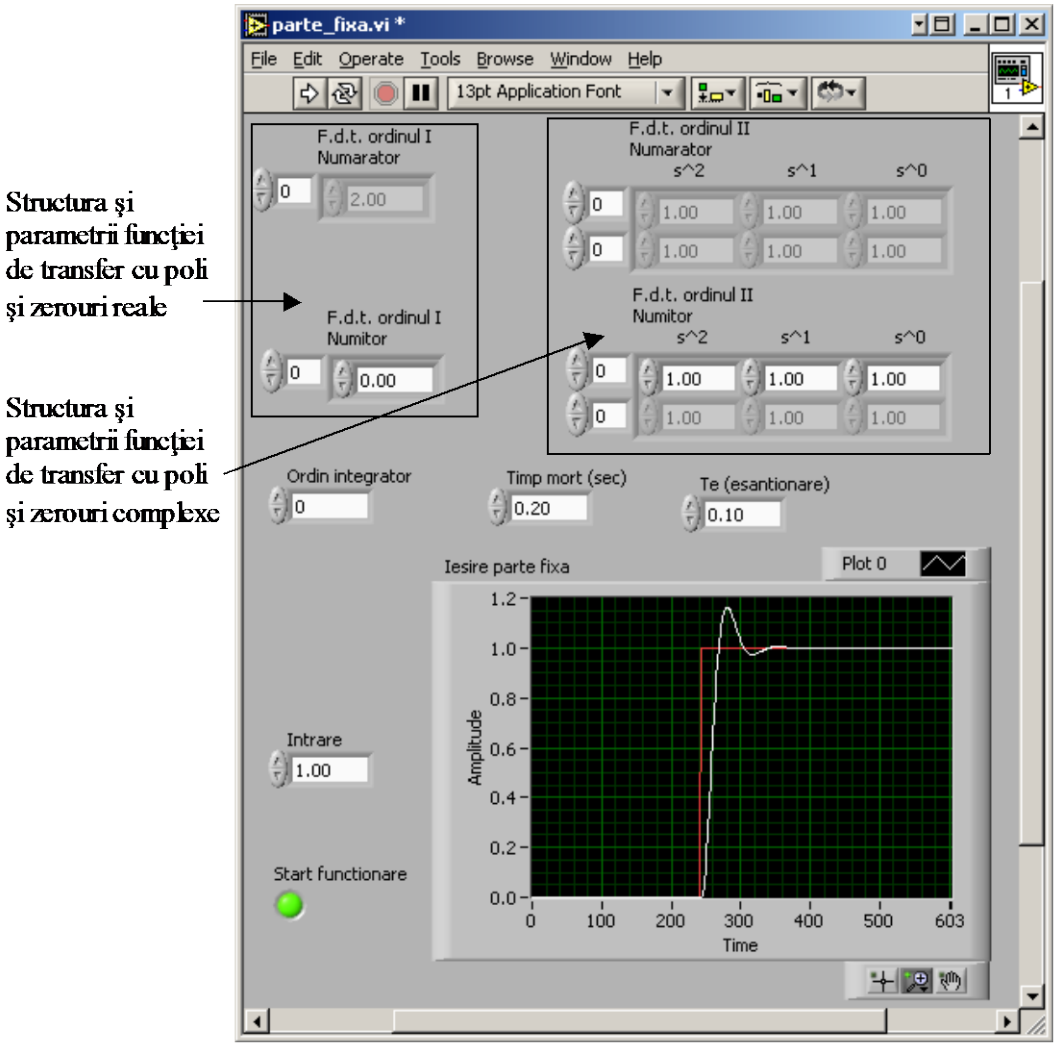


Fig. 1. Panoul frontal al părții fixe

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

$$\begin{cases} H_I(s) = \dfrac{1}{s^k}, \quad k \in N \\ H_{pz_r}(s) = \dfrac{\prod_{i=1}^{m_r}(T_i \cdot s + 1)}{\prod_{j=1}^{n_r}(T_j \cdot s + 1)},\ m_r \le n_r, \quad \text{f.d.t. cu poli reali si zerouri reale} \\ H_{pz_c}(s) = \dfrac{\prod_{i=1}^{m_c}(T_i^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi_i \cdot T_i \cdot s + 1)}{\prod_{j=1}^{n_c}(T_j^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi_j \cdot T_j \cdot s + 1)},\ m_c \le n_c, \begin{cases} \xi_i \in (0,1) \\ \xi_j \in (0,1) \end{cases} \\ H_{pz_c}(s) = \text{f.d.t. cu poli complecsi si zerouri complexe} \end{cases} \quad (10)$$

După cum se observă din Fig. 1, structura funcției de transfer $H_F(s)$ se poate configura prin configurarea fiecărei funcții de transfer componente.

- *Ordin integrator* se referă la valoarea *k* din $H_I(s) = \frac{1}{s^k}$

- *Funcție de transfer (f.d.t) de ordinul I (Numărător)/F.d.t. ordinul I (Numitor)* se referă la numărătorul, respectiv numitorul funcției de transfer $H_{pz_r}(s)$. Constantele de timp T_i, T_j se vor furniza sub forma a doi vectori. Primul vector va conține constantele de timp corespunzătoare numărătorului: $[T_1, T_2, ..., T_{mr}]$. Cel de-al doilea vector va conține constantele de timp corespunzătoare numitorului sub forma $[T_1, T_2, ..., T_{nr}]$.

- *Funcție de transfer de ordinul II (Numărător)/F.d.t. ordinul II (Numitor)* se referă la numărătorul, respectiv numitorul funcției de transfer $H_{pz_c}(s)$. Polinoamele de gradul II componente ale produselor de la numărător respectiv numitor se vor furniza sub forma a două matrice. Prima matrice va conține coeficienții polinoamelor corespunzătoare numărătorului:

$$F.d.t.\ ordinul\ II\ /\ Numarator = \begin{bmatrix} T^2_1, 2T_1\xi_1, 1 \\ T^2_2, 2T_2\xi_2, 1 \\ ..... \\ T^2_{mc}, 2T_{mc}\xi_{mc}, 1 \end{bmatrix}.$$

Cea de-a doua matrice va conține coeficienții polinoamelor corespunzătoare numitorului:

$$F.d.t.\ ordinul\ II\ /\ Numitor = \begin{bmatrix} T^2_1, 2T_1\xi_1, 1 \\ T^2_2, 2T_2\xi_2, 1 \\ ..... \\ T^2_{nc}, 2T_{nc}\xi_{nc}, 1 \end{bmatrix}.$$

Diagrama corespunzătoare funcționării părții fixe virtuale este reprezentată în Fig. 2. Această diagramă de funcționare este implementată în diagrama LabVIEW din Fig. 3. În cele ce urmează vom detalia modul de implementare al acesteia.

A. Construirea $H_{pz_r}(s)$ se face pornind de la interfața implementată pe panoul frontal al instrumentului virtual. Corespondentele acestor controale în diagrama LabVIEW și modul lor de configurare sunt prezentate mai jos. Se observă că intrările în *MATLAB Script* trebuie configurate corespunzător, în cazul nostru acestea fiind vectori reali (Fig. 4).

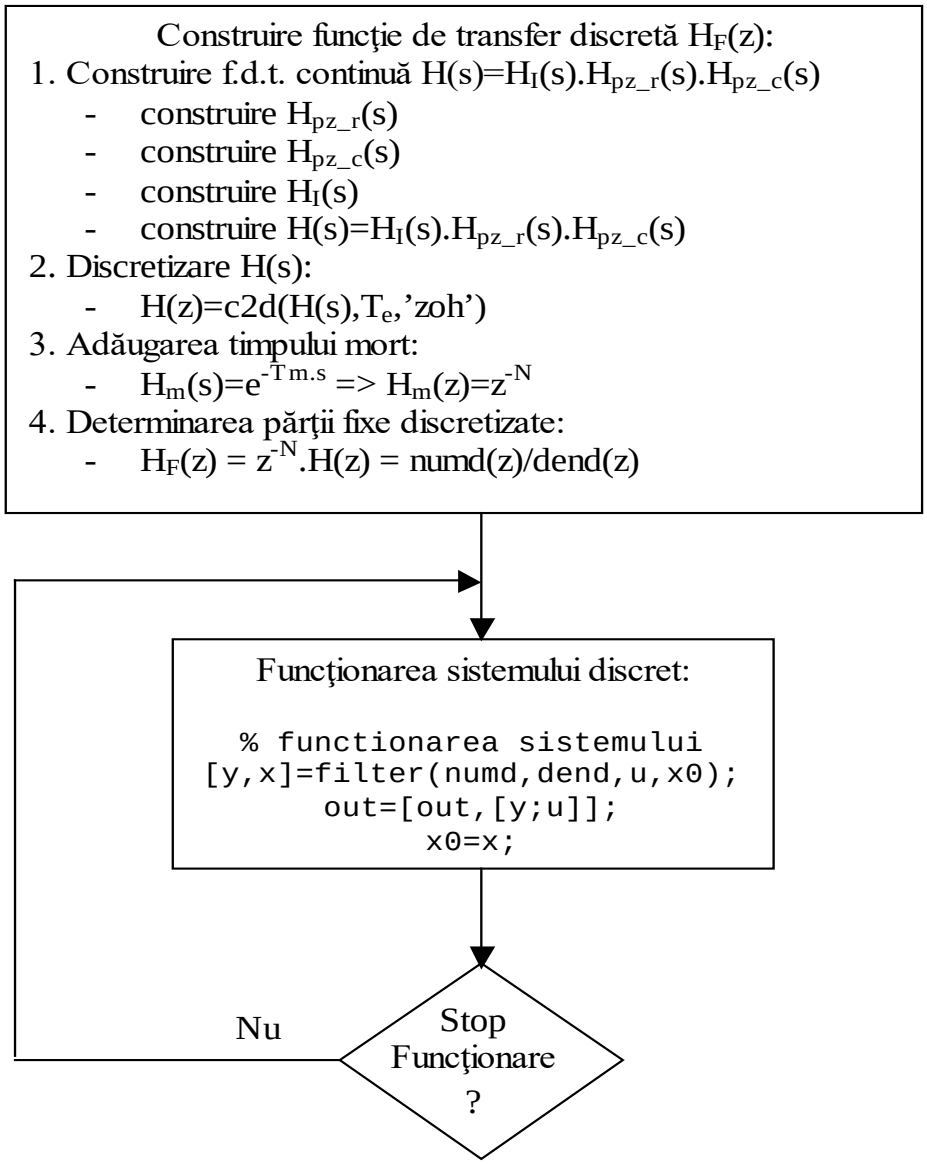


Fig. 2. Diagrama de funcționare a părții fixe discretizate

Pentru a construi un control de tip vector real trebuie să îl alegem din meniul *Controls>>Array & Cluster* corespunzător panoului frontal.

După inserarea acestor controale se trece la etapa următoare, aceea de inițializare a lor. Pentru aceasta se observă din Fig. 5 că dispunem de un index și de o locație de valori corespunzătoare elementului cu indexul respectiv. Dacă valoarea apare pe fond alb, vizibil, atunci înseamnă că vectorul are în componența sa elementul respectiv pe poziția indicată de index. Dacă valoarea apare pe un fond gri, mai puțin vizibil, înseamnă că vectorul nu are în componența sa elementul respectiv. Alocarea unui element se face prin acționarea butonului de modificare valoare.

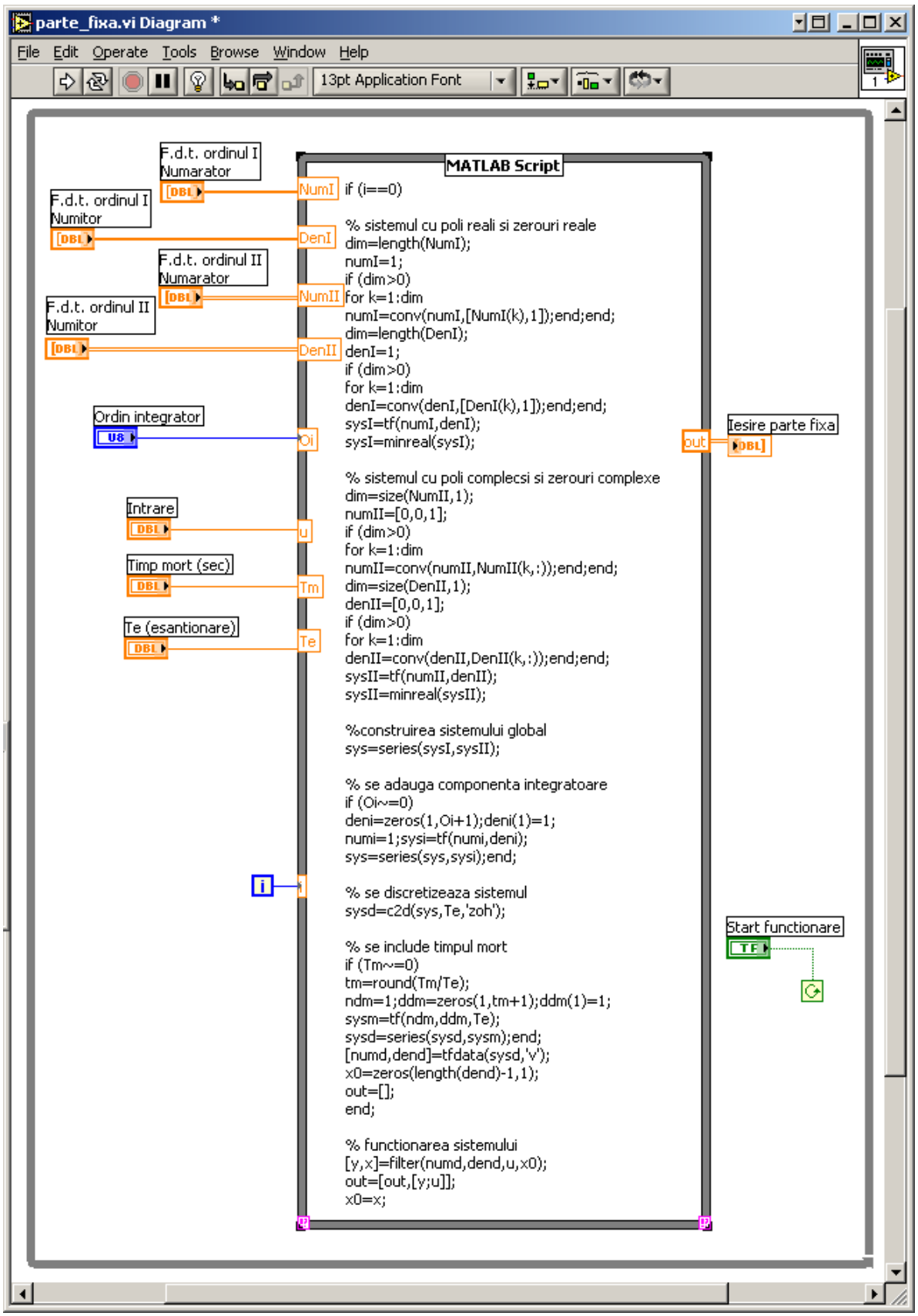


Fig. 3. Diagrama LabVIEW a părții fixe virtuale

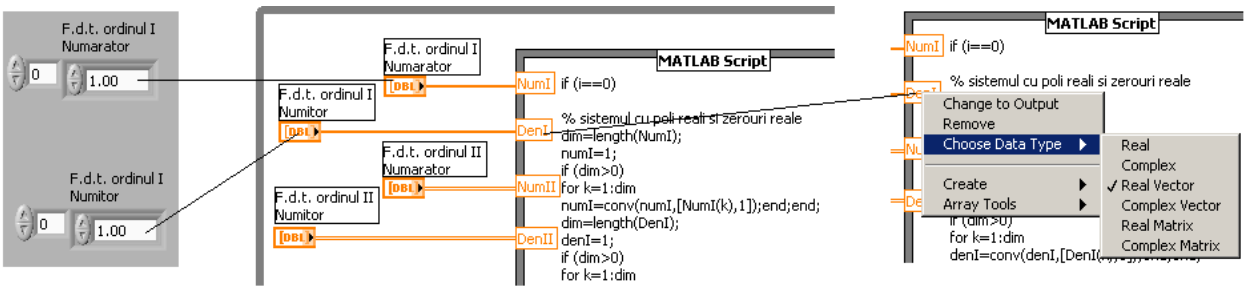


Fig. 4. Corespondența și configurarea controalelor corespunzătoare funcției de transfer cu poli reali și zerouri reale

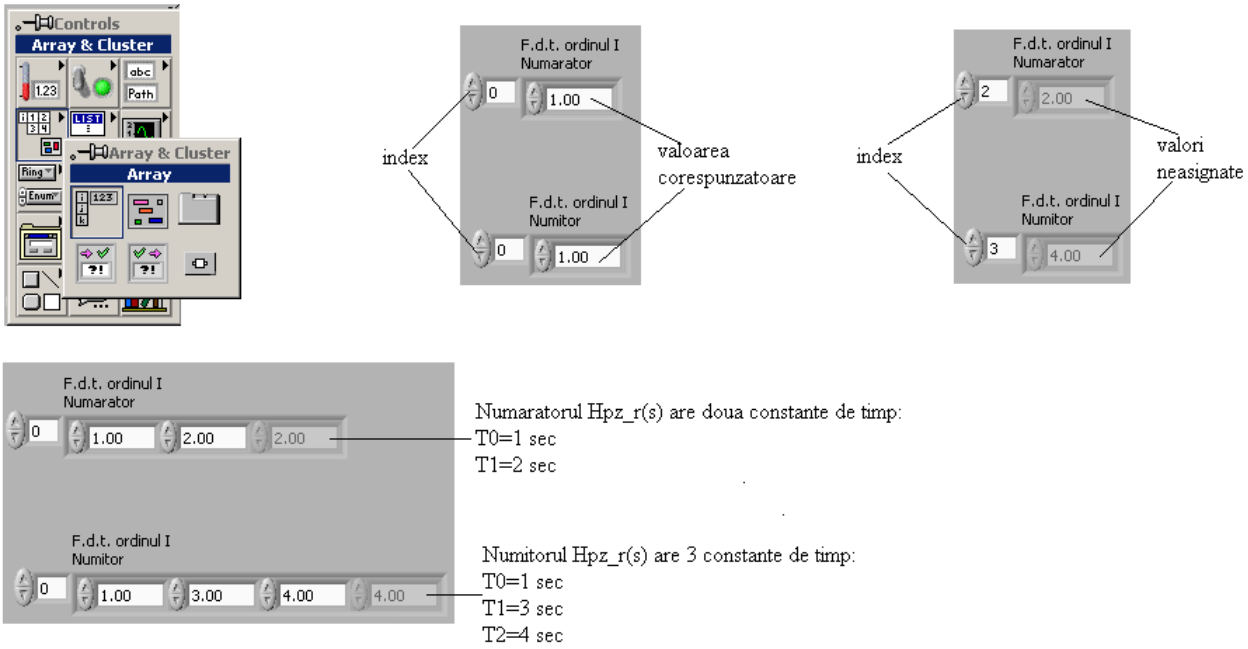
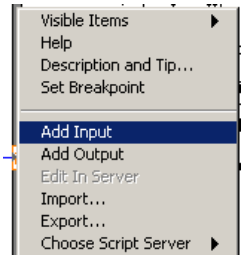


Fig. 5. Inserarea unor controale de tip vector și inițializarea lor

Dimensiunea unui vector se poate vedea prin acționarea butonului de incrementare index. Indexul primei valori neasignate (pe fond gri) va reprezenta dimensiunea vectorului respectiv (atenție, vectorii se indexează începând cu valoarea 0). În exemplul ilustrat mai sus se observă că avem implementată o funcție de transfer de forma:

$$H_{pz_r}(s) = \frac{(1\cdot s+1)(2\cdot s+1)}{(1\cdot s+1)(3\cdot s+1)(4\cdot s+1)}$$

Legătura dintre aceste controale de tip vector şi programul MATLAB implementat în *MATLAB Script* se face cu ajutorul unor variabile de intrare care se construiesc acționând butonul drept al *mouse*-ului poziționat pe latura stângă a cadrului obiectului *MATLAB Script*.



După inserarea unei intrări și denumirea acesteia, se recomandă declararea tipului acestei intrări. Acest lucru se face (vezi Fig. 4) prin acționarea butonului drept poziționat pe intrare și selectarea *Choose Data Type>>Real Vector* din meniul push-down.

Secvența de program MATLAB care implementează funcția de transfer $H_{pz_r}(s)$ este:

```
% sistemul cu poli reali si zerouri reale
dim=length(NumI);
numI=1;
if (dim>0)
for k=1:dim
numI=conv(numI,[NumI(k),1]);end;end;
dim=length(DenI);
denI=1;
if (dim>0)
for k=1:dim
denI=conv(denI,[DenI(k),1]);end;end;
sysI=tf(numI,denI);
sysI=minreal(sysI);
```

Intrările corespunzătoare sistemului de ordinul I sunt *NumI* (numărătorul) și *DenI* (numitorul). Aceste intrări sunt legate direct la controalele de tip vector de pe panoul frontal. În funcție de dimensiunea acestor vectori se construiește numărătorul respectiv numitorul funcției de transfer folosindu-se funcția MATLAB *conv (convolution).* Această funcție realizează produsul a două polinoame reprezentate prin vectori linie. Dacă nu avem asignat nici un vector (dim=0), atunci, implicit, polinomul respectiv va fi 1.

B. Construirea funcției $H_{pz_c}(s)$ se face pornind de la interfața implementată pe panoul frontal al instrumentului virtual. Corespondentele acestor controale în diagrama LabVIEW și modul lor de configurare sunt prezentate mai jos.

Se observă că intrările în *MATLAB Script* trebuie configurate corespunzător, în cazul nostru acestea fiind matrice reale (cu componente reale, vezi Fig. 6).

Pentru a construi un control de tip matrice reală trebuie să îl alegem din meniul *Controls>>Array & Cluster* corespunzător panoului frontal.

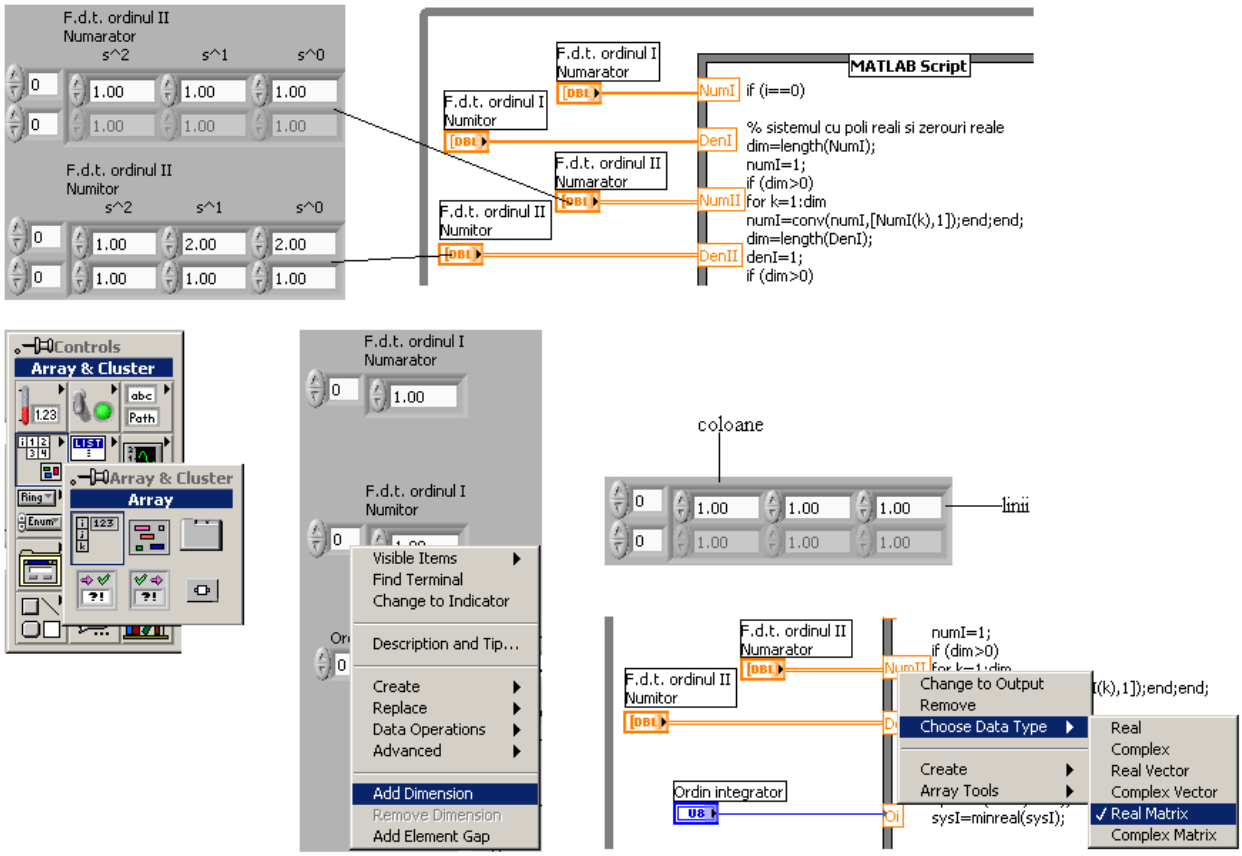


Fig. 6. Corespondența și configurarea controalelor corespunzătoare funcției de transfer cu poli reali și zerouri complexe

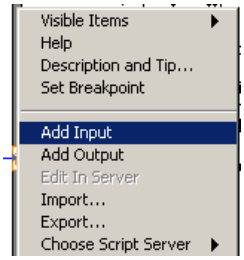
După inserarea acestor controale este necesar ca vectorii corespunzători să fie transformați în matrice. Acest lucru se face cu ajutorul acționării butonului drept al mouse-ului asupra controlului respectiv și alegerea opțiunii *Add Dimension.* În acest fel vom dispune de controale cu două dimensiuni. Intrările corespunzătoare din cadrul *MATLAB Script* se setează pe opțiunea *Real Matrix* pentru a compatibiliza controlul LabVIEW cu intrarea din programul MATLAB. Se trece la etapa următoare, aceea de inițializare a matricelor. Pentru aceasta se observă din Fig. 6 că dispunem de doi indecși și de locații de valori corespunzătoare elementului cu indecșii respectivi. Dacă valoarea apare pe fond alb, vizibil, atunci înseamnă că matricea are în componența sa elementul respectiv pe poziția indicată de indecși (linia și coloana corespunzătoare). Dacă valoarea apare pe un fond gri, mai puțin vizibil, înseamnă că matricea nu are în componența sa elementul respectiv. Alocarea unui element se face prin acționarea butonului de modificare valoare.

Dimensiunea unei matrice se poate vedea prin acționarea butonului de incrementare index. Indecșii primelor valori neasignate (pe fond gri) vor reprezenta dimensiunile matricei respective (atenție, liniile și coloanele se indexează începând cu

valoarea 0). În exemplul ilustrat mai sus se observă că avem implementată o funcție de transfer de forma:

$$H_{pz_c}(s) = \frac{s^2 + s + 1}{\left(s^2 + s + 1\right)\left(s^2 + 2s + 2\right)}$$

Legătura dintre aceste controale de tip vector și programul MATLAB implementat în *MATLAB Script* se face cu ajutorul unor variabile de intrare care se construiesc acționând butonul drept al *mouse*-ului poziționat pe latura stângă a cadrului obiectului *MATLAB Script*.



După inserarea unei intrări și denumirea acesteia, se recomandă declararea tipului acestei intrări. Acest lucru se face (vezi Fig. 4) prin acționarea butonului drept poziționat pe intrare și selectarea *Choose Data Type>>Real Matrix* din meniul push-down.

Secvența de program MATLAB care implementează funcția de transfer $H_{pz_c}(s)$ este:

```
% sistemul cu poli complecsi si zerouri complexe
dim=size(NumII,1);
numII=[0,0,1];
if (dim>0)
for k=1:dim
numII=conv(numII,NumII(k,:));end;end;
dim=size(DenII,1);
denII=[0,0,1];
if (dim>0)
for k=1:dim
denII=conv(denII,DenII(k,:));end;end;
sysII=tf(numII,denII);
sysII=minreal(sysII);
```

Intrările corespunzătoare sistemului de ordinul II sunt *NumII* (numărătorul) și *DenII* (numitorul). Aceste intrări sunt legate direct la controalele de tip matrice de pe panoul frontal. În funcție de dimensiunea acestor matrice se construiește numărătorul respectiv numitorul funcției de transfer folosindu-se funcția MATLAB *conv (convolution).* Această funcție realizează produsul a două polinoame reprezentate prin vectori linie. Dacă nu avem asignat nici o matrice (dim=0), atunci, implicit, polinomul respectiv va fi 1.

După cum se observă din codul program MATLAB prezentat, am folosit de două ori instrucțiunea:

```
sys=minreal(sys);
```

Această instrucțiune permite folosirea în simulare numai a realizării minimale a sistemului (*minimal realization*). Folosirea acestei funcții conduce la eventualele simplificări poli-zerouri, așa cum era cazul în exemplele de mai sus.

C. Construirea lui $H_I(s)$ se face pornind de la valoarea ordinului integratorului furnizat de un control simplu de tip întreg fără semn pe 8 biți. Dacă această valoare este nulă, atunci nu avem componentă integratoare iar dacă avem o valoare pozitivă întreagă, se formează prin program funcția de transfer corespunzătoare.

```
% se adauga componenta integratoare
if (Oi~=0)
deni=zeros(1,Oi+1);deni(1)=1;
numi=1;sysi=tf(numi,deni);
sys=series(sys,sysi);end;
```

D. Construirea funcției $H(s)$, componenta rațională a funcției de transfer continue se face folosind produsul celor 3 funcții de transfer construite până la momentul de față. Acest lucru se face utilizând funcția MATLAB *series* care construiește un nou sistem pornind de la înserierea a două subsisteme.

```
%construirea sistemului global
sys=series(sysI,sysII);
……
sys=series(sys,sysi);
```

Sistemul de ordinul I se înseriază cu cel de ordinul II și, în final, cu componenta integratoare. Pentru a putea lua în considerare și timpul mort, este necesar să discretizăm în prealabil sistemul continuu $H(s)$.

E. Discretizarea componentei raționale a sistemului continuu se face cu comenzile

```
% se discretizeaza sistemul
sysd=c2d(sys,Te,'zoh');
```

F. Includerea efectului timpului mort se face cu comenzile

```
% se include timpul mort
if (Tm~=0)
tm=round(Tm/Te);
```

```
ndm=1;ddm=zeros(1,tm+1);ddm(1)=1;
sysm=tf(ndm,ddm,Te);
sysd=series(sysd,sysm);end;
[numd,dend]=tfdata(sysd,'v');
x0=zeros(length(dend)-1,1);
out=[];
end;
```

Prin codul de mai sus se obține în final discretizatul sistemului continuu cu timp mort. În acest moment se poate cunoaște dimensiunea vectorului de stare care va fi folosit pentru simularea funcționării sistemului.

G. Funcționarea sistemului se simulează folosindu-ne de funcția MATLAB *filter*, așa cum rezultă din codul următor:

```
% functionarea sistemului
[y,x]=filter(numd,dend,u,x0);
out=[out,[y;u]];
x0=x;
```

3. Implementarea unui sistem de reglare virtual folosind LabVIEW

Sistemul de reglare care se implementează folosind LabVIEW se numește virtual deoarece atât regulatorul cât și partea fixă sunt de fapt algoritmi discreți care comunică la nivel de intrări respectiv ieșiri. Acest experiment este deosebit de util deoarece scoate în evidență influențele diferitelor legi de reglare asupra performanțelor sistemului de reglare precum și modul în care dinamica părții fixe influențează aceste performanțe. Pentru implementarea acestui sistem propunem trei variante care țin cont de dificultățile ce provin din complexitatea experimentului precum și de dotarea tehnică disponibilă.

O primă variantă, Fig. 7 – Varianta 1, implementează două programe LabVIEW care sunt interconectate la nivel de date. Ieșirea regulatorului va fi intrare în partea fixă, iar ieșirea părții fixe va fi intrare în regulator. Această variantă poate rula pe un singur calculator și nu are nevoie de prezența unei plăci de achiziție pe stația respectivă.

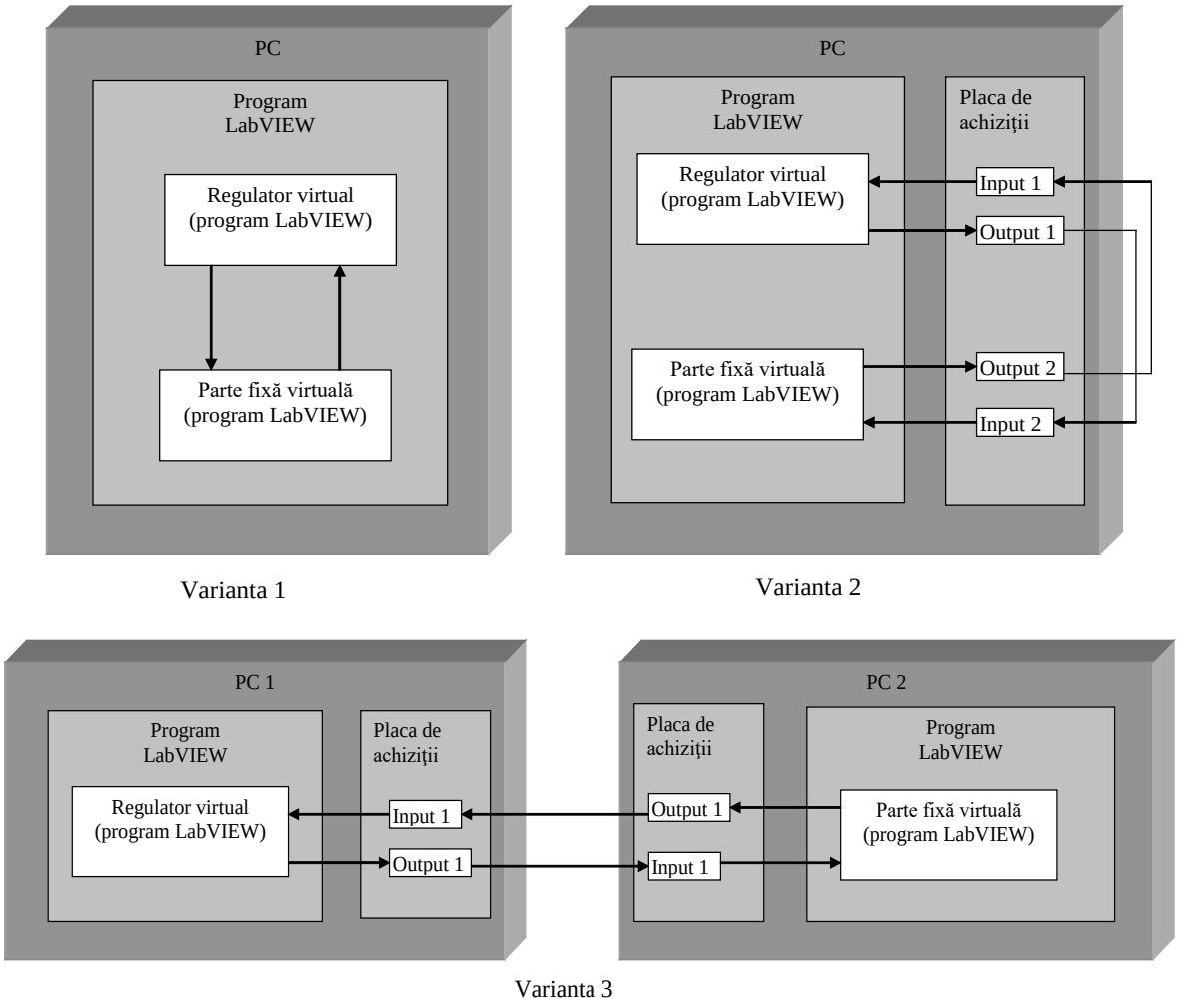
O a doua variantă, Fig. 7 – Varianta 2, se folosește de existența unei plăci de achiziție pe calculatorul pe care se rulează programele LabVIEW. Se vor folosi două intrări și două ieșiri analogice. Cele două ieșiri vor fi ieșirea regulatorului și a părții fixe, iar cele două intrări vor fi intrările în regulator și în partea fixă. Intrările/ieșirile se vor conecta la nivel electric, iar intrările/ieșirile regulatorului și părții fixe vor folosi instrumente

specializate pentru intrările/ieșirile numerice de pe placa de achiziții. Schimbul de date între cele două programe LabVIEW se va face prin intermediul semnalelor vehiculate prin cele patru porturi analogice de intrare și de ieșire.

A treia variantă, Fig. 7 – Varianta 3, folosește două calculatoare și două plăci de achiziție. Pe unul dintre calculatoare se va implementa regulatorul numeric, iar pe cel de-al doilea se va implementa partea fixă. Intrările/ieșirile se vor conecta la nivel electric, iar intrările/ieșirile regulatorului și părții fixe vor folosi instrumente specializate pentru controlul intrărilor/ieșirilor numerice de pe placa de achiziții.

3.1 Implementarea unui SRA virtual - Varianta 1

Vom prezenta în continuare doar varianta 1 a SRA virtual. În această variantă vom implementa un program LabVIEW care să reunească cele două instrumente virtuale: regulatorul numeric și partea fixă discretizată. Principalele deosebiri constau în faptul că intrările în cele două instrumente virtuale nu vor mai fi furnizate de către noi prin intermediul unor controale ci vor fi intrări disponibile pentru conexiuni de date.



Varianta 1

Varianta 2

Varianta 3

Fig. 7. Variante pentru implementarea unui SRA virtual

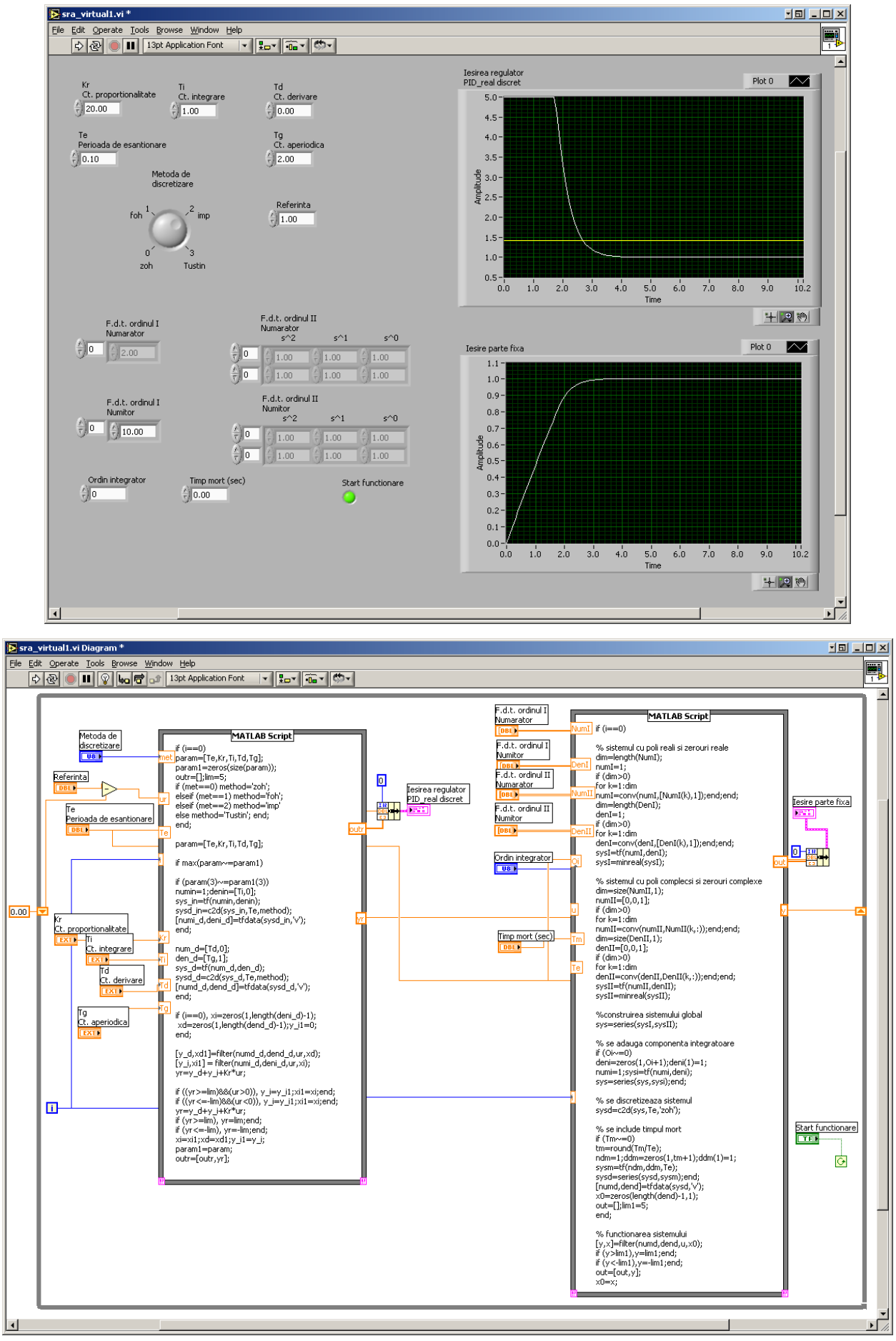


Fig. 8. SRA virtual în varianta 1

Panoul frontal și diagrama acestui SRA virtual sunt prezentate în Fig. 8. Sunt necesare câteva precizări: deoarece ambele instrumente virtuale folosesc *MATLAB Script*, spațiul de lucru MATLAB este partajat, deci se cuvin câteva precauții.

Este necesar ca variabilele folosite să nu aibă același nume deoarece ele se vor modifica de către fiecare program în parte conducând la o funcționare imprevizibilă. Din această cauză, cele două *script*-uri din LabVIEW se prezintă sub forma:

MATLAB Script regulator PID_real	*MATLAB Script* parte fixă

`if (i==0)`
`param=[Te,Kr,Ti,Td,Tg];`
`param1=zeros(size(param));`
`outr=[];lim=5;`
`if (met==0) method='zoh';`
`elseif (met==1) method='foh';`
`elseif (met==2) method='imp'`
`else method='Tustin'; end;`
`end;`
`param=[Te,Kr,Ti,Td,Tg];`
`if max(param~=param1)`
`if (param(3)~=param1(3))`
`numin=1;denin=[Ti,0];`
`sys_in=tf(numin,denin);`
`sysd_in=c2d(sys_in,Te,method);`
`[numi_d,deni_d]=tfdata(sysd_in,`
`'v');`
`end;`
`num_d=[Td,0];`
`den_d=[Tg,1];`
`sys_d=tf(num_d,den_d);`
`sysd_d=c2d(sys_d,Te,method);`
`[numd_d,dend_d]=tfdata(sysd_d,'`
`v');`
`end;`
`if (i==0),`
`xi=zeros(1,length(deni_d)-1);`
`xd=zeros(1,length(dend_d)-1);`
`y_i1=0; end;`
 	
`[y_d,xd1]=filter(numd_d,dend_d,`
`ur,xd);`
`[y_i,xi1]=`
`filter(numi_d,deni_d,ur,xi);`
`yr=y_d+y_i+Kr*ur;`
 	
`if ((yr>=lim)&&(ur>0))`
`y_i=y_i1;xi1=xi;end;`
`if ((yr<=-lim)&&(ur<0))`
`y_i=y_i1;xi1=xi;end;`
	`if (i==0)`
	`dim=length(NumI);`
	`numI=1;`
	`if (dim>0)`
	`for k=1:dim`
	`numI=conv(numI,[NumI(k),1]);en`
	`d;end;`
	`dim=length(DenI);`
	`denI=1;`
	`if (dim>0)`
	`for k=1:dim`
	`denI=conv(denI,[DenI(k),1]);en`
	`d;end;`
	`sysI=tf(numI,denI);`
	`sysI=minreal(sysI);`
	`dim=size(NumII,1);`
	`numII=[0,0,1];`
	`if (dim>0)`
	`for k=1:dim`
	`numII=conv(numII,NumII(k,:));e`
	`nd;end;`
	`dim=size(DenII,1);`
	`denII=[0,0,1];`
	`if (dim>0)`
	`for k=1:dim`
	`denII=conv(denII,DenII(k,:));e`
	`nd;end;`
	`sysII=tf(numII,denII);`
	`sysII=minreal(sysII);`
	`%construirea sistemului global`
	`sys=series(sysI,sysII);`
	`% se adauga componenta`
	`integratoare`
	`if (Oi~=0)`
	`deni=zeros(1,Oi+1);deni(1)=1;`
	`numi=1;sysi=tf(numi,deni);`
	`sys=series(sys,sysi);end;`
	`% se discretizeaza sistemul`
	`sysd=c2d(sys,Te,'zoh');`
	`% se include timpul mort`

```
yr=y_d+y_i+Kr*ur;
if (yr>=lim), yr=lim;end;
if (yr<=-lim), yr=-lim;end;
xi=xi1;xd=xd1;y_i1=y_i;
param1=param;
outr=[outr,yr];
```

```
if (Tm~=0)
tm=round(Tm/Te);
ndm=1;ddm=zeros(1,tm+1);ddm(1)
=1;
sysm=tf(ndm,ddm,Te);
sysd=series(sysd,sysm);end;
[numd,dend]=tfdata(sysd,'v');
x0=zeros(length(dend)-1,1);
out=[];lim1=5;end;
% functionarea sistemului
[y,x]=filter(numd,dend,u,x0);
if (y>lim1),y=lim1;end;
if (y<-lim1),y=-lim1;end;
out=[out,y];
x0=x;
```

3.2 Simulări

Putem construi un model Simulink pentru a putea verifica corectitudinea funcționării programelor. Acest model Simulink este de forma din Fig. 9. Se observă implementarea unui sistem anti-wind-up pe partea de integrare. Setarea simulării se va face cu ajutorul variabilelor globale din spațiul de lucru MATLAB, ceea ce conduce la identitatea simulărilor obținute. Pentru T_e = 0.1 sec și metode de discretizare 'impulse' se obțin rezultatele din Fig. 10.

Folosind acest SRA virtual, putem să observăm influența diferiților parametri ai regulatorului sau ai părții fixe asupra comportamentului global al sistemului. Astfel, vom repeta simularea în cazul în care avem un timp mort de 0.55 sec. Se observă apariția unui regim oscilant permanent, identic cu cel simulat în Simulink (Fig. 11).

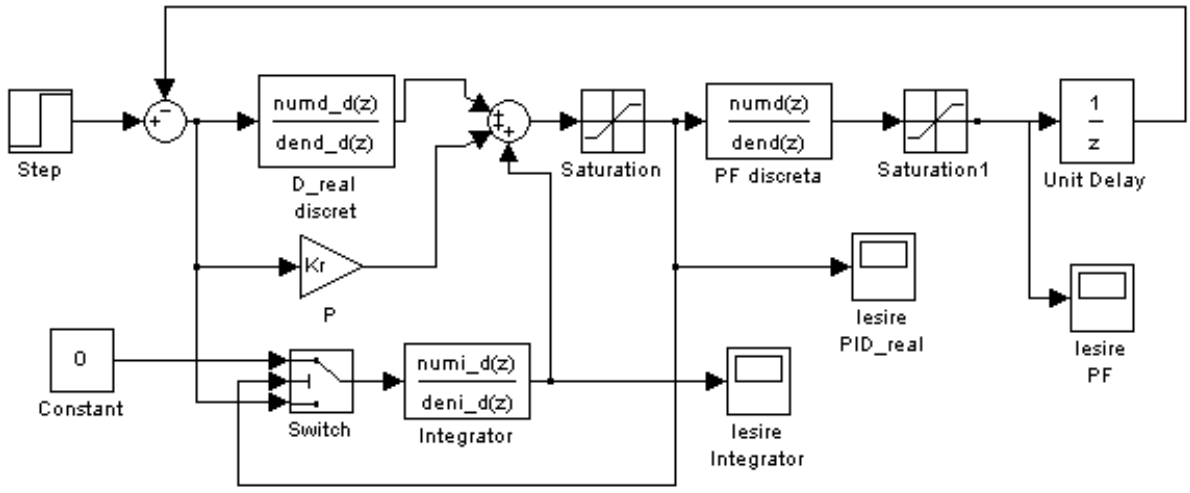


Fig. 9. Model Simulink pentru simularea SRA virtual LabVIEW

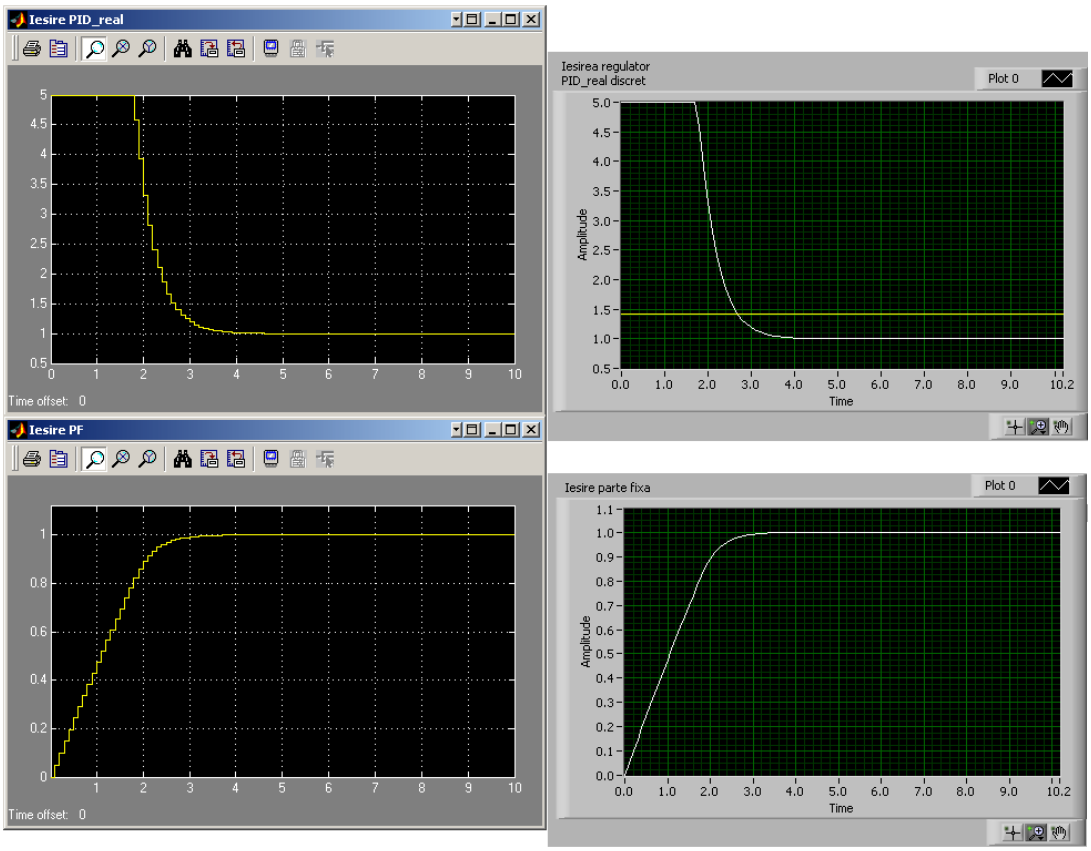
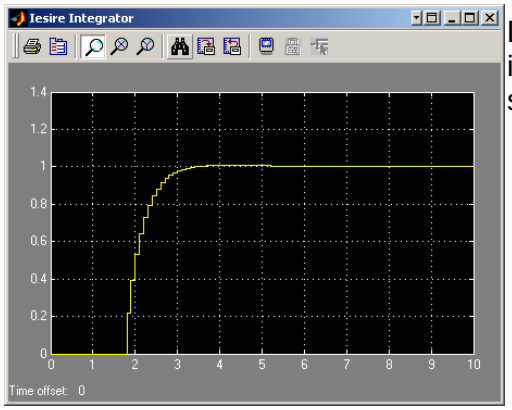


Fig. 10. SRA LabVIEW versus SRA Simulink



Din figura alăturată se observă că procesul de integrare a fost inhibat pe perioada (aproximativ 2 sec) cât comanda a depășit limita maximă.

Avantajele folosirii acestei variante de SRA sunt numeroase:

- simularea nu are nevoie de existența unei plăci de achiziții pe calculatorul gazdă.
- se poate testa o gamă nelimitată de instalații.
- se poate extinde ușor gama de regulatoare plecând de la gama PID.
- efortul de reproiectare în cazul modificării parametrilor regulatorului sau părții fixe este minim. Reproiectarea prin discretizare a noilor algoritmi se face automat folosind mediul MATLAB, accesat prin intermediul MATLAB Server-ului.
- efortul de programare în LabVIEW se reduce considerabil prin apelarea la puternicele funcții de calcul folosite de MATLAB. Programele LabVIEW sunt mult mai compacte și mai ușor de înțeles.

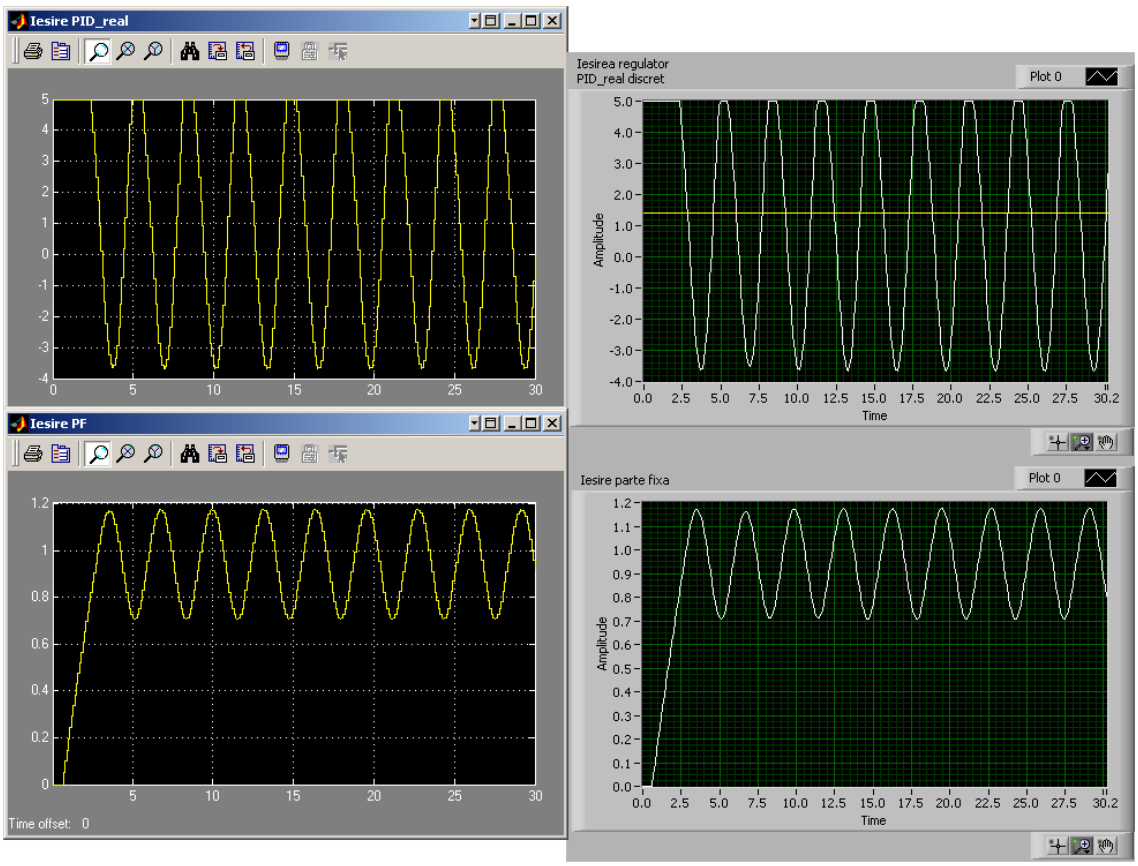


Fig. 11. Apariția fenomenului de “bătăi în limitări” datorat timpului mort si saturației

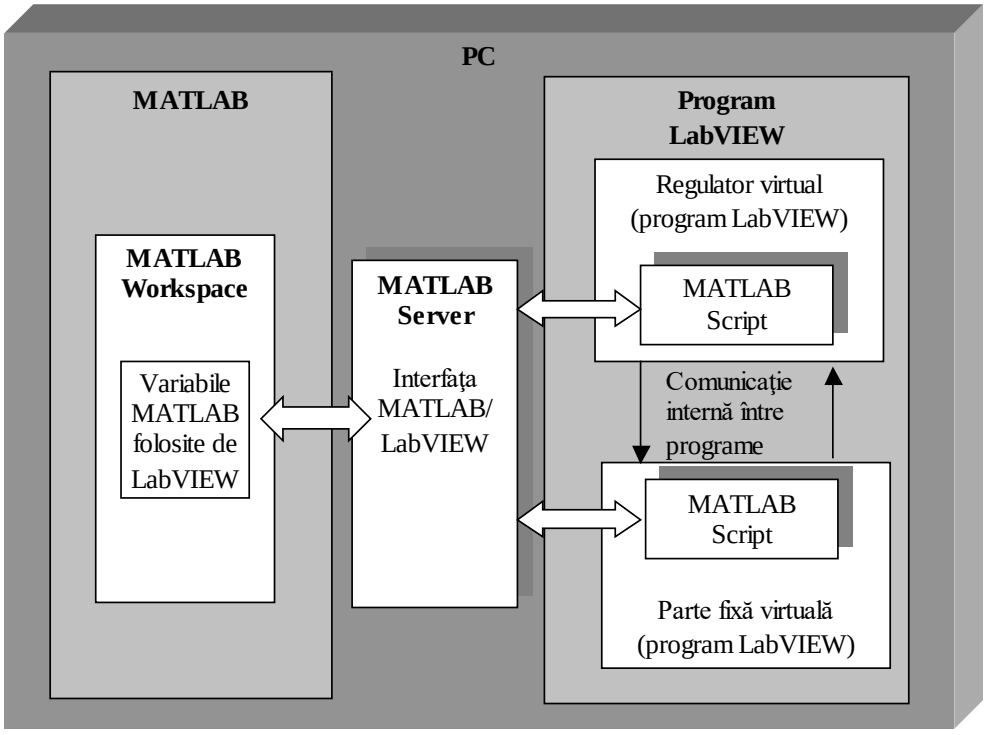


Fig. 12. Schema de funcționare a SRA virtual în varianta 1

Schema de funcționare a sistemului de reglare virtual este prezentată în Fig. 12.

Dezavantajele acestei variante ar putea fi:

- viteza de execuție este mai scăzută. Motivele sunt cauzate de modalitatea de execuție a structurilor MATLAB Script folosite de programul LabVIEW ce implementează SRA virtual. Astfel, la lansarea în execuție a programului, se lansează automat și MATLAB/Simulink precum și interfața de comunicație între LabVIEW și MATLAB, anume MATLAB Server. Între cele două medii de programare există o permanentă comunicare, fapt consumator de timp. Mai mult, programul MATLAB nu este pre-compilat ci este interpretat, execuția sa fiind mai lentă. În Fig. 10.15 se schematizează funcționarea SRA virtual.
- Necesitatea existenței pe calculatorul gazdă atât a unei variante mai evoluate de LabVIEW cât și a mediului MATLAB/Simulink. Calculatorul gazdă trebuie să dispună de resurse hardware considerabile (memorie RAM de dimensiuni mai mari, procesor mai rapid etc…).

Bibliografie

[Cot98] Cottet, F., Ciobanu, O., *Bazele Programării în LabVIEW*, Ed. Matrix Rom, București, 1998.

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

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

[Lab00] ***, *LabVIEW Measurements Manual, National Instruments*, SUA, 2000.

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

[Mar04] Marin C., *Ingineria reglării automate. Elemente de analiză şi sinteză*, Ed. SITECH, Craiova, 2004.

[MAT07] ***, *MATLAB User's Guide*, The Mathworks Inc., SUA, 2007.

[Nac90] Nachtingal, Chester L. (ed.), *Instrumentation and Control. Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1990.

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

[Sel04] Selişteanu, D., Ionete, C., Petre, E., Popescu, D., Şendrescu, D., *Aplicații LabVIEW pentru achiziția și generarea datelor*, Editura SITECH, Craiova, 2004.

[Sel10] Selişteanu, D., Ionete, C., Petre, E., *Instrumentație virtuală. Aplicații de prelucrare numerică a semnalelor*, Ed. Matrix Rom, București, 2010.

IV. Domeniul Software aplicativ pentru Ingineria electrică,

Subdomeniile: Sisteme de acționare, Energetică și Proiectare asistată de calculator

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 [1]-[24].

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 (CSTF) a fost creată și dezvoltată o interfață grafică utilizator (GUI) sub MATLAB, cu ferestre, meniuri și controale de diferite tipuri [25]-[28].

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. Această interfață 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.

După lansarea în execuție, prin fereastra principală de prezentare, cu un scurt mesaj introductiv, (fig. 1) și fereastra aferentă meniului **Facilități** (fig. 2), utilizatorul este informat asupra facilităților oferite.

1. Facilitățile ferestrei principale

Selectarea unui meniu din cele 7 ale ferestrei principale (fig. 3) determină, în mod direct sau prin intermediul unor apeluri înlănțuite sau submeniuri, afișarea unor ferestre de dialog pentru stabilirea configurației sistemului analizat și a parametrilor acestuia, pentru începerea unei simulări sau a unei prelucrări de date. De asemenea, este permisă salvarea într-un fișier a datelor obținute prin simulare și prelucrarea ulterioară a acestora. În funcție de tipul lor, acțiunile sunt însoțite de cereri de confirmare, mesaje de

atenționare, operații de verificare a corectitudinii introducerii datelor și de informare asupra datelor eronate, astfel încât trecerea la o nouă etapă să fie posibilă doar după corectură. Pentru a evita confuzia și aglomerarea listei din bara de programe active, realizarea unei acțiuni ce ar determina afișarea unei ferestre care a fost deschisă anterior și nu a fost încă închisă, determină restaurarea acesteia din urmă. La închiderea unei ferestre, se închid toate ferestrele subordonate acesteia.

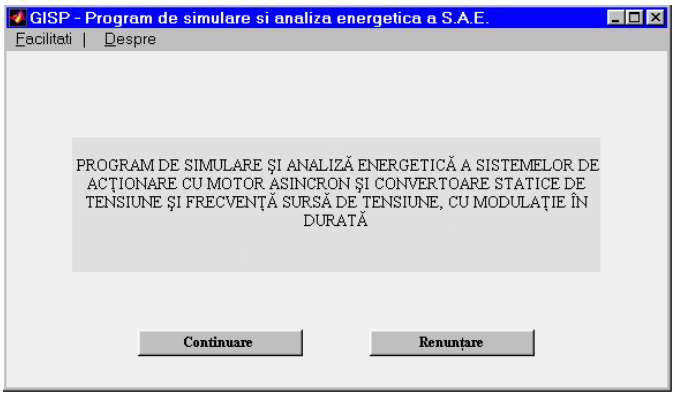


Fig. 1. Fereastra introductivă, de prezentare a aplicației.

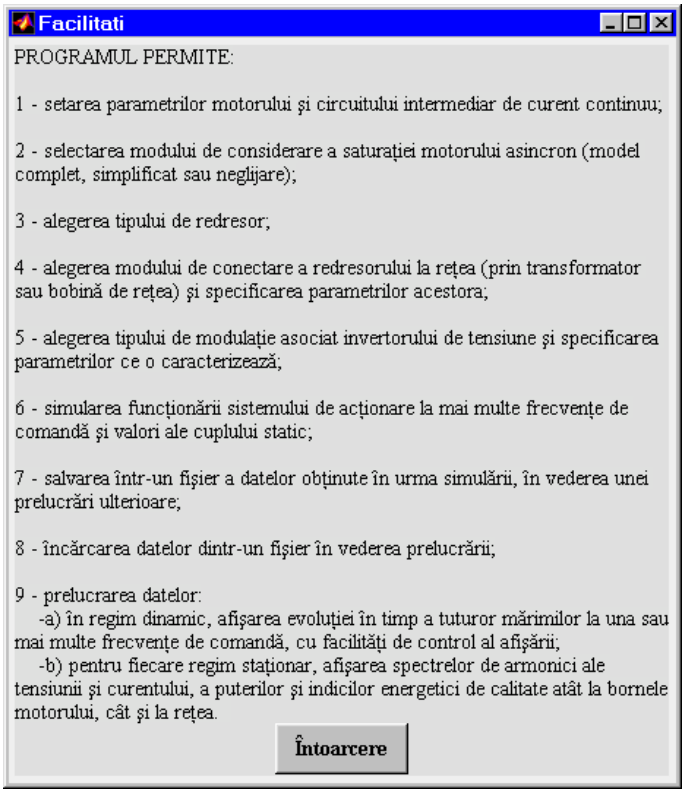


Fig. 2. Fereastra de prezentare a facilităților interfeței grafice.

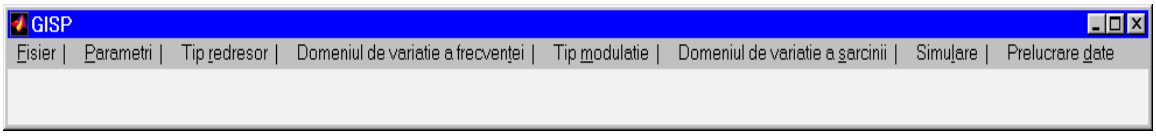


Fig. 3. Fereastra principală, cu meniurile de lucru.

2. Controlul datelor din spațiul de lucru

Opțiunile meniului Fișier (fig. 4) permit:

- eliberarea spațiului de lucru și stabilirea tuturor valorilor parametrilor sistemului la valorile implicite (opțiunea **Nou**);
- încărcarea unui fișier de date, prin intermediul unei ferestre de dialog (opțiunea **Încărcare date …**);
- salvarea datelor din spațiul de lucru într-un fișier de date, prin intermediul unei ferestre de dialog (opțiunea **Salvare date …**);
- ștergerea tuturor variabilelor create în timpul lucrului cu programul și închiderea aplicației după validarea acțiunii printr-o fereastră de confirmare (opțiunea **Ieșire**).

3. Parametrii sistemului de acționare

Modificarea valorilor parametrilor ce caracterizează motorul, circuitul intermediar de c.c. și transformatorul sau bobina de rețea, este posibilă prin selectarea meniului **Parametri** al ferestrei principale, care determină afișarea ferestrei dialog cu același nume, și editarea câmpurilor asociate parametrilor (fig. 5).

Prin butoane mutual exclusive, este permisă selectarea modului de conectare a redresorului la rețea (prin transformator sau bobină de rețea) și stabilirea modalității de luare în considerație a saturației în modelul motorului asincron sau neglijarea acesteia.

Verificarea corectitudinii introducerii valorilor și actualizarea parametrilor se realizează apăsând butonul **Actualizare**. În cazul în care cel puțin o dată a fost introdusă eronat, este afișat un mesaj de atenționare, cu o listă a parametrilor ce trebuie corectați (ca în exemplul din fig. 6). O nouă încercare de actualizare, dacă mai există greșeli, este însoțită de înlocuirea în consecință a mesajului din fereastra de atenționare, astfel încât actualizarea nu este posibilă decât după întreaga corectură.

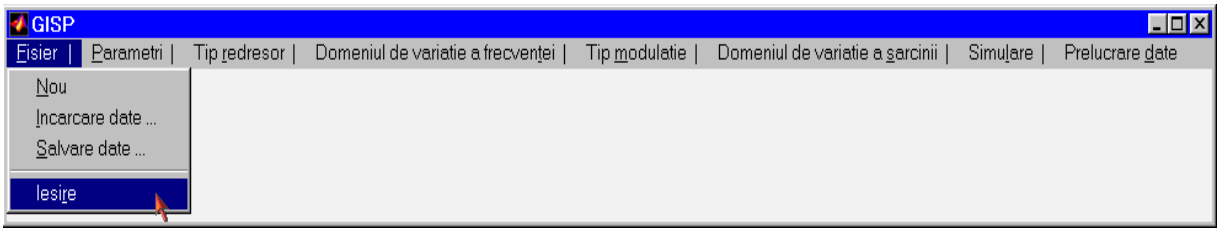


Fig. 4. Structura meniului Fișier.

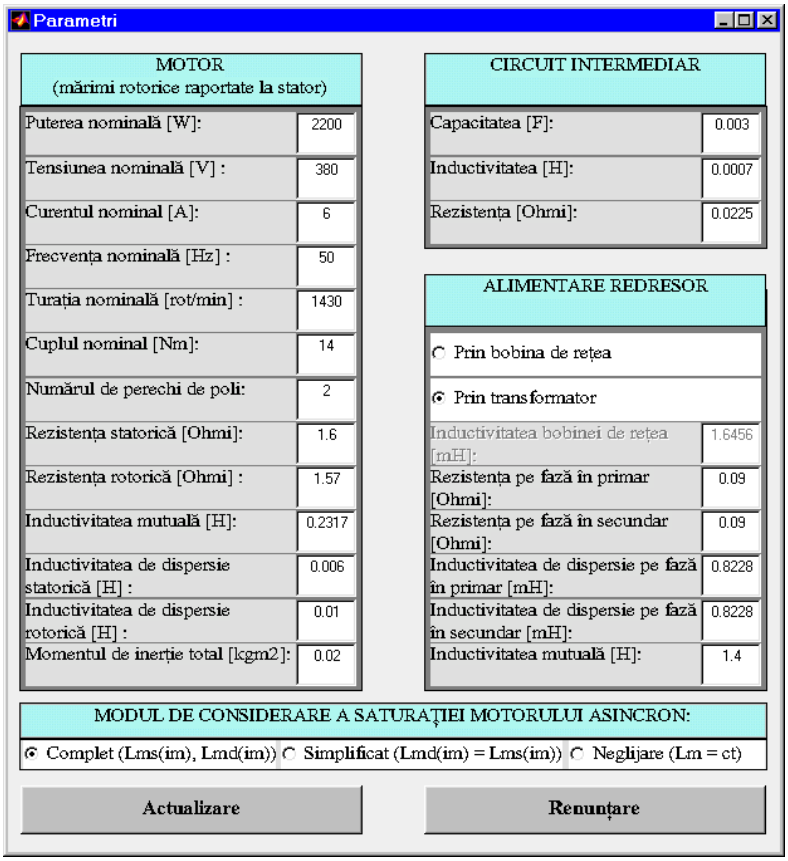


Fig. 5. Fereastra de dialog pentru stabilirea parametrilor motorului, circuitului intermediar de c.c. și transformatorului.

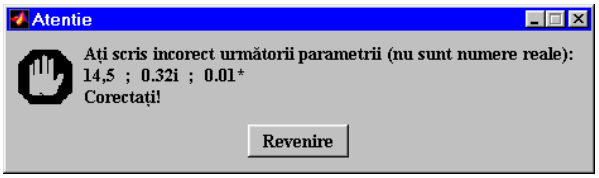


Fig. 6. Fereastra de atenționare asupra valorilor parametrilor introduse eronat.



Fig. 7. Fereastra de dialog pentru alegerea tipului de redresor din structura CSTF.

4. Alegerea tipului de redresor

Alegerea unuia dintre cele două tipuri de redresoare bialternanță utilizate în structura unui CSTF indirect cu modulație în durată (monofazat sau trifazat) se realizează selectând meniul **Tip redresor** al ferestrei principale, operație care determină afișarea unei ferestre de dialog (fig. 7).

5. Domeniul de variație a frecvenței

Simularea funcționării sistemului de acționare poate fi făcută la mai multe frecvențe de comandă, valorile acestora putând fi specificate în fereastra de dialog care apare la selectarea meniului **Domeniul de variație a frecvenței** din fereastra principală (fig. 8).

6. Alegerea metodei de modulare

Pentru invertorul de tensiune au fost luate în considerație trei tipuri de modulație: modulația sinusoidală, modulația în frecvență și modulația cu eliminare de armonici.

Stabilirea metodei de modulație asociate invertorului la următoarea simulare, se realizează selectând meniul **Tip modulație** din fereastra principală și indicând opțiunea dorită din fereastra de dialog care apare (fig. 9).

Fiecare metodă de modulație fiind caracterizată de anumiți parametri, selectarea unei opțiuni este însoțită de afișarea unei alte ferestre de dialog pentru caracterizarea modulației. Pentru modulația sinusoidală, fereastra de dialog permite indicarea tipului de comandă a motorului asincron (la U/f=ct., la flux statoric constant, la flux util constant sau la flux rotoric constant). Prin selectarea metodei de comandă, se actualizează corelația dintre tensiune și frecvență [29], [30]. Pentru fiecare frecvență de comandă, se pot stabili frecvențele de modulație (f_r) și coeficientul de majorare a tensiunii (k_u) (fig. 10).

Este impus astfel factorul de modulație în frecvență.

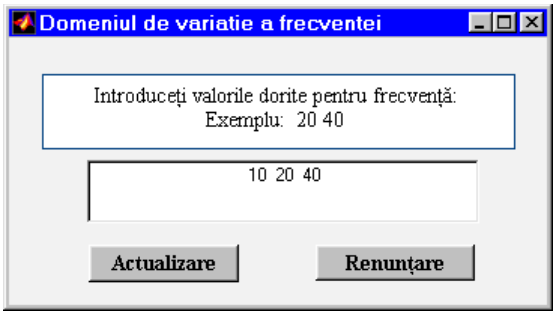


Fig. 8. Fereastra de dialog pentru stabilirea frecvențelor de simulare.

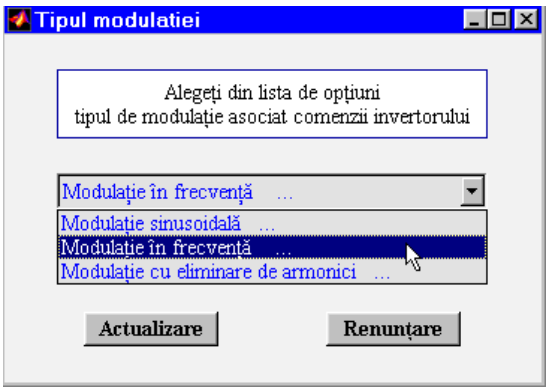


Fig. 9. Fereastra de dialog pentru selectarea metodei de modulație.

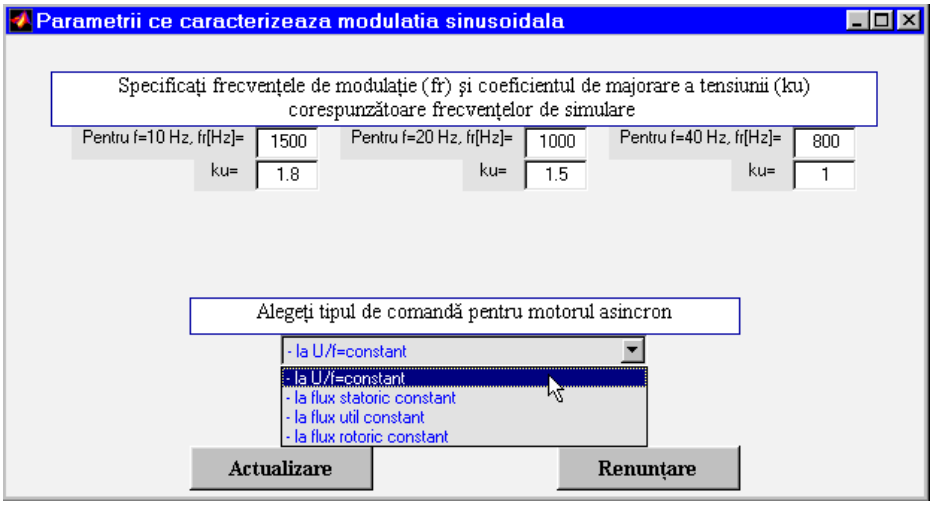


Fig. 10. Fereastra de dialog pentru stabilirea tipului de comandă a motorului asincron și a parametrilor modulației sinusoidale.

Cunoscând corelația tensiune – frecvență și pe k_u, valoarea necesară a amplitudinii tensiunii de comandă și implicit a factorului de modulație în amplitudine (m_a), la fiecare frecvență de comandă, se determină la declanșarea procesului de simulare din meniul **Simulare**, printr-o simulare prealabilă a unui model special conceput.

În cazul modulației în frecvență, tipul de comandă a motorului asincron este impus, iar fereastra de dialog permite modificarea numărului de pulsuri pe alternanță și a factorului de multiplicare a lățimii pulsurilor (fig. 11).

Fereastra de dialog caracteristică modulației cu eliminare de armonici permite stabilirea tipului de comandă a motorului asincron și a factorului de majorare a tensiunii. Este permisă și specificarea frecvenței de supramodulare pe fiecare puls de bază (fig. 12). Pe baza acestor informații, la comanda de declanșare a simulării (din meniul **Simulare**), pentru fiecare frecvență de comandă a invertorului, este determinat factorul de umplere al supramodulării. Acesta determină simularea repetată a unui model special conceput, până la obținerea valorii impuse a fundamentalei tensiunii de fază determinată din corelația dintre tensiune și frecvență.

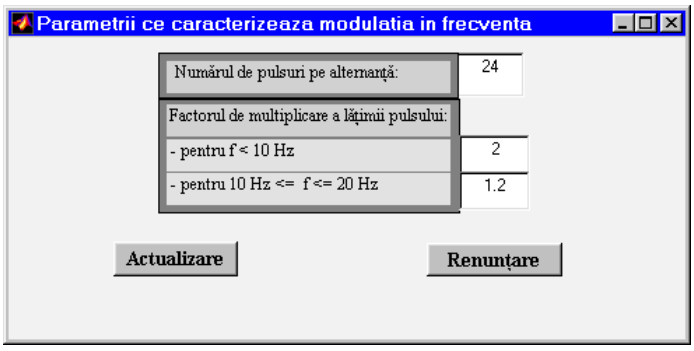


Fig. 11. Fereastra de dialog pentru stabilirea parametrilor modulației în frecvență.

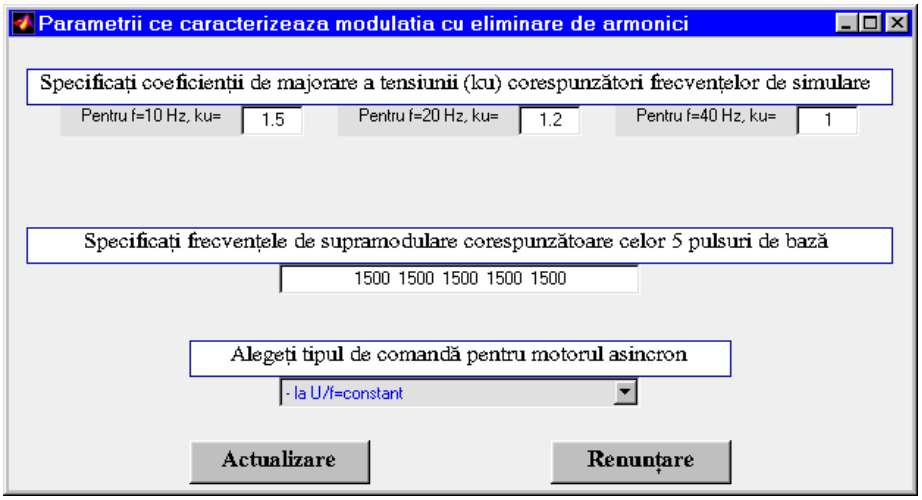


Fig. 12. Fereastra de dialog pentru stabilirea tipului de comandă a motorului asincron și a parametrilor modulației cu eliminare de armonici.

7. Domeniul de variație a sarcinii

Regimurile staționare de funcționare pentru care se face analiza energetică corespund mai multor valori ale cuplului static la fiecare frecvență de comandă. Stabilirea acestora se realizează printr-o fereastră de dialog, care este afișată selectând meniul **Domeniul de variație a sarcinii** din fereastra principală. Ca informație ajutătoare, în aceasta este afișată și valoarea nominală a cuplului electromagnetic al motorului. Caracterul cuplului static (pasiv sau activ) se impune indicând tipul dorit dintr-o listă de selecție afișată în aceeași fereastră (fig. 13).

Pentru a evita eventualele probleme legate de neconcordanța tipului variabilei asociate cuplului static cu valorile atribuite prin acțiunea de actualizare (apăsarea butonului **Actualizare**), în funcție de caz, este afișat un mesaj de atenționare, similar celui de la actualizarea frecvențelor, cu excepția cazului unei valori nule, care este admis.

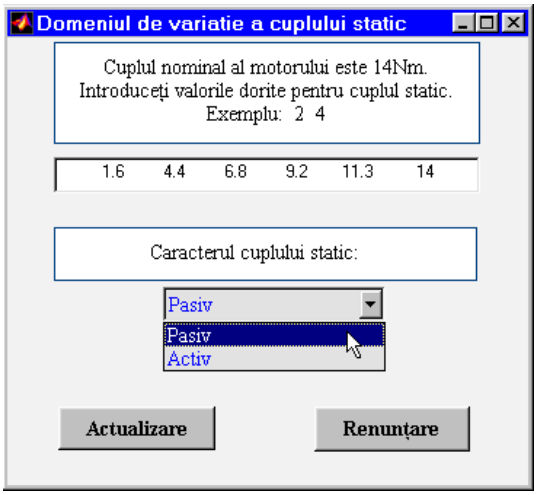


Fig. 13. Fereastra de dialog pentru stabilirea valorilor cuplului static.

8. Simularea funcționării

Simularea funcționării sistemului de acționare, cu structura și parametrii stabiliți, la toate frecvențele de comandă, iar în cadrul fiecărei frecvențe la toate valorile cuplului static, până la stabilirea regimului staționar, se realizează apăsând butonul **Start** al ferestrei de dialog **Simulare**, care apare selectând meniul **Simulare** al ferestrei principale (fig. 14). Fereastra permite și stabilirea numărului de armonici care vor fi luate în considerație la simulare. Înainte de începerea propriu-zisă a simulării, la apăsarea butonului **Start**, prin interfața grafică, se realizează patru verificări.

1. În cazul în care numărul de armonici care vor fi considerate în timpul simulării este introdus incorect în caseta de text editabil, apare o fereastră de atenționare.

2. Pentru ca simularea să fie asociată sistemului cu configurația și parametrii doriți, începerea acesteia nu este posibilă decât dacă toate operațiile de setare sunt finalizate, respectiv toate ferestrele de dialog sunt închise. În caz contrar, apăsarea butonului **Start** determină afișarea unei ferestre cu un mesaj de atenționare care invită utilizatorul să încheie aceste operații înainte se simulare și să reia ulterior simularea.

Apăsarea butonului **Actualizare** determină restaurarea tuturor ferestrelor care ar putea realiza modificări de configurații sau parametri și au rămase deschise, astfel încât acestea să fie închise în urma unei actualizări sau a unei renunțări la operație. Simultan, este închisă și fereastra de atenționare, precum și cea de simulare.

3. Deoarece parametrii care caracterizează o metodă de modulație pot avea valori ce depind de frecvență, stabilirea unei noi valori pentru frecvența de simulare trebuie urmată de asocierea valorilor corespunzătoare pentru parametrii modulației. Dacă această operație nu a fost făcută, încercarea de începere a simulării determină afișarea unui mesaj de atenționare (ca în exemplul din fig. 15), urmat de deschiderea ferestrei de dialog necesare pentru stabilirea parametrilor.

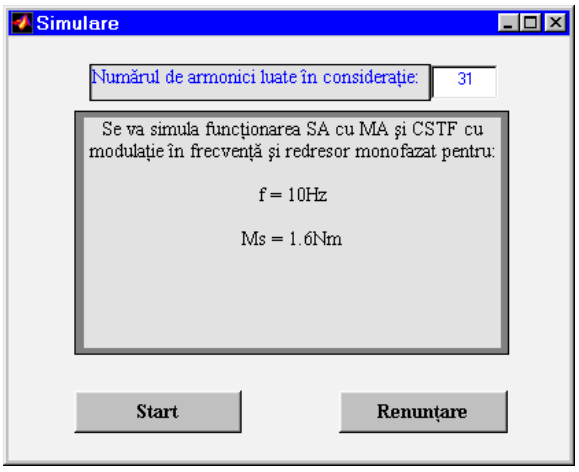


Fig. 14. Fereastra de dialog pentru începerea simulării.

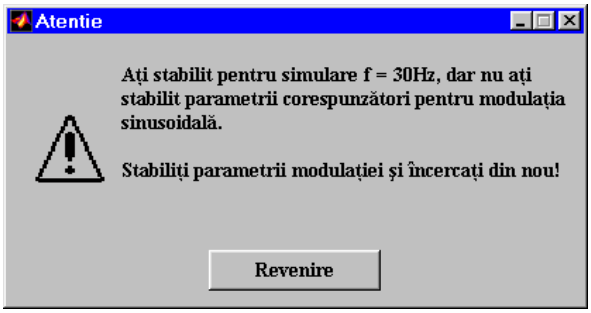


Fig. 15. Fereastra de atenționare afișată dacă nu se cunosc parametrii modulației la una din frecvențele stabilite pentru simulare.



Fig. 16. Fereastra de atenționare afișată dacă tensiunea medie redresată este insuficientă.

4. Dacă tensiunea medie din circuitul intermediar este insuficientă pentru a obține tensiunea impusă motorului prin strategia de comandă adoptată, înainte de a începe simularea, utilizatorul este informat printr-un mesaj, în care este indicată și o soluție care poate fi adoptată (fig. 16).

Apăsarea butonului **Revenire** determină închiderea celor două ferestre (de atenționare și de simulare), putându-se realiza schimbarea necesară de configurație sau parametru.

Dacă nu apare nici una din cele patru situații prezentate, simularea începe, fereastra de dialog rămâne afișată, dar textul din interiorul acesteia se modifică astfel încât acesta oferă informații asupra valorilor curente ale frecventei și cuplului static.

Când toate regimurile staționare impuse prin valorile frecvenței și sarcinii au fost atinse prin simulare, apare o fereastră mesaj care informează utilizatorul că poate prelucra datele obținute (fig. 17).

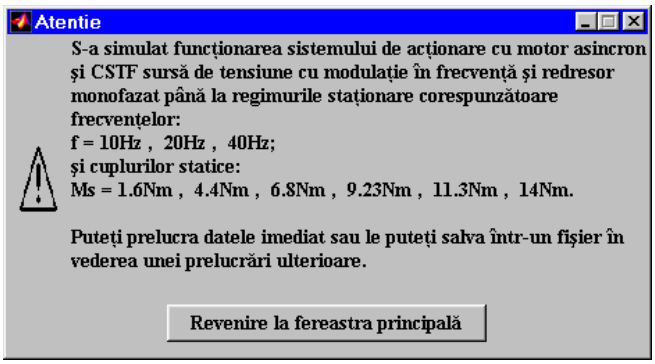


Fig. 17. Fereastra mesaj afișată după terminarea simulării.

9. Prelucrarea datelor

Datele numerice obținute prin simulare pot fi prelucrate, iar rezultatele pot fi afișate și reprezentate sub formă grafică.

Toate reprezentările grafice exemplificate corespund simulării unui sistem de acționare cu motor asincron și invertor de tensiune cu modulație în frecvență.

Pentru prelucrarea datelor, din fereastra principală, se selectează meniul **Prelucrare date**, operație ce determină afișarea submeniurilor **Regim dinamic…** și **Regim staționar ►**. La rândul său, al doilea submeniu are submeniurile **Motor…** și **Rețea…** (fig. 18).

În funcție de existența datelor de prelucrat, selectarea unuia dintre submeniurile al căror nume se termină cu ... poate avea diferite efecte.

1. Dacă nu s-a realizat nici o simulare, este afișată o fereastră de atenționare (fig. 19).

2. Dacă simularea a fost întreruptă după mai puțin de o perioadă corespunzătoare primei frecvențe de comandă, mesajul corespunzător acestei situații apare într-o altă fereastră de atenționare.

În orice altă situație:

- selectarea submeniului **Regim dinamic…** determină afișarea ferestrei de prelucrare date din fig. 20;
- selectarea submeniului **Motor…** determină afișarea ferestrei din fig. 21;
- selectarea submeniului **Reţea…** afișează o fereastră similară cu cea din fig. 21, numele afișat în bara de titlu fiind însă **Regim staționar – rețea**).

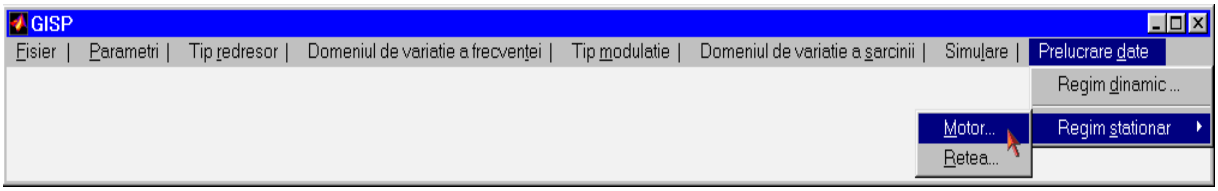


Fig. 18. Structura meniului pentru prelucrarea datelor

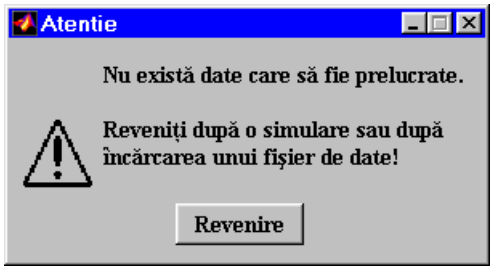


Fig. 19. Fereastra de atenționare care apare la încercarea de prelucrare a datelor, înainte de o simulare.

10. Prelucrarea datelor pentru regimul dinamic

Utilizând fereastra din fig. 20 și facilitățile create prin obiectele grafice inserate în aceasta (sistem de axe, butoane, casete de selecție, casete text needitabil și editabil), se pot reprezenta grafic evoluțiile în timp ale diferitelor mărimi, dar și unele dependențe între mărimile caracteristice sistemului de acționare, pe tot intervalul de simulare, la una sau mai multe frecvențe. Există astfel multe facilități.

Selectarea frecvențelor

- La crearea ferestrei, sunt afișate toate frecvențele la care s-a realizat simularea, alături de câte o casetă de selecție.
- Este permisă selectarea mai multor frecvențe pentru o reprezentare grafică.
- Când nu este selectată nici o frecvență, sistemul de axe este gol (sau se golește), iar limitele axelor sunt cele implicite (cea inferioară 0 și cea superioară 1).

Reprezentarea grafică

- Realizarea unei reprezentări grafice se realizează apăsând butonul asociat, identificabil prin textul afișat pe acesta.
- Butoanele sunt grupate pe categorii (primar transformator, secundar transformator, circuit intermediar de c.c. și motor), în funcție de locul mărimilor în structura sistemului.

Când nu este selectată nici o frecvență, toate aceste butoane sunt inactive.

- Încercarea de a realiza o reprezentare grafică la o frecvență pentru care simularea nu s-a realizat determină afișarea unei ferestre de atenționare.
- Dacă în structura sistemului de acționare s-a utilizat un redresor monofazat, butoanele asociate fazelor b și c ale transformatorului rămân inactive.
- Afișarea unui grafic este însoțită și de afișarea legendelor corespunzătoare pe cele două axe, indicându-se astfel semnificația și unitățile de măsură ale mărimilor reprezentate.

Controlul afișării

- Se pot obține informații despre semnificația oricărei reprezentări grafice realizate și se poate schimba culoarea de reprezentare prin intermediul unui meniu contextual care apare la indicarea unui punct de pe grafic cu butonul drept al mouse-ului (fig. 22).
- După activarea opțiunii de vizualizare a detaliilor (printr-o casetă de validare), se poate indica cu mouse-ul o zonă dreptunghiulară din zona graficului, care va fi afișată pe toată suprafața sistemului de axe.

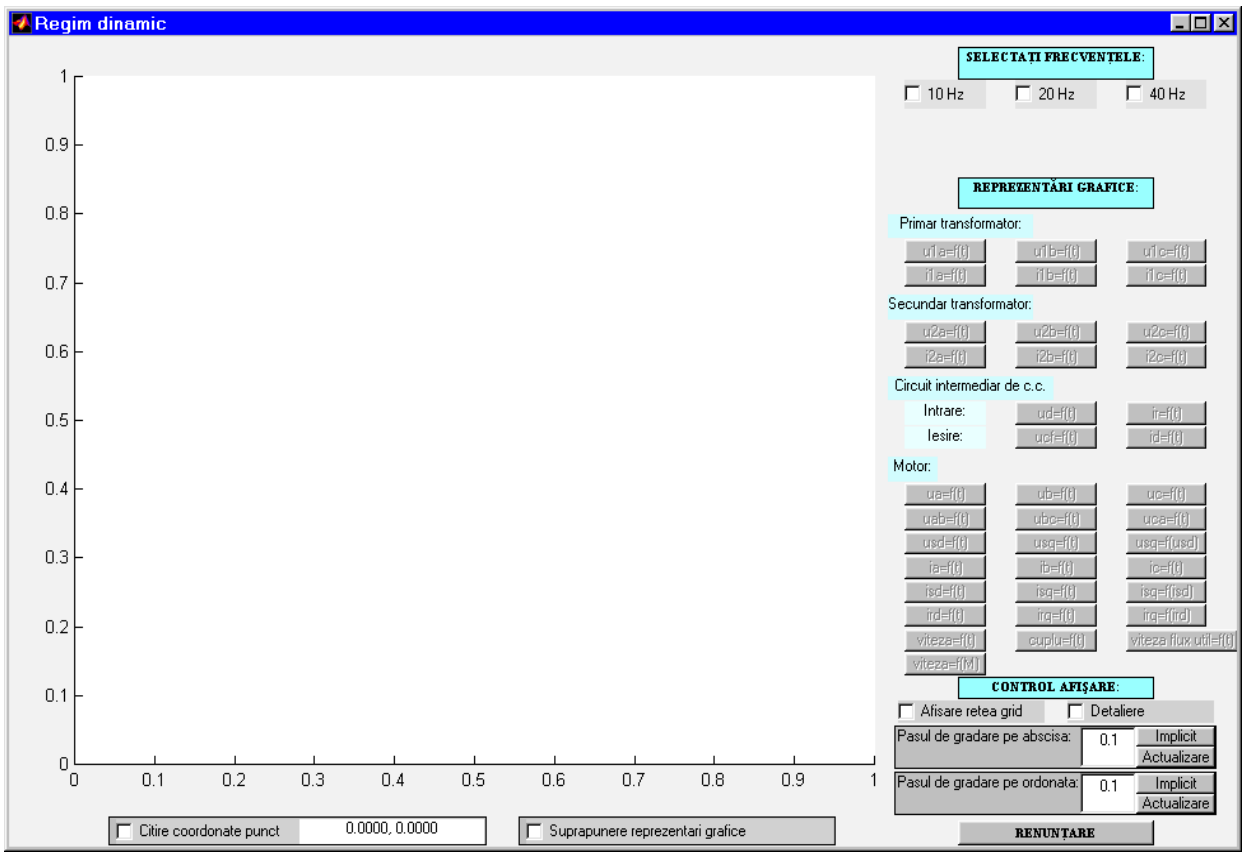


Fig. 20. Fereastra inițială pentru prelucrarea datelor în regim dinamic

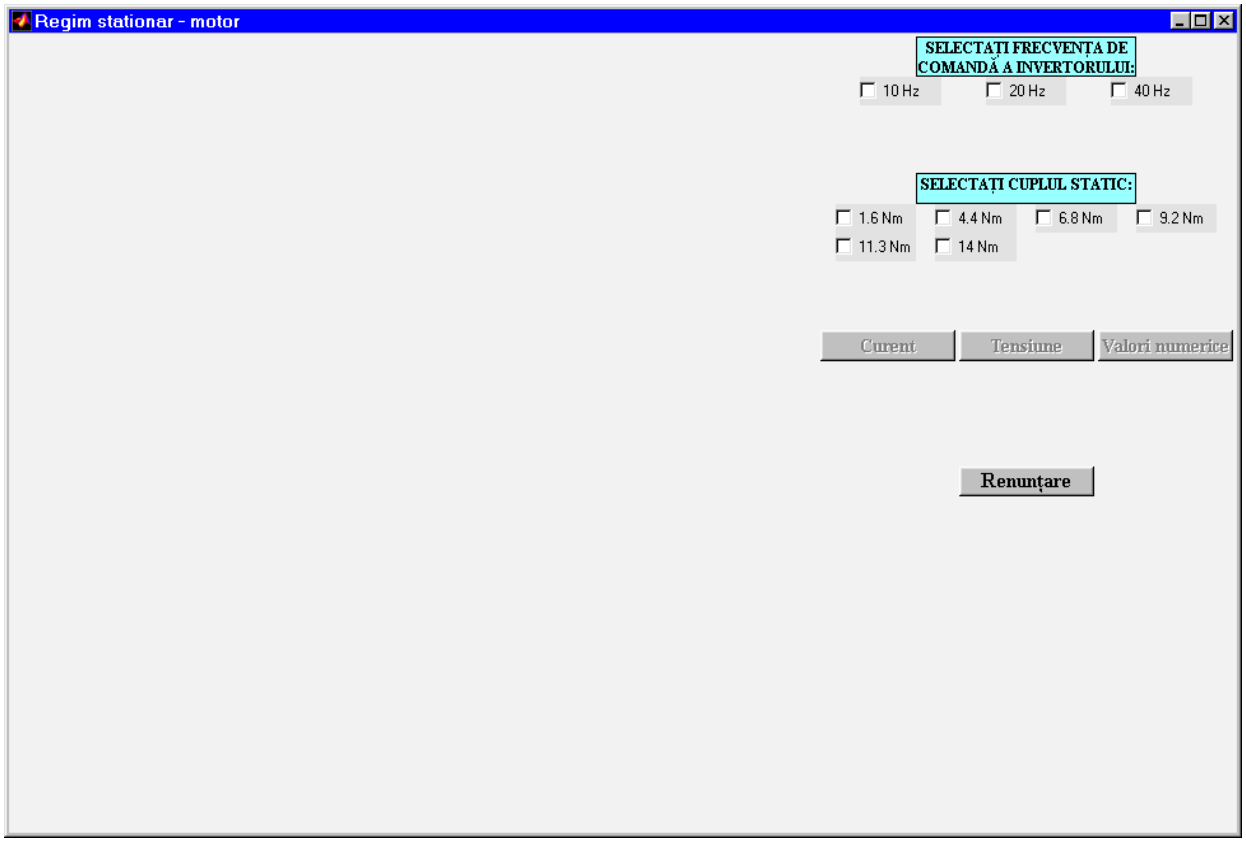


Fig. 21. Fereastra inițială pentru prelucrarea datelor în regim staționar, la bornele motorului.

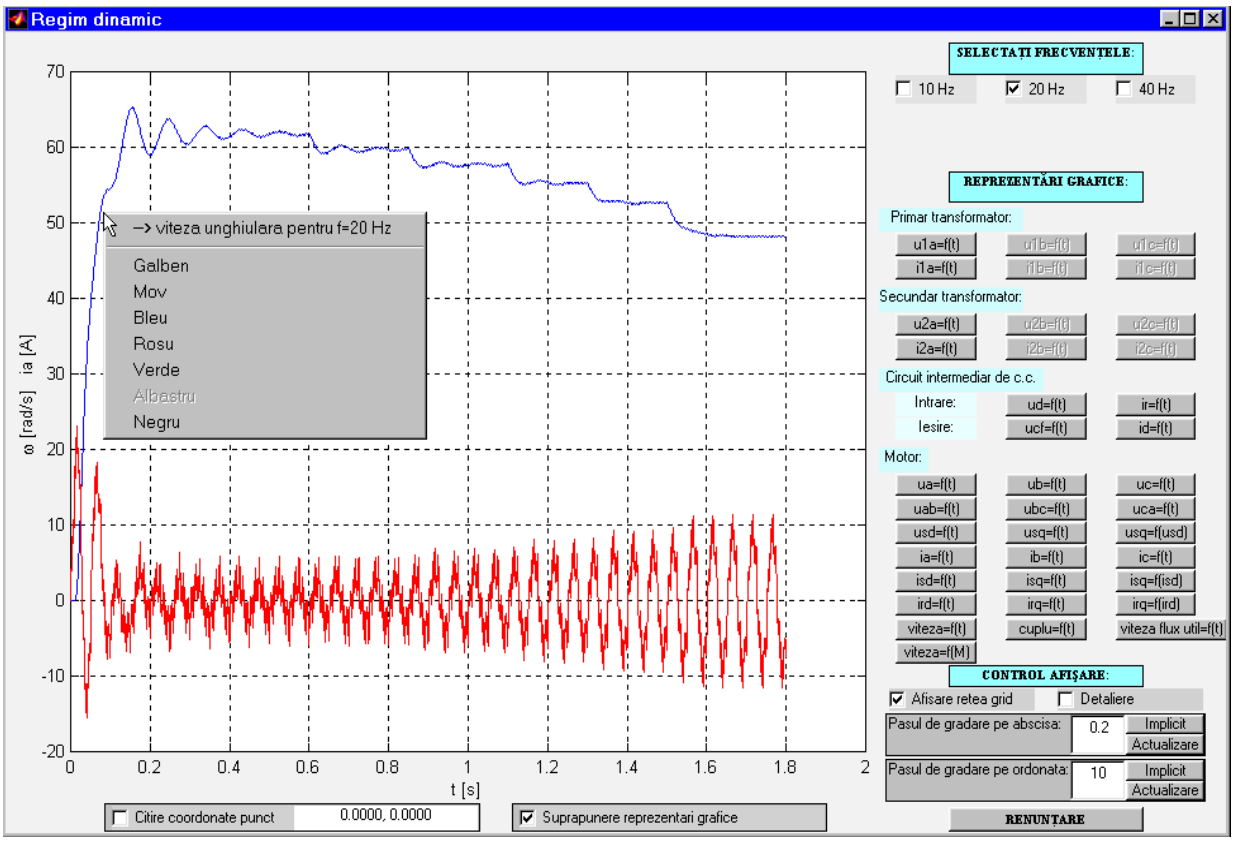


Fig. 22. Fereastra pentru prelucrarea datelor în regim dinamic.

- Dacă opțiunea de suprapunere a reprezentărilor grafice este selectată (prin caseta de validare asociată), pot fi afișate mai multe grafice în același sistem de axe, cu condiția ca mărimile reprezentate pe abscisă să fie aceleași. În caz contrar, este afișată o fereastră de atenționare.
- Prin caseta de validare "Citire coordonate punct" și caseta text alăturată, pot fi citite și afișate coordonatele oricărui punct din cadrul sistemului de axe. După activarea opțiunii, cursorul ia forma a două fire reticulare, iar după indicarea unui punct cu mouse-ul, se actualizează conținutul casetei text cu noile coordonate și caseta de validare se dezactivează.
- Valorile curente ale pașilor de gradare pentru axe sunt afișate în orice moment în două casete text. Modificarea acestora în urma unei noi reprezentări grafice sau a unei detalieri este reflectată și în valorile afișate.

11. Prelucrarea datelor pentru regim staționar

În timpul simulării, când fiecare regim staționar corespunzător unei frecvențe de comandă și unei valori a cuplului static a fost atins, se rețin toate datele corespunzătoare unei perioade a mărimilor la bornele motorului, respectiv unei perioade la bornele rețelei.

Prelucrarea acestora, în vederea caracterizării energetice a regimurilor staționare, se realizează prin intermediul ferestrelor **Regim staționar – motor**, respectiv **Regim staționar – rețea**.

Aspectul inițial al celor două ferestre de prelucrare a datelor este identic (fig. 21), deosebindu-se doar prin titlu. Acestea conțin:

- câte o casetă de validare pentru fiecare frecvență la care s-a realizat simularea;
- câte o casetă de validare pentru fiecare cuplu static la care s-a realizat simularea;
- patru butoane de comandă (**Curent**, **Tensiune**, **Putere** și **Valori numerice**), inactive când nu este selectată o frecvență și un cuplu static;
- un buton pentru închiderea ferestrei (**Renunțare**);
- o zonă, inițial liberă, în care vor fi afișate rezultatele prelucrării (sub formă grafică sau numerică).

Stabilirea regimului staționar ce va fi analizat se realizează prin selectarea unei frecvențe și a unui cuplu static. În mod automat, butoanele de comandă devin active, iar pentru a nu fi posibilă selecția simultană a mai multor frecvențe sau cupluri statice, celelalte casete de același tip sunt dezactivate. Validarea unei alte casete este posibilă numai după ce vechea selecție a fost anulată.

Dacă simularea a fost întreruptă înainte ca regimul staționar specificat să se fi atins, apăsarea oricărui buton de comandă determină afișarea unei ferestre de atenționare, ca în exemplul din fig. 23. În caz contrar, efectele depind de butonul apăsat.

Apăsarea butonului **Curent** afișează, în zona din partea stângă a ferestrei, forma de undă a curentului pe o perioadă și spectrul de armonici al acesteia (fig. 24).

În mod similar, apăsarea butonului **Tensiune** determină reprezentarea grafică a formei de undă a unei perioade a tensiunii de fază și a spectrului de armonici al acesteia (fig. 25), apăsarea butonului **Putere** afișează o perioadă a puterii instantanee și a spectrului de armonici al acesteia (fig. 26).

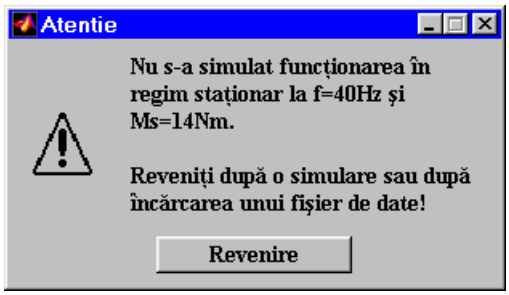


Fig. 23. Fereastra de atenționări la încercarea de a prelucra datele pentru un regim staționar care nu a fost simulat.

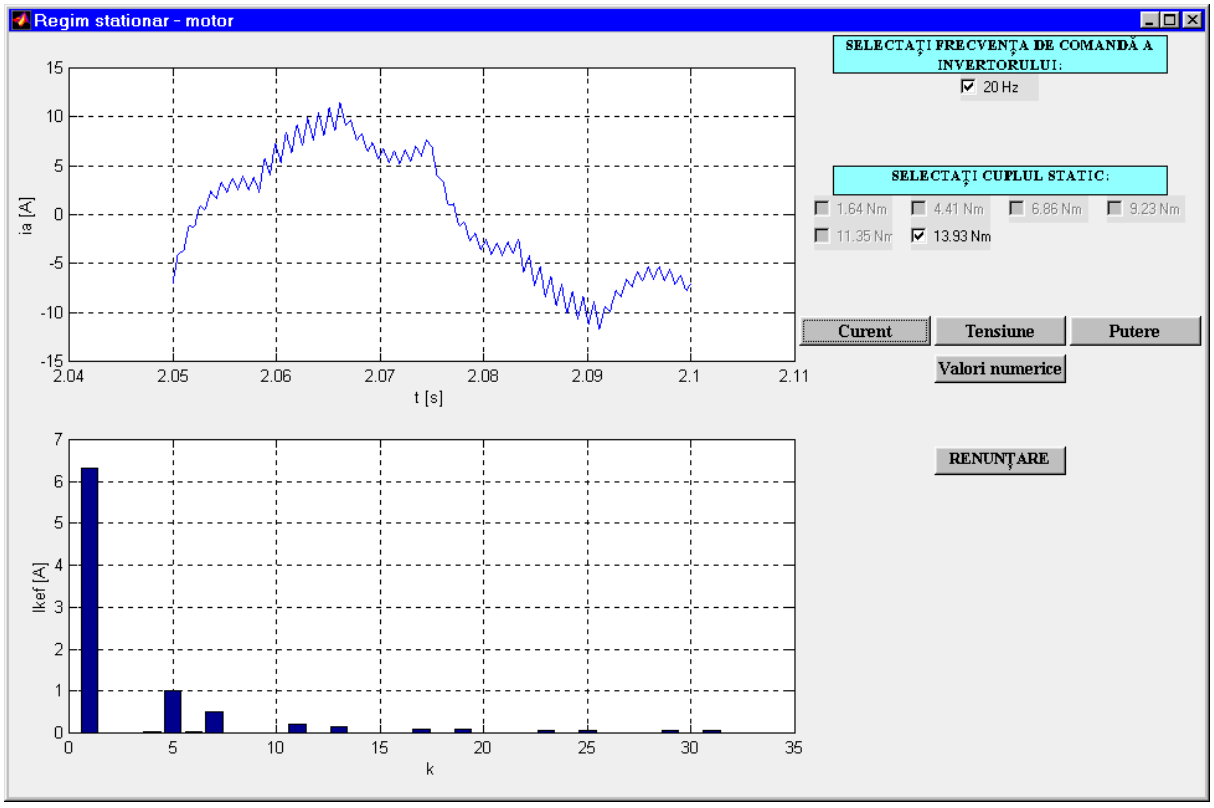


Fig. 24. Curentul printr-o fază a motorului și spectrul de armonici al acesteia, în cazul CSTF cu modulație în frecvență și redresor monofazat alimentat prin bobină de rețea.

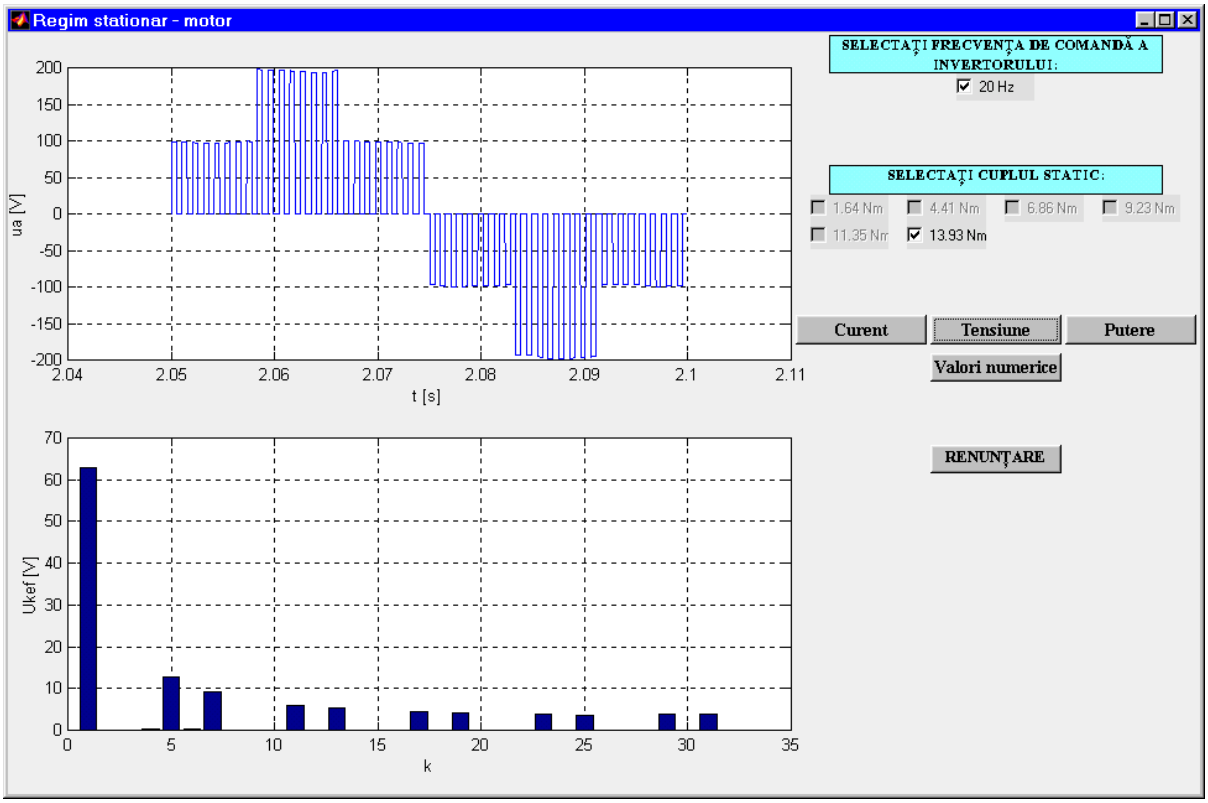


Fig. 25. Tensiunea de fază a motorului și spectrul de armonici al acesteia în cazul CSTF cu modulație în frecvență și redresor monofazat alimentat prin bobină de rețea.

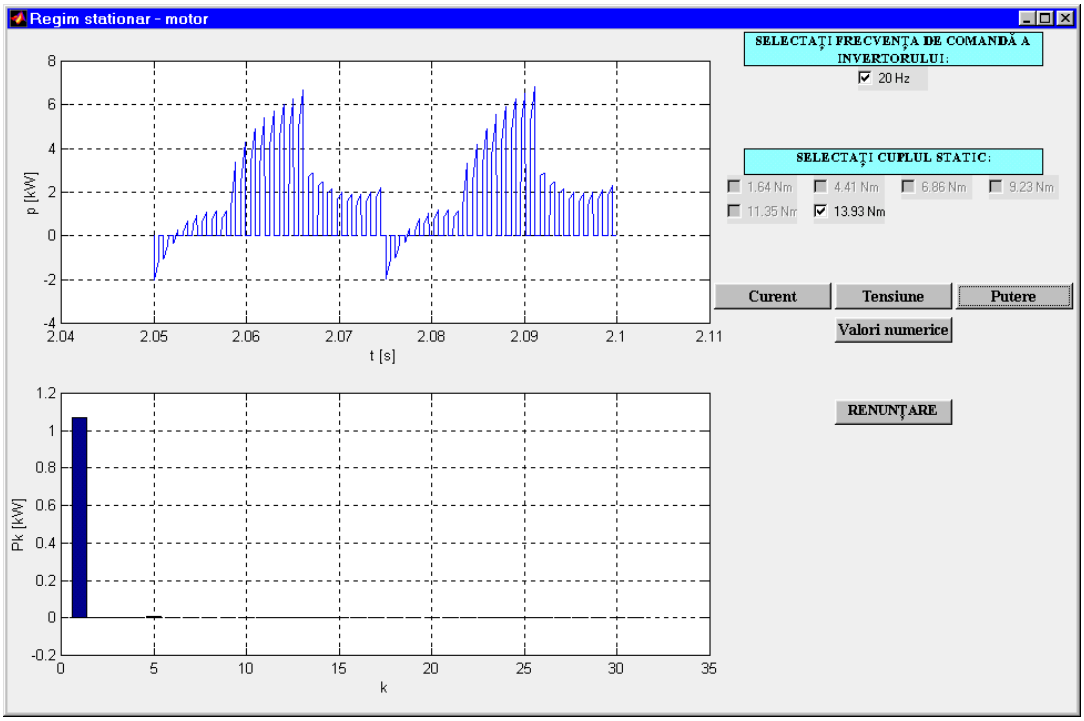


Fig. 26. Puterea instantanee absorbită de motor și spectrul de armonici al acesteia în cazul CSTF cu modulație în frecvență și redresor monofazat alimentat prin bobină de rețea.

Prin apăsarea butonului **Valori numerice**, programul permite calculul și afișarea valorilor numerice ale principalelor mărimi ce caracterizează regimul staționar specificat din punct de vedere energetic (fig. 27).

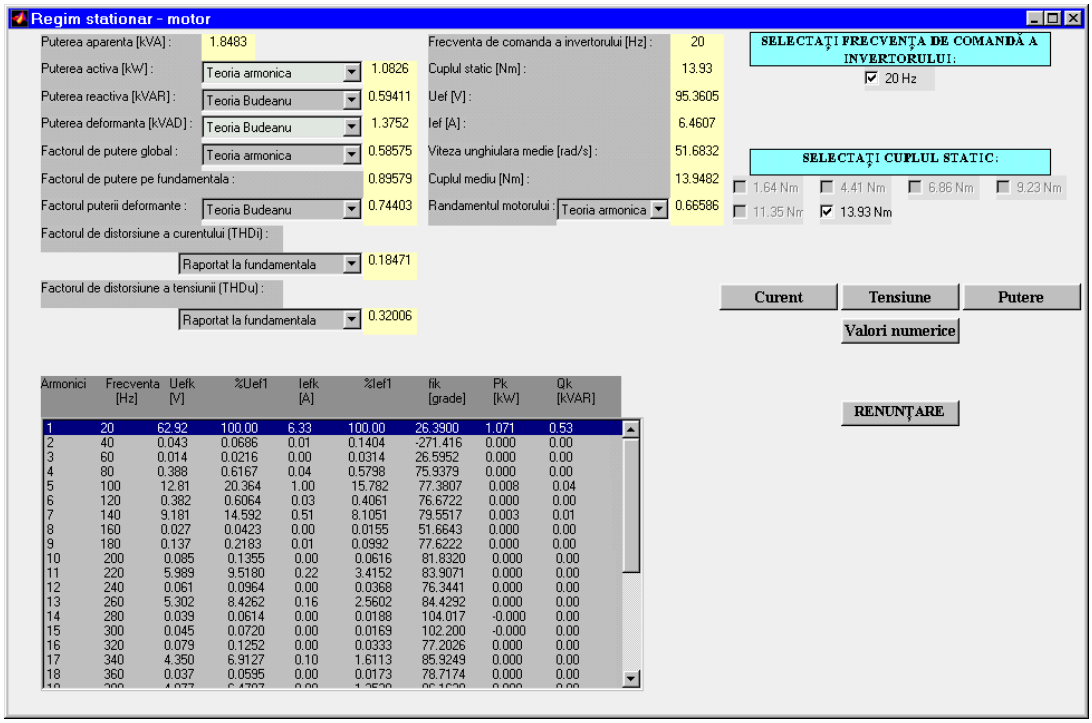


Fig. 27. Valorile numerice ale mărimilor ce caracterizează din punct de vedere energetic regimul staționar la bornele motorului electric, în cazul CSTF cu modulație în frecvență și redresor monofazat alimentat prin bobină de rețea.

Pentru mărimile la care există mai multe variante de calcul, este permisă selectarea opțiunii dorite dintr-o listă derulantă, operație însoțită de afișarea noii valori în caseta text alăturată.

- Pentru **puterea activă**, există opțiunile de mai jos.

- *Media puterii instantanee*, prin expresia

$$P_\Sigma = \frac{1}{T}\int_{t-T}^{t} p_\Sigma(\tau)d\tau\,, \tag{1}$$

unde *T* este perioada mărimilor în regim staționar, p_Σ este puterea instantanee,

$$p_\Sigma(t) = \mathbf{u}(t)^T \cdot \mathbf{i}(t)\,, \tag{2}$$

u(t)^T - vectorul transpus al tensiunilor de fază,

i(t) - vectorul curenților pe fază,

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}, \text{ cu } u_i = \frac{1}{3}\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{3} u_{ij}\,,\ i = 1, 2, 3 \tag{3}$$

$$\boldsymbol{i} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}. \tag{4}$$

- *Teoria Budeanu* bazată pe armonici (tabelul 1).

- *Teoria fazorială* (tabelul 1).

Tabelul 1. Expresii ale puterilor în regim nesinusoidal trifazat.

Puterea / Varianta	Activă	Reactivă	Deformantă	Aparentă [*S*]
I (Budeanu)	$P = 3\sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos\varphi_k$	$Q_B = 3\sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin\varphi_k$	$D_B = \sqrt{S^2 - \left(P^2 + Q_B^2\right)}$	$3UI$
II (Czarnecki)	$P = 3\sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos\varphi_k$	$Q_C = 3U\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty}\left(I_k \sin\varphi_k\right)^2}$	numită și "dispersată" $D_C = D_S = \sqrt{S^2 - \left(P^2 + Q_C^2\right)}$	$3UI$
III (Fazorială)	$p = \frac{3}{2}\left(u_d i_d - u_q i_q\right)$ $P_f = \frac{1}{T}\int_0^T p\,dt$	$q = \frac{3}{2}\left(u_q i_d - u_d i_q\right)$ $Q_f = \frac{1}{T}\int_0^T q\,dt$	$D_f = \sqrt{S^2 - \left(P_f^2 + Q_f^2\right)}$	$3UI$

- Pentru **puterile reactivă și deformantă** (tabelul 1) și **factorul puterii deformante**,

$$PDF = \frac{D}{S}, \tag{5}$$

- *teoria Budeanu* [5], [31]*;*
- *teoria Czarnecki* [5], [32];
- *teoria fazorială* [5], [33].

- Pentru **factorul de putere global**,

$$PF = \frac{P}{S}, \tag{6}$$

- *teoria armonică*;
- *teoria fazorială*.

- Pentru **factorii de distorsiune a curentului și a tensiunii**:
- *raportare la fundamentală*,

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} C_h^2}}{C_1}, \tag{7}$$

- *raportare la valoarea efectivă*,

$$THD_{CEI} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} C_h^2}}{C}. \tag{8}$$

Într-o casetă tip listă derulantă sunt afișate, pentru fiecare armonică, valorile efective ale tensiunii și curentului de fază (în valori absolute și procentual față de fundamentală), defazajele curent-tensiune și puterile activă, respectiv reactivă (fig. 27).

Ferestrele grafice cu informații privind oricare dintre regimurile staționare simulate, la bornele rețelei de alimentare (fig. 28, fig. 29, fig. 30), se obțin în mod similar, după selectarea opțiunii **Rețea …** a meniului **Prelucrare date**, submeniul **Regim staționar**.

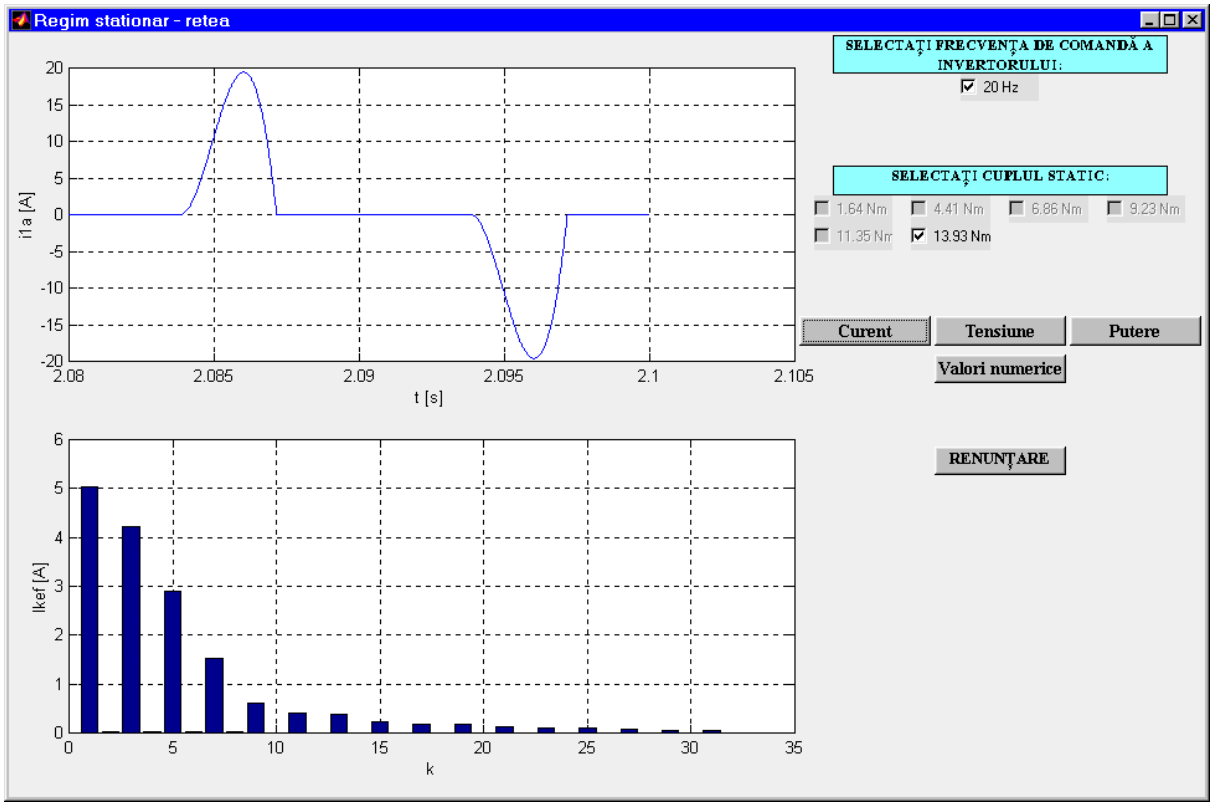


Fig. 28. Curentul absorbit din rețea și spectrul de armonici al acestuia în cazul CSTF cu modulație în frecvență și redresor monofazat alimentat prin bobină de rețea.

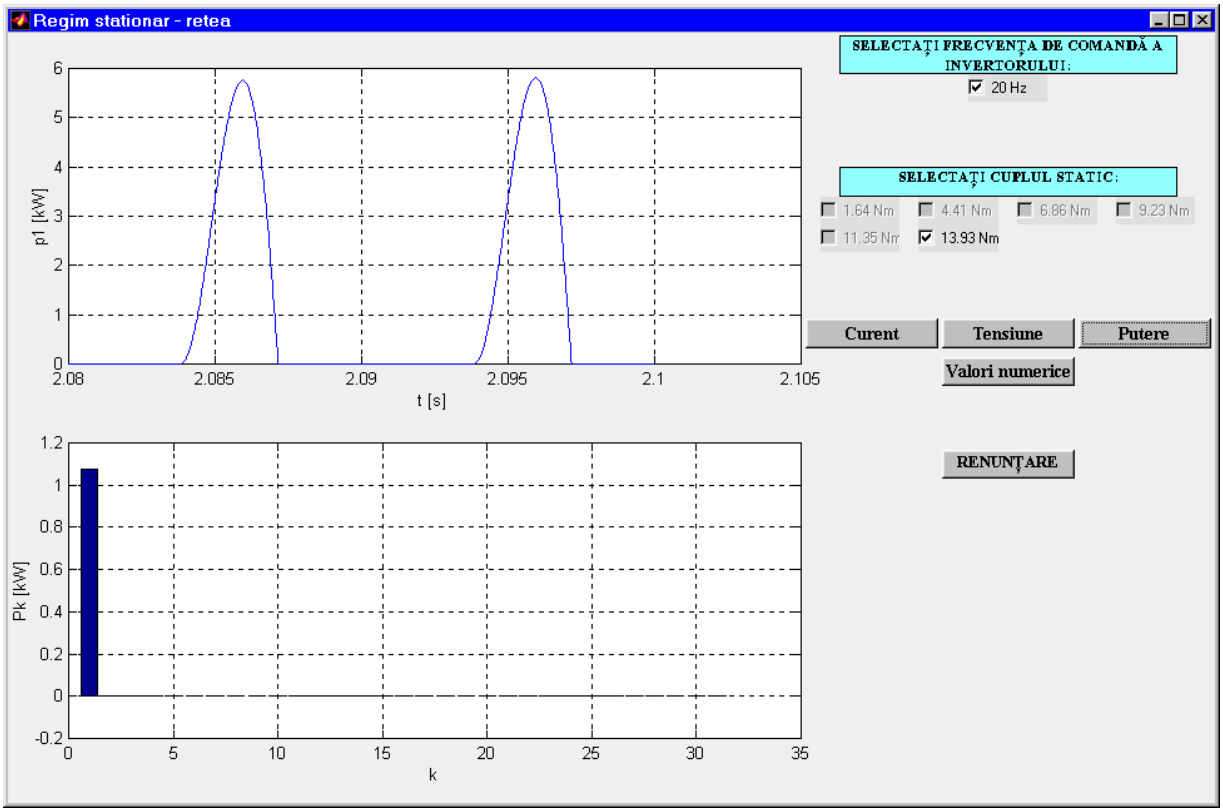


Fig. 29. Puterea instantanee absorbită din rețea și spectrul de armonici al acesteia în cazul CSTF cu modulație în frecvență și redresor monofazat alimentat prin bobină de rețea.

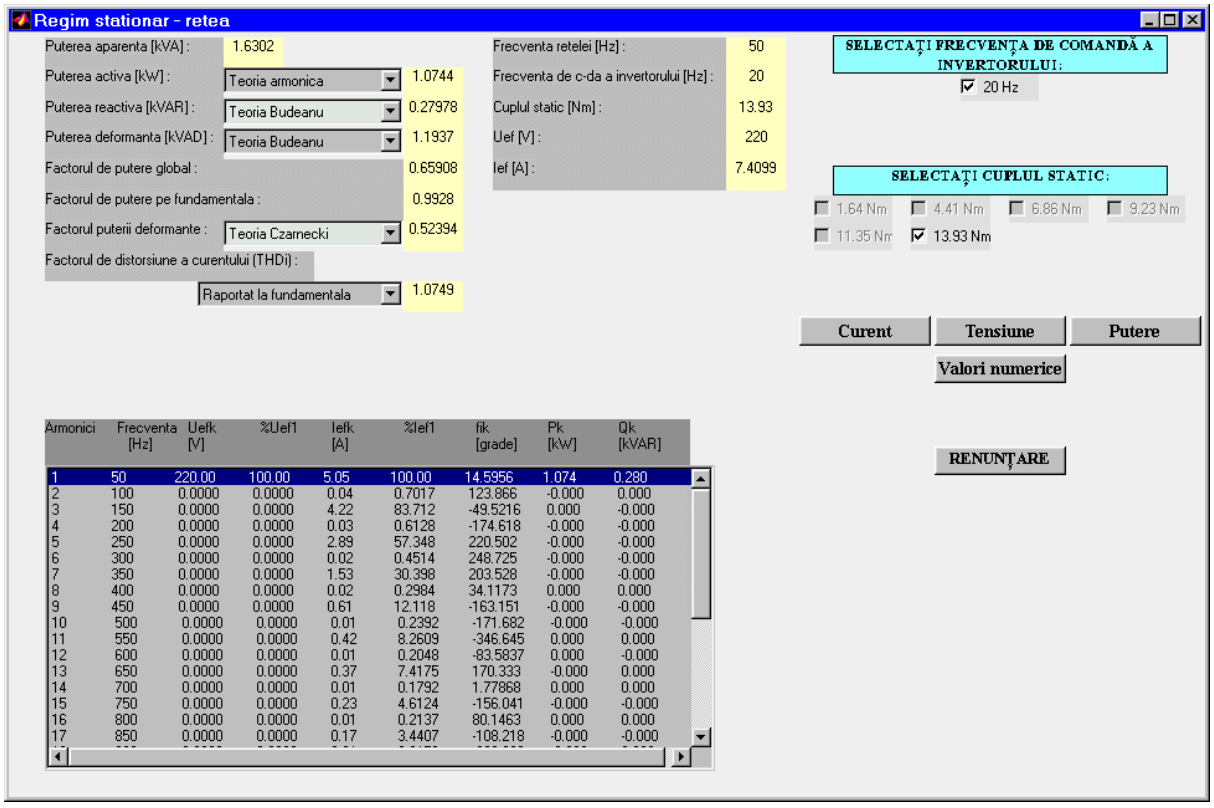


Fig. 30. Valorile numerice ale mărimilor ce caracterizează din punct de vedere energetic regimul staționar la bornele rețelei de alimentare, în cazul CSTF cu modulație în frecvență și redresor monofazat alimentat prin bobină de rețea.

Bibliografie

[1] R. K. Rojin, A Review of Power quality problems and solutions in electrical power system, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 2, No. 11, pp. 5605-5614, 2013.

[2] I. A.Yakimov, S. S. Voronin, E. A. Maklakova, A. S. Maklakov, Power quality analysis of HP electric drive based on 3L NPC AFE Rectifiers with SHE modulation method, Procedia Engineering, Vol. 206, pp. 1843-1847, 2017.

[3] A. Ansari, S. Jain, S. P. Phulambikar, S. Gupta, Performance and analysis with power quality improvement with induction motor in electric drive, International Journal of Engineering and Technical Research, Vol. 2, Issue10, pp. 30-34, Oct. 2014.

[4] B. Milesevic et al., Power quality analysis in electric traction system with three-phase induction motors, Electr. Power Syst. Res., 2016.

[5] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, Energetica sistemelor de acţionare cu motoare asincrone şi convertoare statice indirecte, Ed. Mediamira, 2004.

[6] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, Apparent power minimization of the voltage and

frequency static converter with asynchronous motor driving systems, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM 2002), Ravello, Italia, 11-14 June 2002, pp. B2-29 – B2-35.

[7] Mihaela Popescu, M. Dobriceanu, Active Power Minimization of the Induction Motor and Frequency Static Converter Driving System, Proceedings of the 11th National Conference on Electrical Drives (CNAE'2002), Editura Fundaţiei Universitare "Dunărea de Jos", Galaţi, octombrie 2002, ISBN 973-8352-83-5, pp. 198-202.

[8] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, Input Apparent Power Minimization of Asynchronous Motor Supplied by Frequency Static Converter, ELECTROMOTION. An International Journal Devoted to Research, Development, Design and Application of Electromechanical Energy Converters, Actuators and Transducers, Vol. 10, No.4, October-December 2003, ISSN 1223-057X, pp. 523-526

[9] A. Bitoleanu, Mihaela Popescu, M. Dobriceanu, Optimal Energetical Control of Asynchronous Motor and Static Converters Driving Systems, Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation & Motion (SPEEDAM'2004), Capri, Italy, 2004, ISBN 88-89389-00-1, pp. TID -29 – 32

[10] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, Active power optimisation of induction motor fed by voltage – source inverters, 13th International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE2005), 26-28 September 2005, Croatia, pp.4/4.

[11] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, Input current optimisation of Induction Motor Fed by Voltage – Source Inverters, The XIV – the International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Plovdiv, Bulgaria, Proceeedings, Vol.II, 2-3 June 2005, pp. 125-130.

[12] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, M. Lincă, Energy-Efficient Inverter-Fed Induction Motor Driving System, The IEEE International Electric Machines and DrivesConference - IEMDC 2007, Antalya, Turcia, 03-05 Mai, 2007, Vol.2, pp. 1685-1688.

[13] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, Input Power Factor of the Asynchronous Motor and Voltage Converter Driving Systems, IEE Med Power 2002 (3rd Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion), November 4-6, Athens, Greece, 2002, pp. 227-232.

[14] A. Bitoleanu, Mihaela Popescu, New Power Optimization Possibilities of Static Converter and Asynchronous Motor Driving Systems, The Annals of "Dunărea de Jos" University of Galaţi, Fascicle III, Electrotechnics, Electronics, Automatic

Control, Informatics, 2002, ISSN 1221-454x, pp.40-47.

[15] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, AC Input Line Reactors and Frequency Static Converters, IEE MedPower 2004 (4th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission and Distribution), November 14-17, Lemesos, Cyprus, 2004, ISBN 9963-8275-1-9, pp. 25-28.

[16] Mihaela Popescu, Influenţa energetică a strategiilor de comandă a motorului asincron, Electrotehnica-Electronica-Automatica, Ed. Electra, Vol. 52, Nr.4, Oct.-Dec. 2004, ISSN 1582-5175, pp. 42-49.

[17] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, The Energetic Implications of the Constant Flux Control Strategies in the Induction Motors Driving Systems, 13th International Symposium on Power Electronics (Ee 2005), Novi Sad, Serbia & Montenegro, Paper No.T4-2.5, Nov. 2- 4, 2005, ISBN: 86-85-85211-54-9, pp.1-4.

[18] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, M. Lincă, Influence de la correlation tension-fréquence sur les puissances d'un moteur asynchrone, Proceedings of the 5th International Conference on Electromechanical and Power Systems, (SIELMEN 2005), Oct. 6-8, 2005, Chişinău, Moldova,Vol.2, ISBN 973-716-230-7, pp. 550-554.

[19] Mihaela Popescu, Bitoleanu A, M. Lincă, On the Energetic Influence of the Voltage-Frequency Correlation in the Induction Motor Driving Systems, Buletinul Universităţii Petrol-Gaze din Ploieşti, Seria Tehnică, Vol.LVIII, No.2bis, 2006, ISSN 1224-8495, pp. 197-203.

[20] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, The influence of certain PWM methods on the quality of input energy of the asynchronous motor and frequency converters drives system, 10th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2002), Cavtat & Dubrovnic, Croaţia, September 09-11, 2002, ISBN: 953-184-047-4, pp. P.1- P.6 .

[21] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, Power Quality at Input of the Static Converter and Induction Motor Driving Systems, The 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Piscataway, NJ, USA, IEEE. Part Vol.1, 2003, pp.555-558.

[22] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, The Harmonics Mitigation to Input of Static Converter and Electric Driving Systems, WSEAS Transactions on Systems, Issue 9, Volume 4, Greece, September 2005, ISSN 1109–2777, pp. 1546-1555.

[23] 24.Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, M. Lincă, Harmonic Pollution Generated by Railway Locomotives –Experimental Analyses and Mitigation Solutions, Proceedings of Cairo 10th International Conference on Energy and

Environment, Luxor, Egypt, March 11-15, 2007, CD ISSN: 1687-5885.

[24] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, Case Study Survey of Harmonic Pollution Generated by Railway Systems and Filtering Solutions, Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on SYSTEMS, Heraklion, Greece, July 22-24, 2008, pp. 210-215.

[25] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, Matlab-based Tool for Energetic Analysis of the Induction Motor Driving Systems, Proceedings of th.e 10th *WSEAS International Conference on Systems*, 2006, pp. 543-548.

[26] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, Matlab GUI Application in Energetic Performances Analysis of Induction Motor Driving Systems, WSEAS *Transactions on Advances in Engineering Education*, Issue 5, Vol. 3, pp. 304-311, May 2006.

[27] Mihaela Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu, M. Lincă, Power Quality Assessment via Matlab/Simulink-based Tool, Proc. of The IASTED International Conference on Power and Energy Systems (*EuroPES 2007*), No. 582, Aug. 2007, pp. 163-168.

[28] Mihaela Popescu, Bitoleanu A, M. Dobriceanu, M. Lincă, Simulation Tool for Power Quality Analysis, *Analele Universităţii din Craiova*, Seria Inginerie electrică, Vol. 31, pp. 307-312, 2007.

[29] A. Bitoleanu, Convertoare statice – Aplicaţii. Sisteme de acţionare electrică, Ed. Universitaria, Craiova, 1994.

[30] A. Câmpeanu, Introducere în dinamica maşinilor electrice de curent alternativ, Ed. Academiei Române, Bucureşti, 1998.

[31] C. I. Budeanu, Puissances réactives et fictives, Inst. Roumain de l'Energie, Bucharest, 1927.

[32] L. S. Czarnecki, Scattered and reactive current, voltage and power in circuit with nonsinusiodal waveforms and their compensation, IEEE Trans., 1991, IM-40.

[33] V.N. Nedelcu, Teoria conversiei electromecanice, Editura tehnică, Bucureşti, 1978.

V. Domeniul Sisteme automate, Subdomeniul Robotică și Mecatronică

Soluții automate/informatizate de control pentru sisteme/procese

1. Introducere

Competențele și expertizele echipei MEROB 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.

Creșterea performanțelor și asigurarea competitivității presupune automatizare, robotizare, informatizare, utilizarea unor sisteme flexibile de fabricație.

Automatele programabile (acronim AP sau PLC – Programmable Logic Controller) sunt echipamente electronice destinate automatizării proceselor industriale cu caracter preponderent secvențial. Automatele programabile 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.

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 PLC-uri, 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 automatelor programabile. 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.

2. Soluții automate/informatizate de control pentru procese

2.1. Conducerea sistemelor/proceselor cu automate programabile

La ora actuală o serie de rezultate privind conducerea proceselor industriale prin sisteme automate, ca și pentru folosirea acestor echipamente în sistemele flexibile de fabricație automatizate pot fi regăsite atât pe Internet cât și în literatura de specialitate [Web99].

Dezvoltarea automatelor programabile dedicate conducerii proceselor a dus la dezvoltarea sistemelor: de măsură a diferiților parametri, de conducere a proceselor, de monitorizare a proceselor cu sisteme multiprocesor și SCADA.

Industria producătoare de AP s-a dezvoltat pe trei direcții: mini/microautomate, automate compacte și echipament distribuit. Sistemele clasice de control bazate pe structuri cu relee electromagnetice, au fost înlocuite de diverse structuri digitale, între care și cele de tip AP, întâi singulare, iar apoi în rețea. Ulterior s-a manifestat tendința de distribuție geografică a "puterii de conducere" în paralel cu integrarea funcțiilor de conducere. În prezent se manifestă tendința de a combina structurile adaptate și fiabile ale AP cu capacitățile software ale PC-urilor [Hac04].

Implementarea cea mai bună 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 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. Aceste sisteme de măsură și control au o precizie ridicată precum și o fiabilitate mărită.

Flexibilitatea, fiabilitatea, insensibilitatea la perturbații precum și o serie de cerințe privind facilitățile oferite la introducerea sau modificarea programelor de lucru sunt doar câteva dintre caracteristicile de bază ce se impun la ora actuală echipamentelor de conducere pentru majoritatea aplicațiilor. Într-o mare măsură aceste cerințe sunt acoperite de automatele programabile [Pop01].

2.2. Interfațarea automatelor programabile cu procesul condus

Conectarea unui automat programabil 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. Sistemul de interfață intrare/ieșire conține un număr de module standardizate atât în funcție de:

- natura semnalelor furnizate în curent continuu sau alternativ,
- de elementele de captare a informației din proces (taste, comutatoare, limitatoare de cursă, traductoare cu funcționare continuă sau discretă ş.a.)
- de nivelurile de tensiune și curent și de gamele de frecvență ale acestor semnale,
- cât și în funcție de cerințele particulare impuse filtrării și izolării semnalelor.

Interfața automatului programabil cu procesul condus este constituită din sistemul intrărilor și al ieșirilor analogice și numerice. Aceste sisteme sunt cele mai susceptibile de defectare, fiind expuse direct influențelor externe, caracteristice mediului industrial. Din această cauză, în proiectarea interfețelor de intrare/ieșire se recomandă măsuri de protecție, obținute atât prin:

- amplificarea semnalelor,
- separarea galvanică a semnalelor din proces în raport cu cele logice,
- cât și prin asigurarea unor canale redundante.

Pentru realizarea unor facilități privind sistemul de adresare a variabilelor de intrare/ieșire, mărimile corespunzătoare sunt organizate pe module, un modul cuprinzând un număr bine precizat de variabile în corelație cu dimensiunile magistralelor utilizate și cu mărimea câmpului de variabile.

Informațiile scalare (pe bit) de intrare în automatul programabil sunt reprezentate de o serie de variabile de tipul "tot sau nimic" ce definesc anumite stări funcționale ale procesului. Aceste mărimi definesc câmpul de variabile de intrare ce constituie sursa unor operanzi în prelucrarea ulterioară a informației.

Selecția acestor mărimi se obține prin mai multe niveluri de adresare în funcție de numărul de intrări aplicate și de modul lor de organizare.

Pentru realizarea compatibilității electrice cu magistralele automatului programabil, semnalele primare de intrare sunt prelucrate în circuite specializate. Aceste circuite asigură adaptarea de impedanță necesară, separarea galvanică a sursei primare (traductorul) de circuitele interne ale automatului programabil, formarea semnalului electric în tensiune la parametrii acceptați de logica internă a acestuia etc.

Un proces poate accepta ca variabile de tip scalar (de 1 bit) toate mărimile generate după principiul «tot sau nimic», adică limitatoare de poziție, limitatoare de cap de cursă,

senzori de proximitate, de temperatură, de nivel, anumiți senzori tactili, traductoare de forță-moment cu prag etc. Toate aceste mărimi sunt organizate pe module și sunt conectate direct sau după câteva adaptări, la bornele de intrare ale interfeței.

Variabilele pe cuvânt provin direct din traductoarele de măsurare absolute sau din circuitul numeric (numărătorul de impulsuri) asociat măsurării incrementale. În această categorie ar putea fi incluse, de asemenea, mărimile furnizate de traductoare senzoriale de tip analogic, după conversia acestora în mărimi numerice. Ca traductoare ce furnizează mărimi analogice se pot enumera: traductoarele de deplasare de tip potențiometric, majoritatea senzorilor tactili de tip «piele artificială», traductoarele de forță-moment etc.

Există mai multe tipuri de module de intrări numerice (digitale): 24 V c.c. (semnal 0 logic ↔ 0 ... 5 V, 1 logic ↔ 13 ... 33 V), 24 ... 60 V c.c. (semnal 0 logic ↔ -33 ... 8 V, 1 logic ↔ 13 ... 72 V), 115 V c.a. (semnal 0 logic ↔ 0 ... 40 V, 1logic ↔ 85 ... 135 V), 230 V c.a. (semnal 0 logic ↔ 0...70 V, 1 logic ↔ 170...264 V).

Transferul datelor de la automatul programabil spre sistemul de acționare al procesului sau spre anumite dispozitive (elemente de execuție) ale instalației tehnologice sau ale robotului se realizează prin tehnici de demultiplexare, în paralel, în funcție de numărul de variabile controlate. Variabilele de ieșire furnizate de automatul programabil sunt fie de tip scalar (pe bit), pentru acționarea unor circuite de forță cu sistem de comandă pe poartă (tiristoare, triacuri), a unor relee intermediare, contactoare etc., fie de tip vectorial (pe cuvânt) pentru controlul unor bucle de reglare din sistemul de conducere al procesului/sistemului.

Cuplarea sistemului de interfață la proces se realizează prin circuite de ieșire specializate ce permit adaptarea electrică cu sistemul de acționare al procesului, realizarea nivelului de putere solicitat de circuitele de forță precum și separarea galvanică a etajelor.

Aceste configurații de circuite sunt utilizate de obicei la transferul variabilelor de tip scalar (pe bit). Informațiile vectoriale sunt transferate direct în circuitele de control numeric, forma acestora fiind compatibilă cu sistemele de prelucrare utilizate în buclele de conducere numerică.

Ansamblul acestor mărimi definește câmpul variabilelor de ieșire scalare sau vectoriale. În majoritatea programelor de conducere, aceste mărimi sunt generate la sfârșitul unor operații logice sau aritmetice și marchează de obicei finalizarea unor secvențe funcționale. În unele cazuri, prelucrarea logică executată într-o anumită fază necesită apelarea unor variabile de ieșire determinate într-o fază anterioară. Pentru a

facilita aceste operații, unele automate conțin o memorie suplimentară (RAM) în care se înscriu valorile ieșirilor simultan cu înscrierea în circuitele de ieșire. Se obține astfel în memorie o imagine a mărimilor de ieșire ce poate constitui o sursă pentru operanzii implicați în programele automatului programabil.

Există mai multe tipuri de module de ieșiri numerice (digitale): ieșiri pe tranzistoare cu colectorul în gol, 5...24 V c.c./0.1 A până la 2 A; ieșiri pe triace, 110V/220V c.a./ până la max. 4A; ieșiri pe relee, 21...27 V c.c. sau 85 ... 264 V c.a./ până la max. 4 A.

Mulți senzori și multe traductoare generează semnale analogice, ca de exemplu pentru măsurarea deplasării, presiunii, debitului, vitezei, vibrațiilor etc. Acești senzori și aceste traductoare se pot conecta la un automat programabil ce prezintă module de I/E analogice. Un semnal analogic presupune un semnal cu o amplitudine variabilă și/sau frecvență variabilă.

Similar, multe elemente de execuție se conduc prin semnale analogice, ca de exemplu un servomotor de c.c. sau un dispozitiv de încălzire.

Modulele de intrări/ieșiri analogice pot fi de două feluri:

- cu I/E în curent (uzual 2-10 mA, 4-20 mA, 10-50 mA);
- cu I/E în tensiune (uzual 0-5 V c.c., 0-10 V c.c., ± 2,5 V c.c, ±5 V c.c., ±10 V c.c.).

Un modul de intrări analogice presupune conversia semnalului analogic de intrare într-o valoare numerică (pe un număr de biți, de exemplu 8 sau 16), la anumite intervale de timp (prin eșantionare). Valorile numerice pot fi interpretate și utilizate apoi de către unitatea centrală a automatului programabil în operații matematice dictate de programul utilizator.

Operația de generare a unei ieșiri analogice presupune operația de conversie numeric-analogică. Semnalul analogic obținut poate fi apoi eventual amplificat și filtrat.

În mod tradițional, un sistem de control ce procesează astfel de semnale analogice este un sistem de control analogic (continuu), implicând amplificatoare operaționale şi alte circuite analogice pentru a procesa semnalele respective. Utilizarea convertoarelor A/N și N/A permite și unui automat programabil să proceseze informația conținută în aceste semnale.

2.3. Interconectarea automatelor programabile

În ultimii ani a crescut importanța comunicațiilor dintre echipamentele industriale şi această tendință va continua în scopul creșterii productivității și eficienței economice. 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 sisteme de producție flexibile și dedicate constituie bazele dezvoltărilor ulterioare în domeniile MIS ("management information system") și CIM ("computer integrated manufacturing").

Toate aspectele controlului și producției depind de sistemele de comunicație, de la legătura serială simplă mașină-mașină până la rețelele locale sau extinse, unde zeci sau sute de mașini inteligente comunică printr-o magistrală comună de date.

Necesitatea de a transfera informații între AP și alte dispozitive într-un proces automatizat a impus prevederea facilității de comunicație în cele mai multe AP. În cazul AP mici, compacte comunicația hardware și software este încorporată în modulul unității centrale a automatului programabil, în timp ce pentru AP mari sunt disponibile o serie de module potrivite pentru diferite aplicații.

Utilizările comune ale porturilor de comunicație ale AP sunt:

- Furnizarea de date curente și de alarme etc. către imprimante sau afișaje.
- Legarea la fișiere, arhive sau la înregistrări (în mod normal la micro/minicalculatoare) pentru a fi utilizate în analiza performanțelor procesului şi de către MIS (prin intermediul aplicațiilor software).
- Transferul valorilor/parametrilor în programele existente ale AP de la terminalele operator sau de la controlerele supervizor.
- Schimbarea programelor rezidente în AP - încărcare/descărcare de la un controler supervizor (AP sau microcomputer).
- Forțarea intrărilor/ieșirilor și a elementelor (variabilelor) de memorie de la un terminal îndepărtat.
- Legarea unui AP într-o ierarhie de control care conține câteva niveluri de AP și calculatoare.

Comunicațiile între AP reprezintă în mod normal o transmisie serială a informațiilor. De exemplu transmiterea datelor la o imprimantă sau la un dispozitiv de afișare pe o legătură serială se face prin transmiterea consecutivă a cuvintelor binare.

Sunt, desigur, mai multe standarde pentru modul cum se transmit datele. Cele mai cunoscute standarde sunt RS232 și RS422/423 (dezvoltat ulterior).

Comunicația RS232C este de fapt standardul pentru distanțe scurte de comunicație cu majoritatea calculatoarelor și perifericelor (precum imprimante și afișaje), ce au conectori și interfața RS232. RS232C ("C" indică varianta curentă) definește relațiile între semnalele și conexiunile fizice și electrice, precum și procedura de utilizat pentru schimbul de informații. Conectorii tip "D" cu 25 și 9 pini sunt universal asociați cu

comunicația RS232 și sunt prevăzuți pe cele mai multe automate programabile, calculatoare și dispozitive periferice.

RS422 poate fi considerată similară cu RS232, cu excepția diferențelor între nivelele de tensiune ale ieșirilor și ratele de transmisie potențiale.

Sunt trei aspecte care trebuie luate în considerare într-o comunicație serială:

- viteza de transmisie, care constă în numărul de biți transmiși într-o secundă prin legătura (cablul) de comunicație și în durata fiecăruia dintre acești biți.
- nivelele logice împreună cu ordinea în care este transmisă informația.
- metoda de sincronizare a datelor pentru a valida datele recepționate.

Specificațiile electrice pentru RS232 precizează că o tensiune între -3 și -25 V reprezintă 1 logic (în mod uzual -12 V), iar o tensiune între 3 și 25 V reprezintă 0 logic (în mod uzual 12 V).

Dispozitivele care transmit și cele care recepționează trebuie să funcționeze la aceeași rată de transfer a datelor și cu același format, în caz contrar datele transmise nu vor fi recepționate corect.

RS232 are o distanță efectivă maximă de 30m la 9600 baud sau 20 m la 19600 baud, datorită capacității cablurilor care afectează timpul de tranziție între limitele de recunoaștere a semnalului. Distanța de operare poate fi extinsă până la 100 m folosind un cablu ecranat și o rată de transfer a datelor redusă.

Adesea este necesară transmisia bidirecțională la distanță mare între diverse dispozitive (echipamente) și calculatoare, aceasta putând fi realizată folosind RS422 sau altă metodă de comunicație serială, bucla de curent 20mA.

RS485 are câteva avantaje în comparație cu RS232:

- permite conectarea a până la 32 de dispozitive,
- distanța este de maxim 1200m,
- la distanțe scurte rata de transfer este de până la 10 Mbps,
- necesită doar o tensiune de 5 V.

RS485 folosește linii de semnal echilibrate, ceea ce înseamnă că pentru fiecare semnal are doi conductori, semnalul din al doilea conductor fiind inversul semnalului din primul conductor. Receptorul răspunde la diferența dintre aceste semnale. Liniile echilibrate au avantajul eliminării zgomotului.

Dacă tensiunea dintre cele două linii de semnal A și B este mai mare de 1,5 V la emițător și 0,2 V la receptor se consideră un nivel logic 0; dacă tensiunea dintre B și A este mai mare de 1,5 V la emițător și 0,2 V la receptor, se consideră nivel logic 1.

Pentru a realiza o comunicație corectă între două dispozitive, trebuie să putem controla transferul datelor, astfel încât un dispozitiv să poată semnaliza celuilalt pornirea și oprirea transmiterii datelor. De exemplu, dacă un calculator transmite date către un AP mai repede decât acesta le poate prelua, trebuie semnalat calculatorului să se oprească sau să aștepte până când AP este gata să recepționeze alte date. Controlul transferului de date sau protocolul de transmisie este realizat fie prin folosirea unor linii de semnal adiționale, fie prin transmiterea unor caractere de control pe canalul de comunicație.

Module de comunicații pentru AP

Când facilitatea de comunicare este prevăzută intern sau printr-un modul adițional, automatele programabile trebuie să aibă opțiunile de comunicație configurate pentru fiecare aplicație. Acestea pot include:

- rata de transfer/viteza de transmisie;
- formatul datelor - start, stop, paritate și număr de biți de date;
- protocolul folosit - cum ar fi RTS/CTS sau XON/XOFF.

Natura și tipul datelor care trebuie transmise de la un AP pot varia de la simpli octeți de stare reprezentând datele dintr-un registru, până la transferul unui program complet.

Un automat programabil trebuie să răspundă la solicitările de a transfera date la ieșire și de a manipula datele sosite de la dispozitive externe. În programul AP aceasta se realizează fie prin simboluri ladder convenționale, fie cu un limbaj de comunicație simbolic, fie prin limbaje de nivel înalt similare BASIC. În prezent comunicația poate fi realizată de un microprocesor dedicat din modulul de comunicaţie sau de unitatea centrală principală, în funcție de sistemul utilizat. Oricare ar fi metoda folosită, presupune specificarea următoarelor puncte:

- condițiile care inițiază transferul datelor;
- tipul, locul și cantitatea datelor care se transferă.

Acestea sunt necesare atât pentru transmisia datelor, cât și pentru recepția lor.

Comunicația între mai multe AP

Când mai multe AP sau echipamente trebuie să transmită sau să recepționeze date la și de la o singură sursă, este posibilă unirea acestor semnale folosind un concentrator. Acesta comută între diferitele canale sub controlul software al controlerului supervizor sau ca răspuns la un semnal de solicitare de la un AP conectat. Totuși, când este necesar să se interconecteze un număr mare de terminale sau echipamente se folosește adesea o rețea de comunicație. O rețea locală (LAN = "local area network") furnizează legătura fizică între toate dispozitivele plus protocolul de transmisie sau administrarea transferului

de date între ele, asigurându-se că fiecare dispozitiv poate comunica cu altul și poate înțelege datele recepționate de la acesta.

Rețelele locale (LAN) reprezintă o inovație relativ recentă în dezvoltarea microcalculatoarelor. Definiția ISO/IEC 2382-25 (1992) pentru LAN este: "LAN constă dintr-o rețea de calculatoare situate într-un spațiu utilizator limitat geografic". O rețea constă din noduri care comunică între ele prin diferite medii. Nodurile pot fi: calculatoare, AP, servere, modem-uri, imprimante, terminale, iar mediul de comunicație constă în: cabluri electrice, fibre optice și fără fir (de exemplu undele radio).

Un utilizator de AP folosește o LAN:

- pentru a conecta echipamente distribuite reducând cantitatea de cabluri folosite;
- pentru a permite AP să schimbe informații cum ar fi: interblocări, informații din proces, diagnoză;
- pentru a colecta rapid date de producție într-un sistem informatic de conducere (MIS) central;
- pentru a distribui instrucțiuni de fabricație de la un sistem central la echipamente - rețete, programe, instrucțiuni;
- pentru a implementa redundanța.

Tipuri de rețele

În principal există două tipuri de tehnologii de transmisie: rețele cu difuzare; rețele punct la punct.

Pentru rețelele cu difuzare sunt posibile topologii: stea, arbore, magistrală/bus, inel.

De exemplu, IEEE 802.3, popular numită Ethernet, este o rețea locală, cu difuzare bazată pe magistrală cu control descentralizat, lucrând la 10 sau 100 Mbps.

Exemple de rețele: serială (RS-232, RS-485), proprietar, Fieldbus, Ethernet - IEEE 802.3 (cele mai răspândite rețele de mare viteză), Manufacturing Automation Protocol (MAP) - IEEE 802.4, IBM Token Ring - IEEE 802.5 rețea cu transfer de jeton în inel de 4 Mbps, Fibre Distributed Data Interface - FDDI, rețea cu transfer de jeton în inel pe fibră optică dual de 100 Mbps. Diferite rețele și caracteristicile lor:

Rețea	Distanță	Viteză	Dispozitive/ Noduri	Tip	Comentarii
GE Fanuc Ethernet	1800 metri cu repetoare	10M	1024	CSMA/ CD	IEEE 802.3
A-B Highway+	3000 m 30 m ramif.	230K	64 maxim	Transfer jeton	Particulară (dedicată)
Modbus Plus	1800 m cu repetoare	1M	32 expandabil la 64	Transfer jeton	Particulară (dedicată)
Siemens SINEC H1	4600 m	10M	1024		Particulară (dedicată)
Mitsubishi MELSECNET	10000 m	1.2 M	64		Particulară (dedicată)
Omron SYSMAC NET	800 m	2	126	Transfer jeton	Particulară (dedicată)

Rețele tip bus

Există diferite tehnologii:

- Bus Sensor/Device. Exemple: CAN Chip, LonWorks Technology; cost foarte scăzut, distanță limitată.
- Bus I/E - exemple: Genius, Profibus DP, WorldFIP; cost scăzut, integrate în module cu număr scăzut de I/E, distanțe mari.
- Inter-control - exemple: ControlNet, WorldFIP; cost moderat, folosite pentru control interblocări.
- Supervisory - exemple: Ethernet, Data Highway Plus (Supervizor la nivel scăzut) și Modbus Plus. Folosite pentru colectarea datelor și încărcarea/descărcarea programelor.

Câteva dintre cele mai populare sisteme bus:

- ***Genius Bus*** - GE Fanuc (1985), I/E și comunicație;
- ***WorldFIP*** - (1988), I/E și mesaje, suportat de: Cegelec, GE Fanuc, Group Schneider, VME etc. întâlnit în Franța;
- ***Profibus-DP*** - Siemens (sfârșitul anilor '80), I/E și mesaje (Europa);
- ***LonWorks*** - Echlon (sfârșitul anilor '90), Device și I/E;
- ***Interbus-S*** - Phoenix Contact (ani '90), I/E și mesaje (Europa)
- ***SDS*** - Honeywell (sfârșitul anilor '90), Sensor/Device (Tehnologie CAN), întâlnit în SUA;
- ***DeviceNet*** - Allen-Bradley (sfârșitul anilor '90), Sensor/Device (Tehnologie CAN), întâlnit în SUA.

Rețele particulare

În industrie mulți producători de echipamente și-au implementat rețele particulare, dedicate, utilizate pentru comunicații între controlerele proprii, legând între ele microcalculatoare, automate programabile, roboți, mașini unelte cu CN etc.

Un AP poate fi în mod normal echipat cu un modul de interfață pentru cuplarea la o rețea particulară. În multe privințe acesta este similar modulului de comunicație serială, furnizând tot ce este necesar în privința conversiei de semnal și protocolului de comunicație. Deoarece pot fi mai mult de 2 AP conectate la rețea (până la 200 de noduri în multe sisteme), trebuie făcută o identificare unică a fiecărui nod. Pentru a specifica sursa și destinația mesajelor (datelor) plasate pe rețea se utilizează un număr sau o adresă de identificare a dispozitivului (AP). Adresa fiecărui AP poate fi stabilită fie prin switch-uri de pe modulul de interfață, fie prin program. În multe cazuri adresa selectează și intervalul de timp în care modulul va trebui să "vorbească" pe rețea - deoarece

comunicația se face pe un cablu comun, accesul la rețea trebuie să fie controlat pentru a evita coliziunile care pot apare dacă orice nod ar putea accesa rețeaua în orice moment.

Adresele (identificatorii) de rețea pot de asemenea determina prioritatea unui nod al rețelei. În general, cu cât numărul de identificare a unui nod este mai mic, cu atât este mai mare prioritatea sa. Această facilitate este utilă acolo unde dispozitive cu roluri diferite sunt conectate la rețea.

Adresele de identificare sunt utilizate pentru a călăuzi mesajele (datele) de la orice nod către oricare alt nod, prin adăugarea adresei la mesajul de date.

2.4. Conducerea sistemelor de către automate programabile master/slave

În continuare ne propunem să exemplificăm conducerea unui sistem de flexibil de fabricație prin intermediul automatelor programabile ce lucrează în relația master - slave. Sistemul flexibil de fabricație FMS-200 (Fig. 2.1) 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 industria automatizată de astăzi.

Sistemul flexibil de fabricație a fost special conceput pentru ca utilizatorii să-și dezvolte capacități profesionale asociate cu sisteme pneumatice, electropneumatice, electrice, robotice, de manipulare și transfer, tehnologii de programare, comunicații industriale, conducere, controlul calității, diagnoză și remedierea erorilor.

Sistemul utilizează o gamă largă de senzori:

- senzori magnetici
- senzori inductivi
- senzori fotoelectrici
- senzori fotocromatici
- senzori capacitivi, etc.

Sistemul constituie un sistem flexibil de fabricație care realizează procesul de asamblare a unui mecanism de rotație (Fig. 2.2).



Fig. 2.1. Sistemul flexibil de fabricație FMS-200

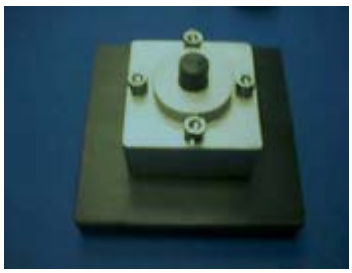


Fig. 2.2. Mecanismul de rotație



Fig. 2.3. Componentele mecanismului de rotație

Piesele componente (Fig. 2.3) sunt transportate între stații de un sistem de transfer automat de 4 metri, dotat cu opritoare și lifturi pentru poziționarea paletei la fiecare stație. Piesa de bază nu se poate mișca pe paletă datorită unor știfturi, iar paletele sunt identificate cu un sistem de codare magnetic.

Stațiile pot fi independente de sistemul de transfer sau integrate, plasate de jur-împrejurul său. Stațiile pot fi extrase din sistem și reasamblate în alte configurații, deplasate pentru extinderea ansamblului sau pentru a lucra independent.

Fiecare stație are un panou electric, pe care sunt plasate cablurile sistemului electric și automatele programabile. Construcția în formă de plasă a panoului permite adăugarea altor componente. Panoul electric al fiecărei stații poate fi extras și utilizat independent pentru studiu. Această flexibilitate în construcție permite utilizatorilor să dezvolte programe AP ce pot fi integrate în stații. Panoul de comandă al fiecărei stații conține butoane de start, stop și selecție ciclu. Sistemul fiind modular poate fi extins să încorporeze orice număr de stații viitoare.

Sistemul de transfer

Linia flexibilă de fabricație FMS-200 poate fi compusă în 2 forme pentru a transfera produsul asamblat între diferitele stații:

- folosind o bandă de 4 metri bidirecțională (transfer liniar), ce permite atașarea a până la 8 stații.
- realizând o bandă modulară (transfer modular), astfel fiecare stație conține și o porțiune de transfer. Această variantă permite utilizatorului să creeze o

configurație completă, cu cele 10 stații disponibile și cu posibilitatea de a mai adăuga la nevoie.

Sistemul de transfer modular este ușor de implementat, fiecare stație având incluse toate componentele necesare realizării operației de transfer între stații. În urma setării unui AP principal între stații, această asamblare permite extinderea și reorganizarea sistemului în timp, putând fi conectate un număr mare de stații în diferite forme. Pentru necesitățile acestei aplicații, am avut la dispoziție un sistem flexibil de asamblare FMS-200 cu transfer liniar între stații.

Transfer liniar

Sistemul de transfer liniar deplasează produsul asamblat între diferitele stații, permite integrarea a maximum 8 stații, ușor de conectat la porturile plasate de o parte și de alta a liniei (Fig. 2.4). Acest sistem de transfer este conceput să permită extensia și modificarea ansamblului cu ușurință. Conține următoarele elemente:

- cabinet/dulap de control și comandă; cablurile de legătură;
- unitate de tratare a aerului;
- buton de urgență;
- opritoare cu reținere și lifturi pentru palete;
- palete de transport piese; sistem de identificare a paletei.

Toate stațiile FMS SMC-200 disponibile sunt dotate cu automate Mitsubishi FX2N-32MR pentru conducerea procesului, unul din liderii pe piața automatelor.

În ciuda dimensiunilor reduse, este un dispozitiv foarte performant, având multe dintre caracteristicile care sunt de obicei găsite la controlerele de dimensiuni mari, cum ar fi aritmetica în virgulă mobilă, capacitatea de a procesa cuvinte de date (DW) pe 32 de biți și o gamă largă de opțiuni de comunicații ce pot fi configurate integral.

Având o viteză de procesare de 0,08μs per instrucțiune logică, FX2N era unul din cele mai rapide automate la timpul său. Capacitatea de comunicație, o gamă largă de module de extensie și pentru funcții speciale configurabile, face că FX2N să fie un automat extrem de eficient și cea mai buna alegere pentru un sistem de mici dimensiuni.



Fig. 2.4. Sistemul de transfer liniar

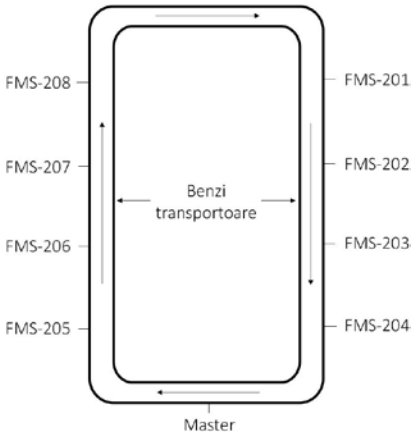


Fig. 2.5. Dispunerea stațiilor in cadrul FMS-200

În Figura 2.5 este prezentată dispunerea stațiilor în cadrul sistemului flexibil de fabricație FMS-200. Aplicația dezvoltată și prezentată aici folosește stația master (stația de transport), FMS-201 și FMS-208. În continuare sunt prezentate aceste stații.

Furnizarea piesei ce constituie corpul de bază

La prima stație (Fig. 2.6), piesa care acționează ca bază pentru produsul asamblat este transferată din stivă (magazinul gravitațional) pe paleta din sistemul de transfer.

Stația este comandată de automatul programabil FX2N-32MR, alimentat de o sursă Siemens LOGO Power de 24V/1.3A (Fig. 2.7).



Fig. 2.6. FMS-201 - Stația de transfer a corpului de bază



Fig. 2.7. AP Mitsubishi FX2N si sursa sa de alimentare electrică



Fig. 2.8. Stația de depozitare

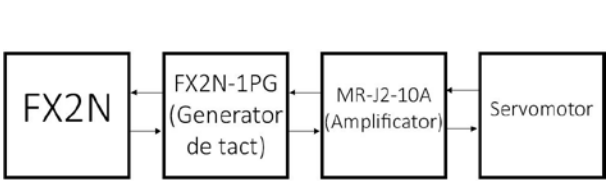




Fig. 2.9. Conectarea AP Mitsubishi FX2N - servomotoare

Stația FMS-208 are rolul de a depozita piesele finite într-o zonă de stocare care are spațiu pentru 25 de piese (5 coloane cu 5 rânduri). Aceasta dispune de un sistem de poziționare cu trei axe (Fig. 2.8). Axele X și Y sunt coordonate de servomotoare liniare, iar axa Z are un cilindru pneumatic montat vertical cu efector de tip vacuum cu patru ventuze, la fel ca la FMS-201.

Servomotoarele fiecărei axe sunt conduse de drivere (MR-J2-10A), care sunt conectate la module generatoare de tact (FX2N-1PG) ce comunică în mod direct cu automatul programabil FX2N-32MR (Fig. 2.9). Sursa de alimentare este tot Siemens LOGO Power 24V/1.3A.

Stația master dispune de două benzi de transport comandate individual. Automatul (FX2N-64MR) și modulele sale sunt închise într-un cabinet metalic.

În dreptul fiecărei stații se găsește un opritor pentru palete acționat de un cilindru pneumatic montat vertical (Fig. 2.10). Acest opritor are în dreptul lui un senzor de prezență piesă de tip switch, iar pe opritor sunt montați trei senzori inductivi ce oferă posibilitatea citirii unui cod binar de pe palet (Fig. 2.10). La capetele benzilor de transfer se întâlnesc senzori capacitivi pentru detecția paleților, semnalizând nevoia de a schimba banda prin intermediul unui piston montat orizontal comandat de un distribuitor bistabil.



Fig. 2.10. Opritor. Senzori inductivi ce dau codul paletei

Protocolul de funcționare

În această aplicație sunt folosite stațiile FMS-201, FMS-208 (AP lor fiind AP slave) și stația master (de transport; cu AP master). Procesul pornește la apăsarea butonului de inițializare de la FMS-201. Această stație (FMS 201) aprovizionează sistemul cu piesa de bază. Pistonul unui cilindru pneumatic (F) împinge piesa scoțând-o din magazinul de depozitare. Pistonul unui alt cilindru pneumatic (E) împinge piesa către punctul de transfer, de unde manipulatorul pe 2 axe prin intermediul gripper-ului cu vacuum va transfera piesa pe un palet aflat pe sistemul de transfer liniar (bandă transportoare) în dreptul stației respective.

Tot procesul se folosește de doi paleți care se introduc pe rând. La întâlnirea paletului, stația FMS-201 va încărca piesa pe el, îi va da drumul și va aștepta următorul palet. Stația FMS-208 va lua piesa și în funcție de codul paletului, o va pune într-o anumită zonă de stocare. Când ambele stații și-au terminat ciclul, stația master va semnaliza începerea următorului ciclu. În total se vor depozita 6 piese, după care FMS-201 va semnaliza prin aprinderea lămpii FM faptul că a încheiat acest ciclu.

Figura 2.11 arată modul de depozitare al pieselor. Cele de pe paletul cu codul binar 101 sunt depozitate pe coloana din stânga, iar cele de pe paletul cu codul 111, pe coloana din dreapta.

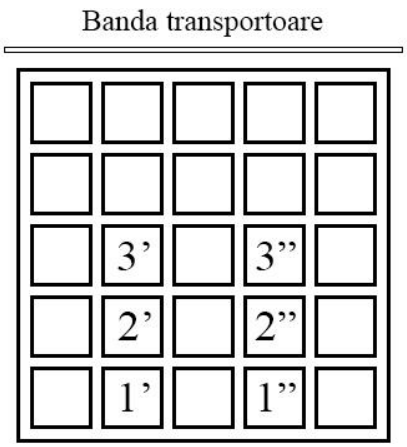


Fig. 2.11. Mod depozitare piese

Intrări	AP	Ieșiri	AP
m0	X013	A+	Y002
m1	X014	B+	Y003
n0	X015	C+	Y004
n1	X016	D+	Y005
h0	X044	E+	Y006
h1	X046	F+	Y007
h2	X047	G+	Y010
ppH	X045	H+	Y011
ppA	X021..X023	M+	Y016
dp1	X011	M-	Y017
dp2	X012	N+	Y020
		N-	Y021
		M1	Y022
		M2	Y023

Intrări	AP	Ieșiri	AP
Start	X003	A+	Y001
a0	X004	A-	Y002
a1	X005	B+	Y003
b0	X006	V	Y004
b1	X007	Axa X avans	Y005
v	X010	E+	Y007
f0	X013	F+	Y010
f1	X014	FM	Y013

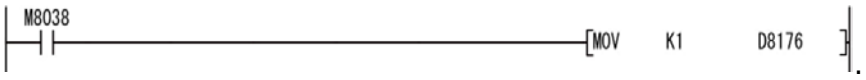
Intrări	AP	Ieșiri	AP
Start	X000	Lampa roșie	Y000
a0	X004	A+	Y001
a1	X005	V+	Y002
v	X006	Axa X retragere	Y004
		Axa X avans	Y005
		Servo X activ	Y007
		Axa Y retragere	Y010
		Axa Y avans	Y011
		Servo Y activ	Y013

Fig. 2.12. Alocările pentru stația master, stația FMS-201, stația FMS-208.

Alocările pentru stații sunt prezentate în Fig. 2.12. Unele relee auxiliare (M) sunt utilizate ca variabile pentru comunicația dintre stații. Funcțiile pentru care sunt utilizate aceste relee sunt următoarele:

Releu	Descriere
M1001	Start ciclu pentru stațiile FMS-201 și FMS-208
M1002	Prezență palet FMS-201
M1003	Prezență palet FMS-208
M1004..M1006	Cod binar al paletului prezent la stația FMS-208
M1064	Start proces
M1065	Indică faptul că FMS-201 este în lucru
M1066	Final ciclu FMS-201
M1067	Eroare, FMS-201 are magazia goală
M1448	Indică faptul că FMS-208 este în lucru
M1449	Final ciclu FMS-208
M1450	Eroare, FMS-208 are zona de depozitare plină

Pentru activarea comunicației, fiecare stație realizează un proces de autentificare ce constă în încărcarea numărului stației (a nodului la care este conectată), pe condiția M8038, într-un registru special (D8176). În continuare este exemplificat acest lucru pentru stația FMS-201:



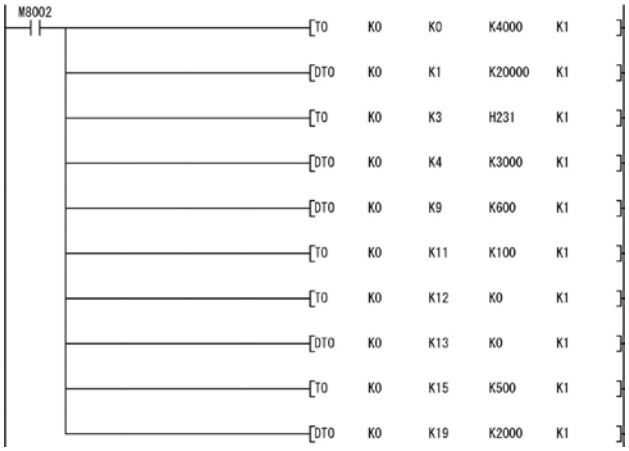


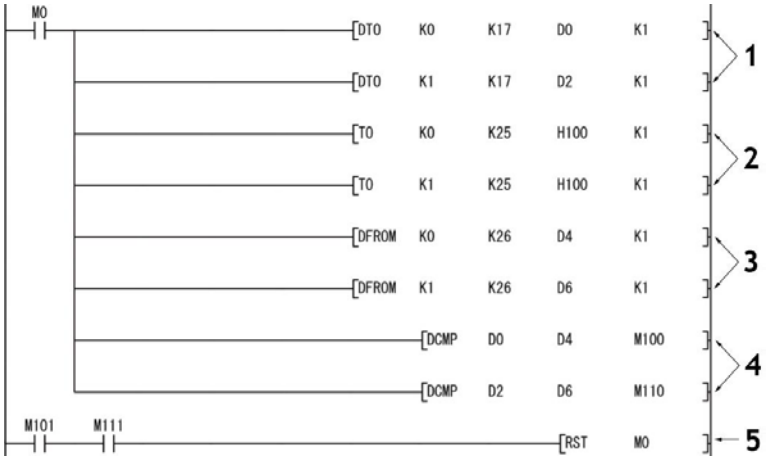
Fig. 2.13. Secvența de inițializare a generatorului pentru axa X

Servomotoarele sunt comandate modificând parametrii generatoarelor de tact FX2N-1PG. Lista extinsă a parametrilor poate fi consultată în documentația modulului [***15]. Figura 2.13 prezintă secvența de inițializare a generatorului pentru axa X.

Aceasta este o scurtă listă a parametrilor din memoria-tampon a modulului:

Parametru	Descriere
#0	Numărul de pulsuri necesare pentru realizarea unei rotații a servomotorului.
#4	Viteza maximă
#9	Viteza de deplasare către origine
#13	Poziția originii
#15	Timpul de accelerare / decelerare
#17	Setarea poziției de deplasare
#19	Viteza de deplasare
#26	Poziția curentă

Pentru a nu introduce un număr foarte mare de instrucțiuni în ladder, am definit funcții legate la anumite relee auxiliare (M) ce pot fi apelate din interiorul stărilor STL. Una dintre acestea este cea de poziționare a axelor, apelată prin activarea releului M0.



1. Se setează parametrii de poziționare (#17) pentru ambele axe. Poziția este încărcată, anterior activării releului M0, în regiștrii D0 pentru axa X și D1 pentru axa Y.

2. Se setează bitul (din cadrul parametrului #25) pentru declanșarea funcției de poziționare.

3. Se citește poziția curentă.

4. Se compară poziția curentă cu cea dorită.

5. Când se ajunge pe poziția dorită, se dezactivează releul M0.

Făcând aceste precizări, putem realiza diagramele Grafcet pentru fiecare din cele 2 subsisteme în parte (AP lui FMS-201 și respectiv AP lui FMS-208), ce sunt pe poziția de slave, respectiv pentru sistemul master. După realizarea diagramelor Grafcet aferente fiecărui subsistem (AP) în parte, putem scrie ecuațiile de stare corespunzătoare. Diagramele ladder ce rezultă în urma implementării ecuațiilor de stare, vor fi editate folosind mediul de dezvoltare specific AP Mitsubishi FX2N.

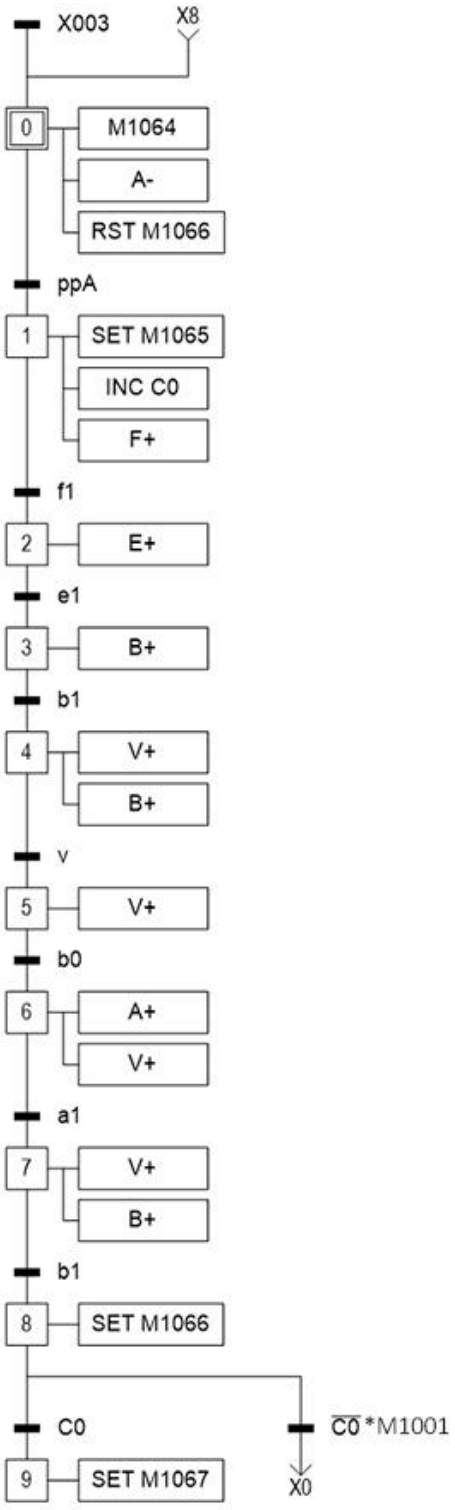
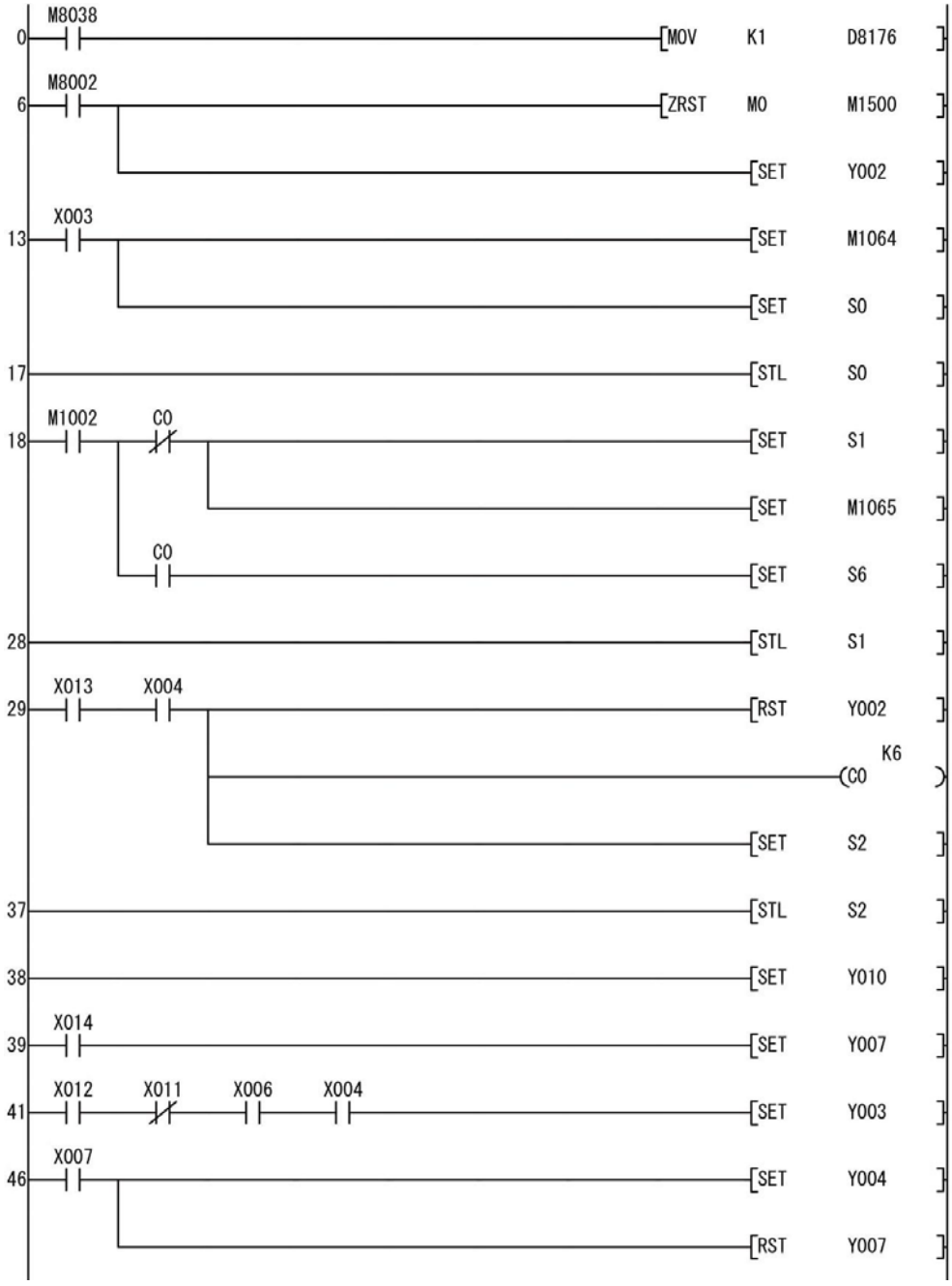


Fig. 2.14. Diagrama Grafcet pentru subsistemul 1 (FMS-201)

Dacă există palet în dreptul stației, acesta își începe ciclul de plasare a piesei pe palet, lucru semnalizat prin M1065. Finalul ciclului este semnalizat prin M1066. Piesele scoase din magazia gravitațională sunt contorizate în numărătorul C0. Dacă toate piesele au fost utilizate, se setează variabila M1067. Reluarea unui nou ciclu se face doar dacă se semnalizează acest lucru de către stația master prin variabila M1001.

Diagrama ladder pentru FMS-201 este:

AP1



.....

Diagrama Grafcet pentru stația FMS-208 este prezentată în Fig. 2.15.

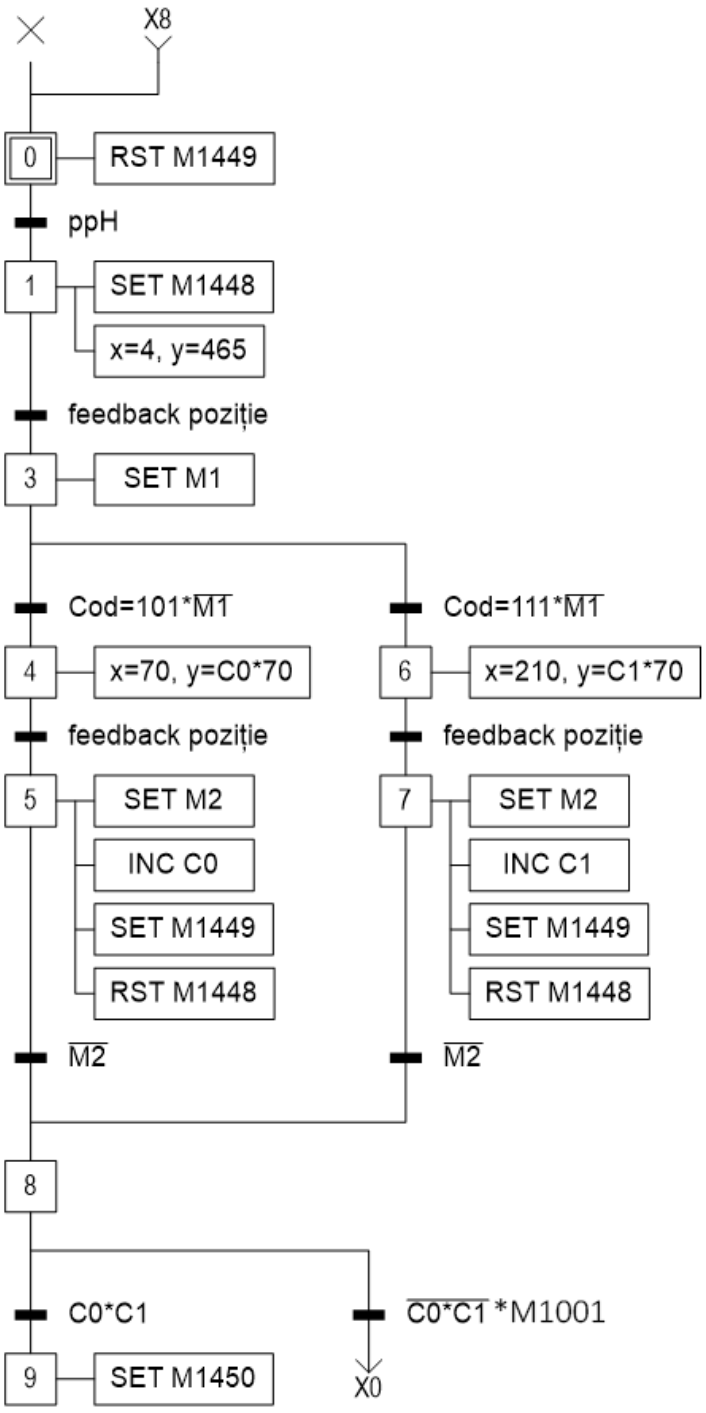
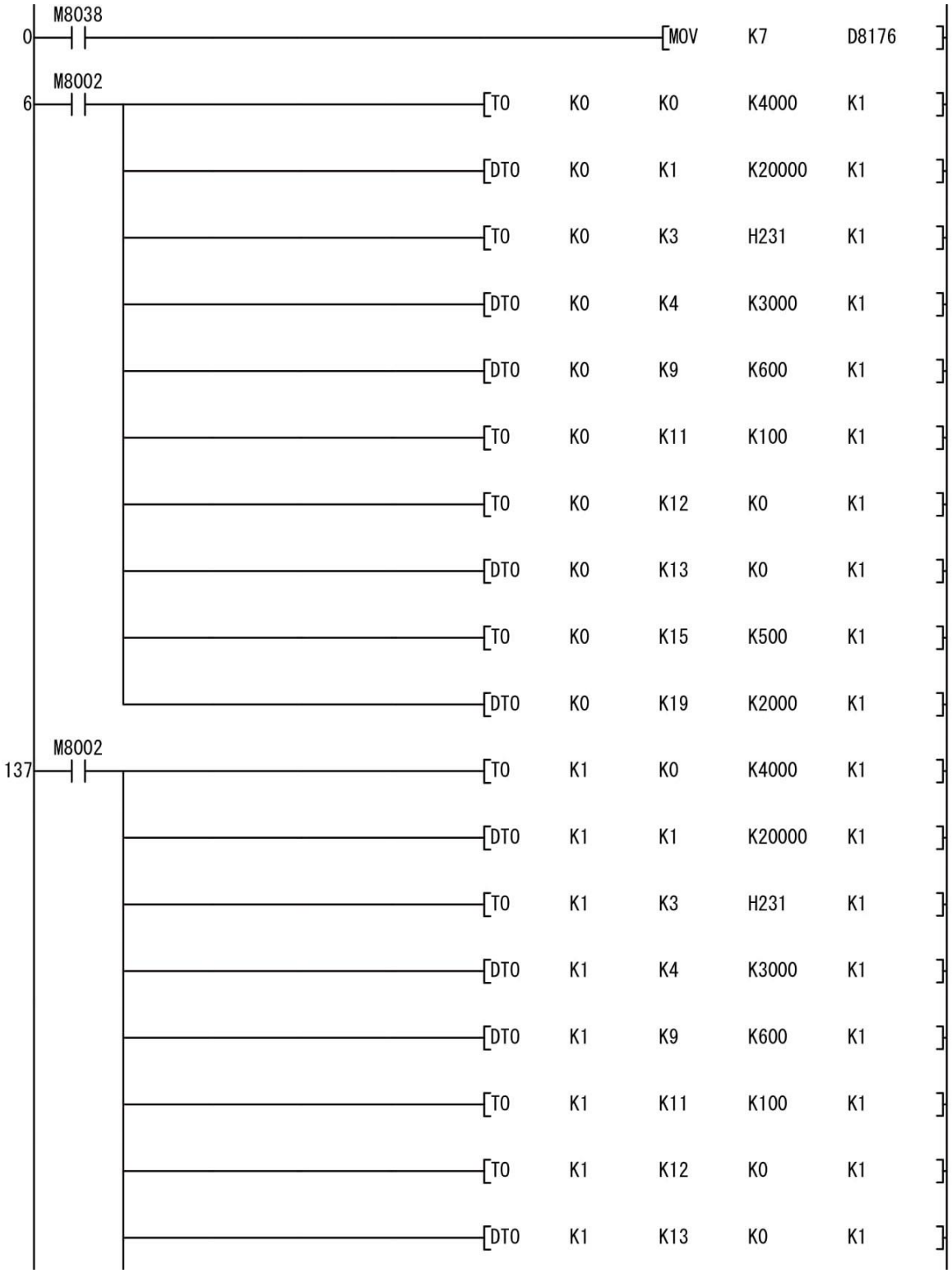
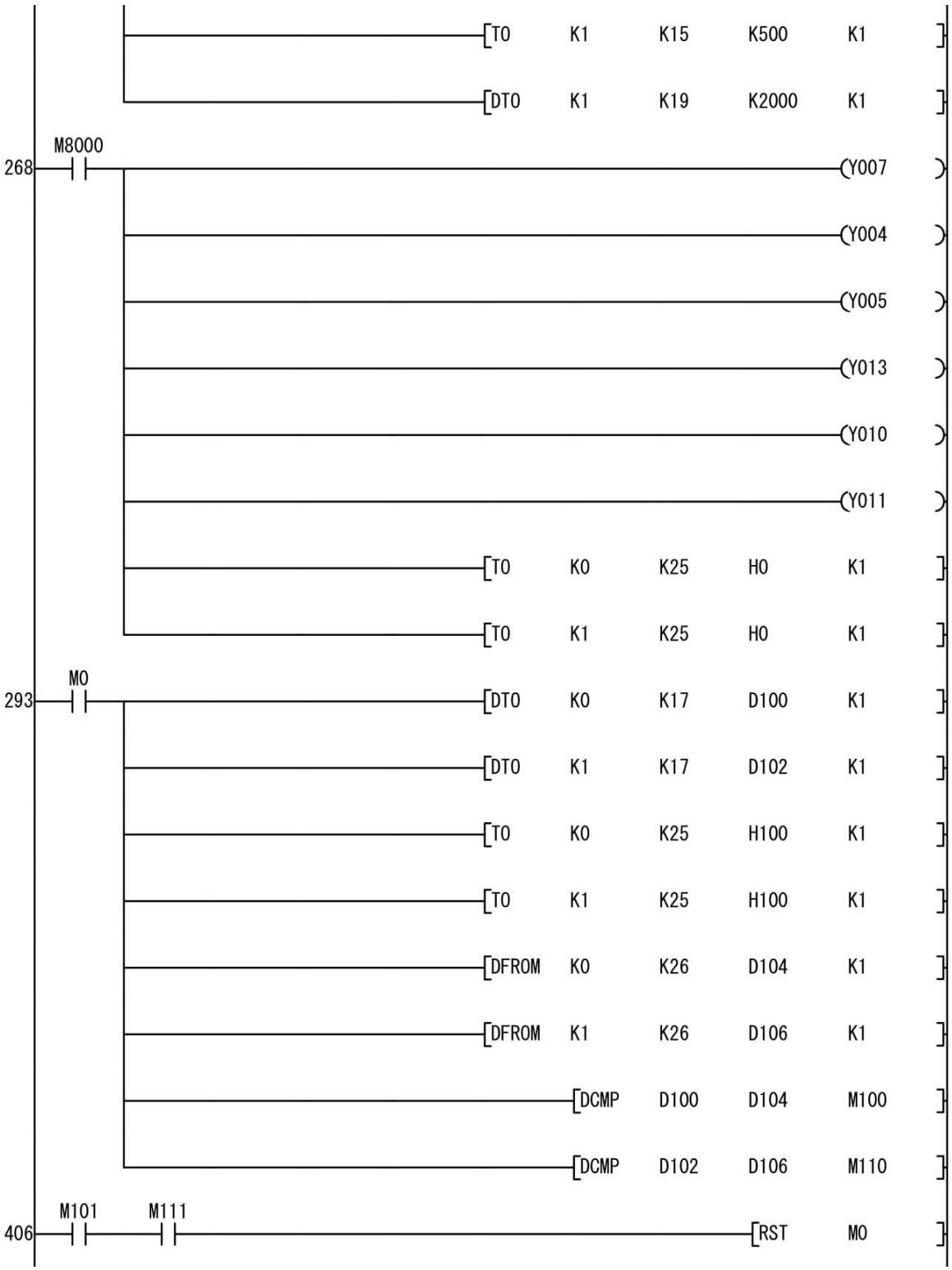


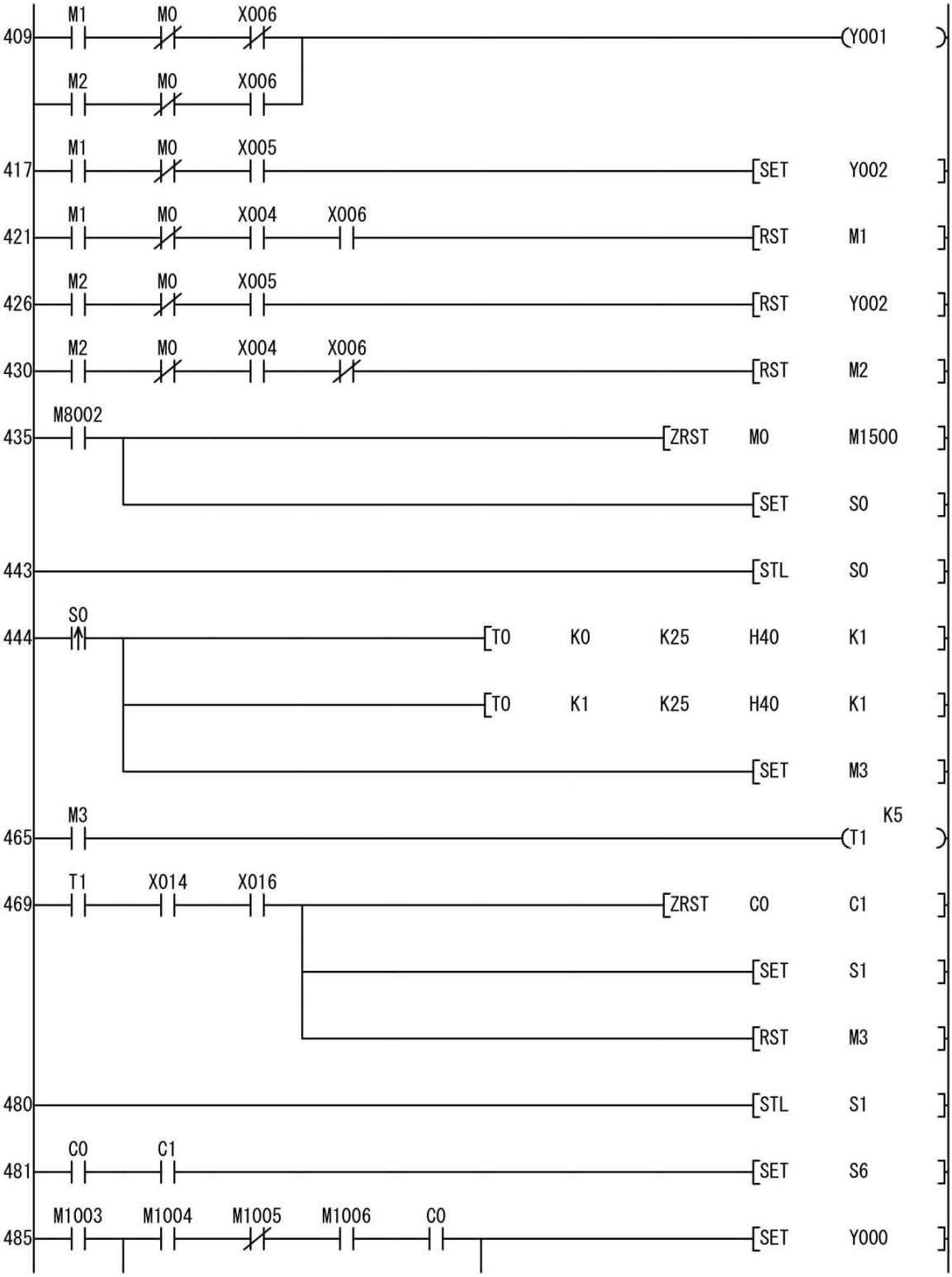
Fig. 2.15. Diagrama Grafcet pentru subsistemul 2 (FMS-208)

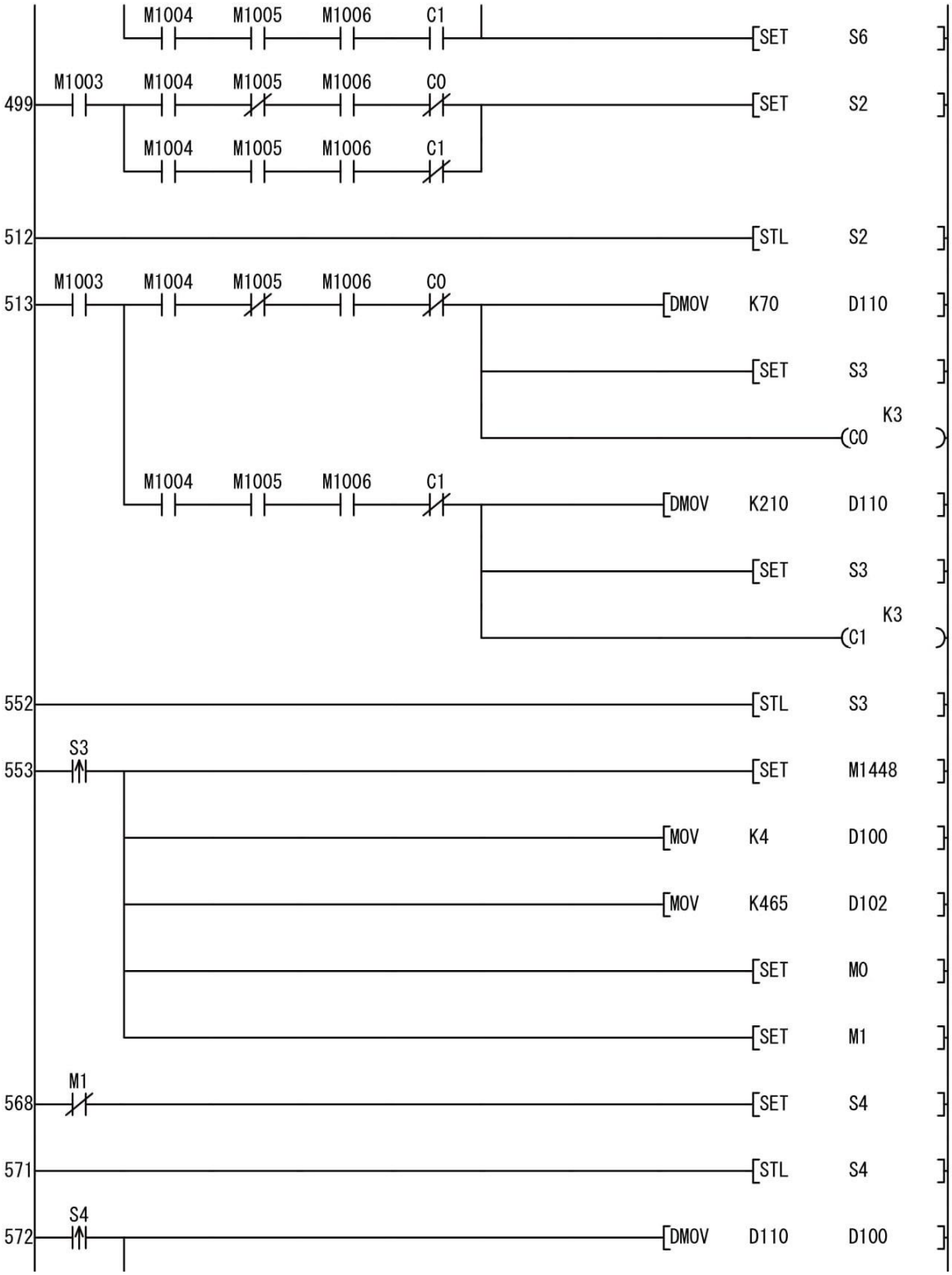
Ciclul de lucru începe atunci când un palet este prezent în dreptul stației. La fel ca FMS-201, stația FMS-208 semnalizează masterului faptul că este în lucru, finalul ciclului și eroarea (inexistența spațiului de depozitare) prin releele M1448, M1449 respectiv M1450. Eroarea se setează atunci când ambele coloane pe care se depozitează piesele sunt pline. Reluarea unui nou ciclu se face pe semnalul M1001 primit de la stația master.

Diagrama Ladder pentru stația FMS-208 este:




TO K1 K15 K500 K1
DTO K1 K19 K2000 K1
M8000
268
Y007
Y004
Y005
Y013
Y010
Y011
TO K0 K25 H0 K1
TO K1 K25 H0 K1
M0
293
DTO K0 K17 D100 K1
DTO K1 K17 D102 K1
TO K0 K25 H100 K1
TO K1 K25 H100 K1
DFROM K0 K26 D104 K1
DFROM K1 K26 D106 K1
DCMP D100 D104 M100
DCMP D102 D106 M110
M101
M111
406
RST M0


409 M1 M0 X006 Y001
M2 M0 X006
417 M1 M0 X005 SET Y002
421 M1 M0 X004 X006 RST M1
426 M2 M0 X005 RST Y002
430 M2 M0 X004 X006 RST M2
435 M8002 ZRST M0 M1500
SET S0
443 STL S0
444 S0 TO K0 K25 H40 K1
TO K1 K25 H40 K1
SET M3
465 M3 T1 K5
469 T1 X014 X016 ZRST C0 C1
SET S1
RST M3
480 STL S1
481 C0 C1 SET S6
485 M1003 M1004 M1005 M1006 C0 SET Y000


M1004 M1005 M1006 C1 SET S6
499 M1003 M1004 M1005 M1006 C0 SET S2
M1004 M1005 M1006 C1
512 STL S2
513 M1003 M1004 M1005 M1006 C0 DMOV K70 D110
SET S3
K3 C0
M1004 M1005 M1006 C1 DMOV K210 D110
SET S3
K3 C1
552 STL S3
553 S3 SET M1448
MOV K4 D100
MOV K465 D102
SET M0
SET M1
568 M1 SET S4
571 STL S4
572 S4 DMOV D110 D100

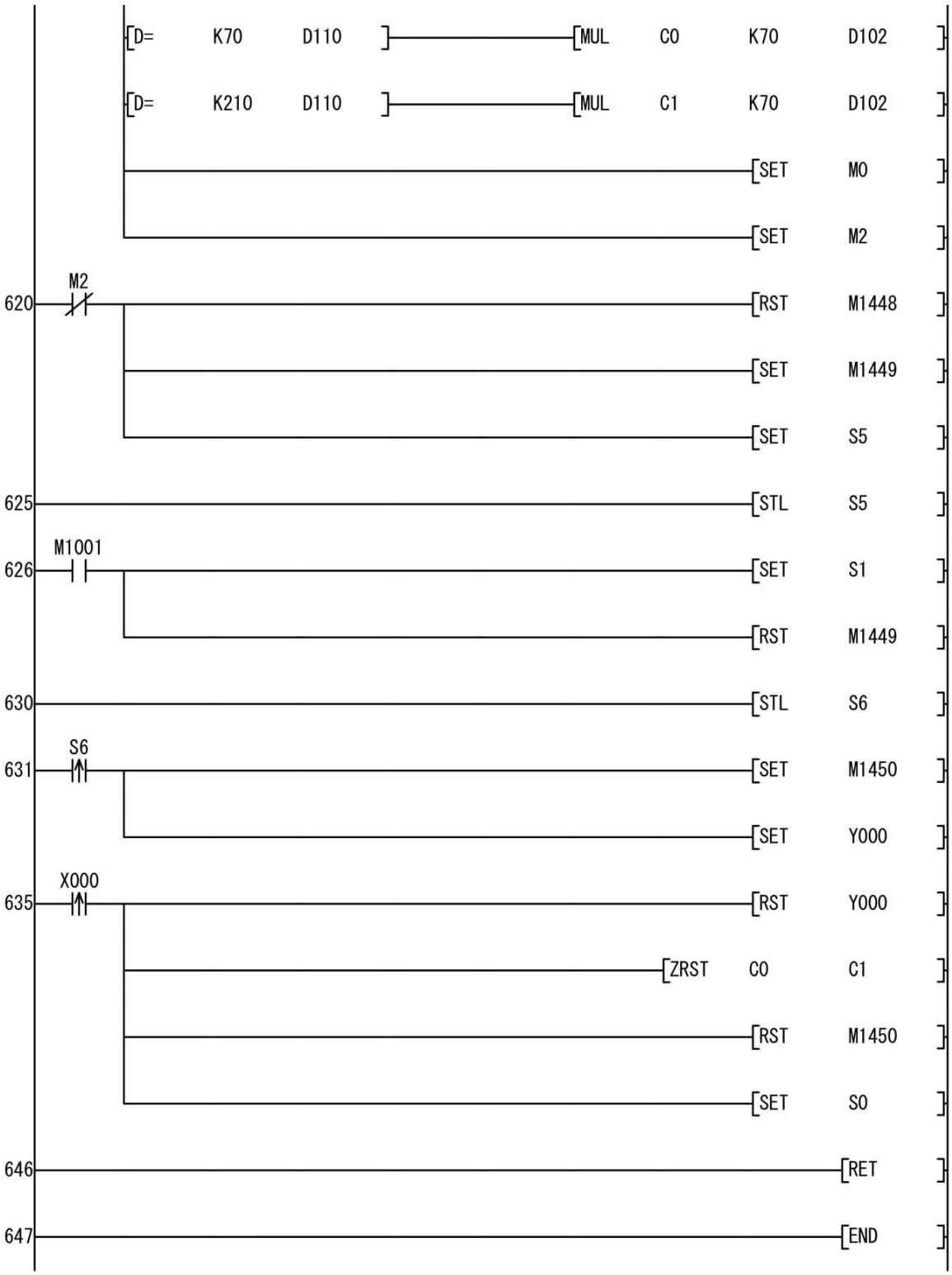


Diagrama Grafcet pentru stația Master este prezentată în Fig. 2.16.

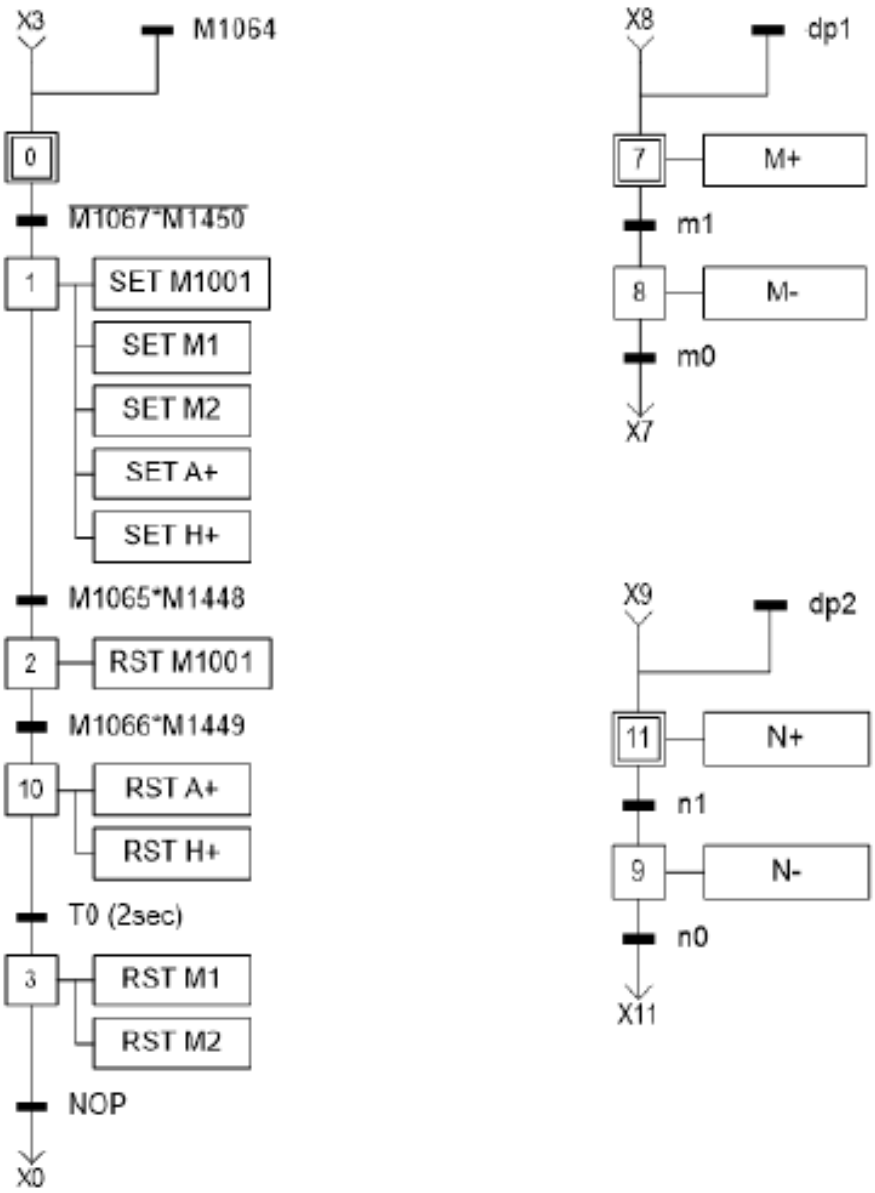


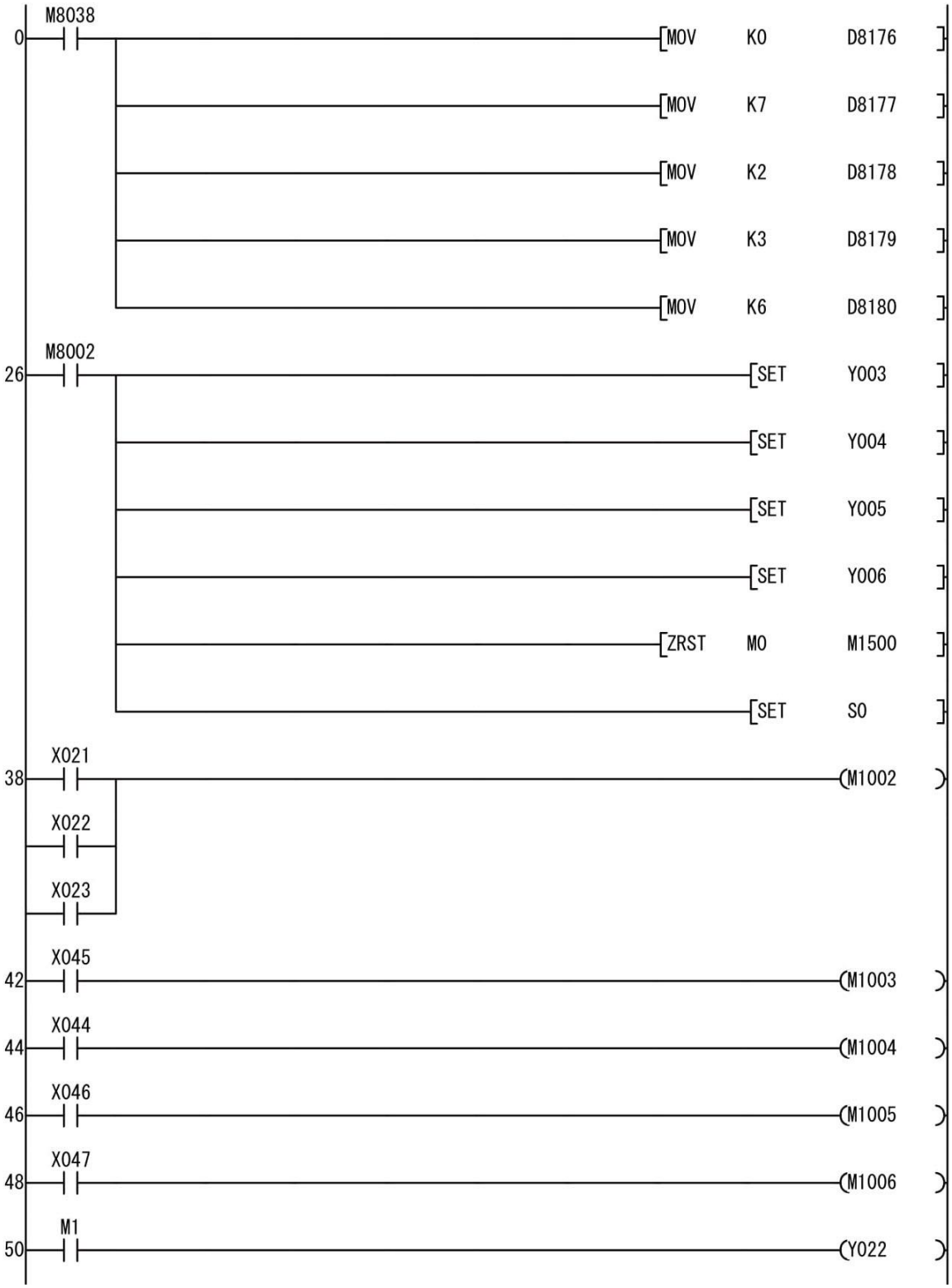
Fig. 2.16. Diagrama Grafcet pentru sistemul Master

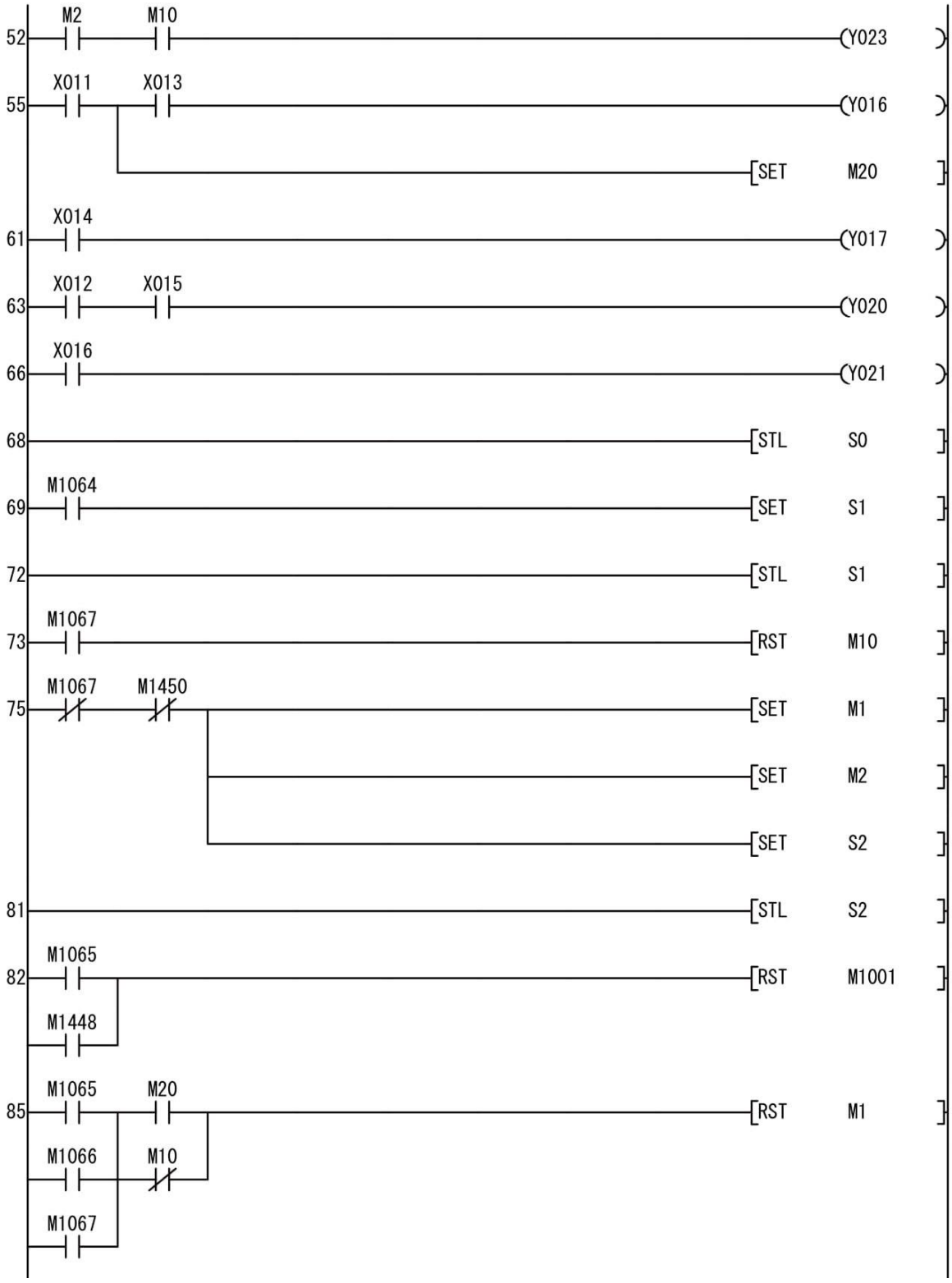
Procesul pornește la apăsarea butonului de inițializare de la stația FMS-201, semnal transmis pe releul M1064. Se semnalizează începerea unui ciclu prin variabila M1001; se pornesc motoarele celor două benzi de transport și se ridică opritoarele de paleți din dreptul stațiilor FMS-201 și FMS-208.

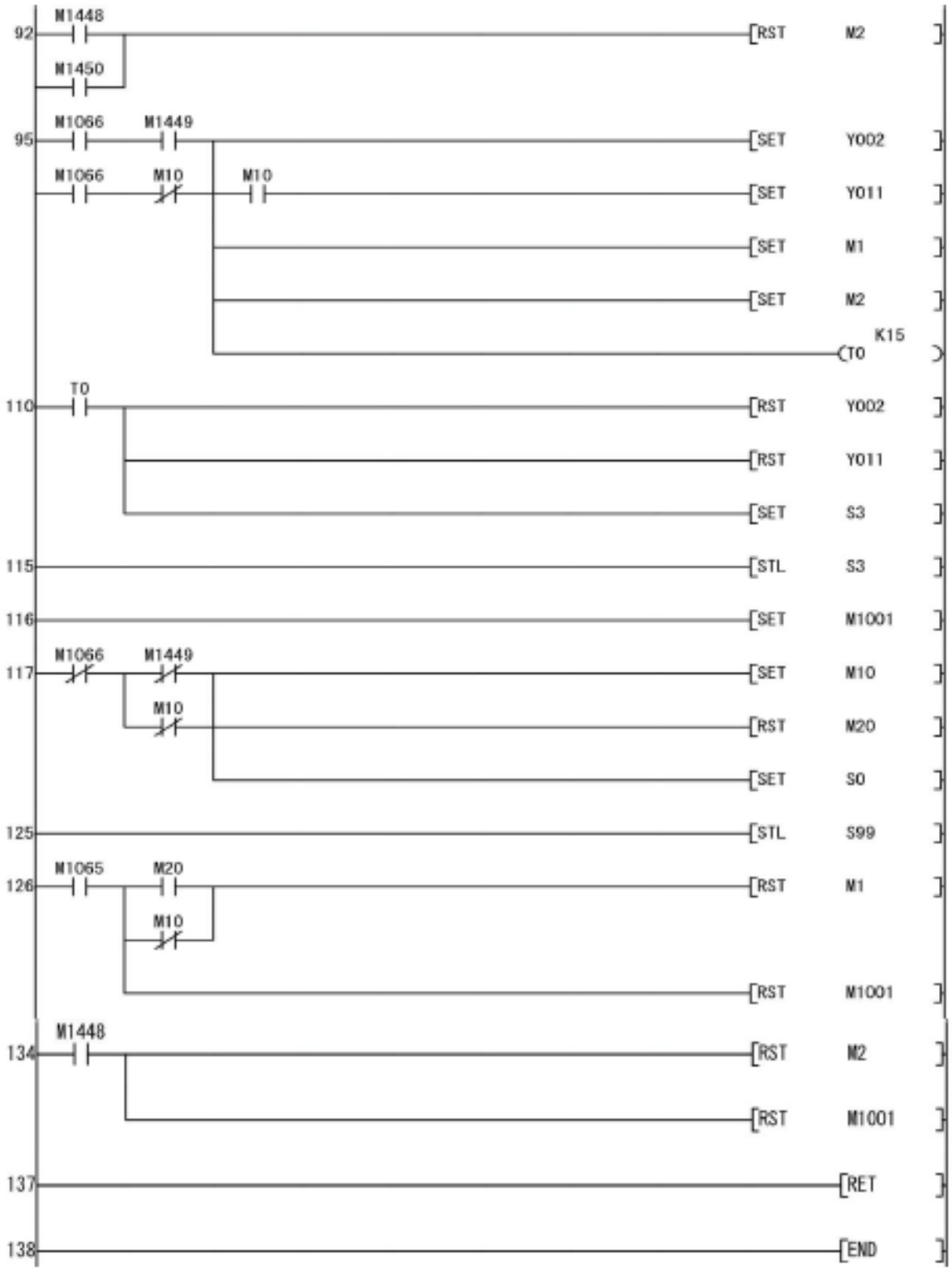
Când ambele stații au intrat în lucru (M1065*M1448), se resetează semnalul de start ciclu și se coboară opritoarele timp de 2 secunde.

În paralel mai rulează două secvențe (Grafcet-urile din dreapta), care au rolul de a face transferul paleților de pe o bandă transportoare pe alta. Aceste secvențe sunt declanșate de senzorii capacitivi de la capetele benzilor.

Diagrama Ladder pentru stația Master este:




52 M2 M10 (Y023)
55 X011 X013 (Y016)
[SET M20]
61 X014 (Y017)
63 X012 X015 (Y020)
66 X016 (Y021)
68 [STL S0]
69 M1064 [SET S1]
72 [STL S1]
73 M1067 [RST M10]
75 M1067 M1450 [SET M1]
[SET M2]
[SET S2]
81 [STL S2]
82 M1065 [RST M1001]
M1448
85 M1065 M20 [RST M1]
M1066 M10
M1067



Aceste diagrame ladder au fost implementate pe fiecare din cele 3 automate programabile, ce lucrează în rețea, într-o structură Master-Slave, și au fost testate.

3. Concluzii

În ultimii ani, și în cadrul sistemelor de control se pune din ce în ce mai mult accent pe lucrul în rețea, pe comunicarea sistemelor de control (automatele programabile) între ele sau cu alte sisteme (de exemplu calculatoare).

Această prezentare scoate în evidență utilizarea automatelor programabile într-o rețea de tip Master-Slave, propunând o soluție de conducere a unor sisteme ce se pot regăsi în variante constituite din componente similare, în industria românească. Abordarea propusă permite conducerea sistemelor pe baza unor automate programabile ce lucrează cooperativ. Mediul de dezvoltare al programelor AP realizate se bazează pe un calculator. Programul AP conține logica de comandă pentru sistemul propus.

Exemplul prezentat scoate în evidență necesitatea utilizării sistemelor de conducere conectate în rețea, fapt ce poate determina creșterea productivității muncii, flexibilizarea producției, creșterea eficienței productive și a profitului companiei respective.

Bibliografie

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

[Web99] Webb J.W., Reis A., "*Programmable Logic Controllers – Principles and Applications*", Prentice Hall, 1999.

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

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

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

[***99] ***, Mitsubishi Programming Manual, The FX Series of Programmable Controller (FX0, FX0S, FX0N, FX, FX2C, FX2N, FX2NC), 1999.

[***15] ***, FX2N-1PG Pulse Generator Unit – User's manual", Mitsubishi Electric, 2015.