



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” BUCUREȘTI
Școala doctorală Inginerie Mecanică și Mecatronică

Nr. Decizie 672 din 23.04.2021

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT
GRUPURI DE GENERARE A ENERGIEI HIDRAULICE ÎN
CONCEPȚIE MECATRONICĂ

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof. dr. ing. Grigore Octavian DONȚU	de la	Universitatea Politehnică București
Conducător de doctorat	Prof. dr. ing. Mihai AVRAM	de la	Universitatea Politehnică București
Referent	Prof. dr. ing. Vistrian MĂȚIEȘ	de la	Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Referent	CS I. dr. ing. Cătălin DUMITRESCU	de la	Institutul de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică INOE 2000-IHP București
Referent	Prof. dr. ing. Mariana-Florentina ȘTEFĂNESCU	de la	Universitatea Politehnică București

Autor: Ing. Valerian-Emanuel Sârbu
Conducător de doctorat: Prof. Dr. Ing. Mihai Avram

BUCUREȘTI
2021

Cuprins

I.	Introducere	1
II.	Stadiul actual de dezvoltare al grupurilor de generare a energiei hidraulice	2
II.1	Tendințe și perspective în dezvoltarea grupurilor de generare a energiei hidraulice .	2
II.2	Obiectivele tezei de doctorat	3
II.3	Grupuri de generare a energiei hidraulice inteligente	4
II.4	Grupuri de generare a energiei hidraulice existente ce urmează a fi transformate în grupuri inteligente	5
II.4.1	Grup de generare a energiei hidraulice cu puterea de 1.5kW	5
II.4.2	Grup de generare a energiei hidraulice cu puterea de 4 kW	6
II.4.3	Grup de generare a energiei hidraulice cu puterea de 15kW	8
III.	Stabilirea modelelor constructive de grupuri inteligente de generare a energiei hidraulice	9
III.1	Grup inteligent de generare a energiei hidraulice cu inverter proiectat – varianta 1 .	9
III.1.1	Proiectarea inverterului	9
III.1.2	Placa de achiziție și control realizată	11
III.1.3	Principiul de funcționare	12
III.2	Grup inteligent de generare a energiei hidraulice cu inverter tipizat – varianta 2 ...	13
III.2.1	Blocul electronic de achiziție și comandă	14
III.2.2	Calculatorul de proces	15
III.2.3	Exemple de sisteme hidraulice în care a fost integrat grupul de generare a energiei hidraulice conceput și realizat	17
III.3	Grup inteligent de generare a energiei hidraulice cu puterea de 15kW.....	21
IV.	Cercetări teoretice ale grupurilor inteligente de generare a energiei	24
IV.1.1	Dimensionarea pompei.....	24
IV.1.2	Elaborarea modelului matematic.....	30
IV.1.3	Simulare numerică a funcționării grupului.....	30
V.	Implementarea modelelor dezvoltate în sisteme de acționare hidraulice inteligente.....	33
V.1	Sistem de reglare a turației unui motor hidraulic rotativ	33
V.1.1	Analiza teoretică.....	33
V.1.2	Analiza experimentală.....	34
V.1.3	Comparație între rezultatele teoretice și experimentale	40
V.1.4	Concluzii	41
V.2	Sistem de generare a energiei hidraulice cu regulator de presiune integrat	42
V.2.1	Analiza teoretică.....	43
V.2.2	Analiza experimentală.....	45

V.2.3	Concluzii	46
V.3	Sistem de poziționare hidraulic	46
V.3.1	Analiza teoretică.....	46
V.3.2	Analiza Experimentală	48
V.4	Stand pentru determinarea densității mediului hidraulic	48
V.4.1	Analiza teoretică.....	49
V.4.2	Programele de lucru dezvoltate	50
V.4.3	Determinări experimentale	52
V.4.4	Comparație între rezultatele teoretice si experimentale	53
V.5	Analiza termică a grupurilor inteligente de generare a energiei hidraulice propuse	54
V.6	Optimizarea constructiv-funcționala a modelelor propuse.....	57
VI.	Sisteme realizate care aderă la conceptul IoT	58
VII.	Consideratii finale	60
VII.1	Direcții de continuare a cercetărilor deschise de teza de doctorat.....	63
VII.2	Lista de lucrări publicate	64
VII.3	Lucrări acceptate pentru publicare	65
VIII.	Referințe.....	65

I. INTRODUCERE

Această lucrare are scopul de a studia fezabilitatea și eficiența unor sisteme inteligente de control dedicate sistemelor hidraulice existente. Mai multe variante constructive și configurații au fost studiate și realizate cu scopul final de a transforma grupuri de pompare clasice sau chiar sisteme întregi hidraulice care nu aveau sisteme avansate de control, în sisteme mecatronice inteligente.

Teza debutează printr-o fundamentare teoretică a conceptelor utilizate și un scurt istoric al mecatronicii, hidraulicii și a revoluțiilor industriale. În următorul capitol o descriere a stadiului actual al sistemelor ca un tot dar și o descriere a elementelor constructive sunt prezentate, urmând ca la finalul acestuia să fie caracterizate grupurile puse la dispoziție pentru a fi modificate și o scurta prezentare a soluțiilor existente pe piață. Modelarea matematică a grupurilor și rezultatele experimentale sunt elaborate și descrise ca apoi să fie comparate pentru a formula concluziile în capitolele finale.

Teza a fost realizată sub îndrumarea domnului prof. dr. ing. Mihai Avram, căruia îi adresez sincere mulțumiri pentru profesionalismul cu care m-a îndrumat în susținerea și elaborarea lucrării de doctorat și încrederea oferită facilitând astfel modificarea semnificativă a structurilor existente din laborator pentru etapa practică dar și cea de documentare. De asemenea doresc să îi ofer mulțumiri pentru invitația de a participa la studiile doctorale, susținere, răbdare și ajutor în perioada pregătitoare domnișoara conf. dr. ing. Alina Spânu.

Prin definiție un sistem inteligent utilizează senzori pentru a monitoriza condițiile de lucru precum și alte variabile externe cu scopul de a-și modifica regimul de lucru automat pentru adaptarea la aceste schimbări, fără a fi necesară intervenția unui operator.

Un sistem tehnic care își poate îndeplini sarcina specifică în prezența incertitudinii și a variabilității mediului său este considerat inteligent. Abilitatea sistemului de a monitoriza mediul îi permite acestuia să-și adapteze acțiunile pe baza măsurărilor, aceasta fiind o condiție prealabilă pentru inteligență. Termenul de sistem inteligent este un antropomorfism în sensul că inteligența este definită de criteriul conform căruia acțiunile ar părea inteligente dacă sunt făcute de o persoană. Nu există o definiție precisă, lipsită de ambiguitate pentru un sistem inteligent [1].

Utilizarea pe scară tot mai largă a acestor sisteme de acționare se justifică și prin perspectiva oferită în privința creșterii productivității sistemelor deservite, a performanțelor statice și dinamice ale lor, a fiabilității și randamentului total al sistemului. Creșterea producției de echipamente hidraulice de automatizare înregistrată în țări avansate în domeniul industrial, precum: China, S.U.A., Germania, Japonia vine în sprijinul celor afirmate mai sus. Se observă preocupări susținute în următoarele direcții:

- creșterea presiunilor de lucru;
- creșterii frecvenței de rotație și vitezelor de deplasare;
- asigurarea unor funcții multiple construcțiilor tipizate de echipament;
- creșterea randamentelor;
- creșterea fiabilității și durabilității.

O atenție deosebită este astăzi acordată aspectelor energetice, existând preocupări susținute de ameliorare a indicatorilor energetici. Trebuie conștientizat faptul că echipamentele hidraulice proporționale își realizează funcția pe baza metodei rezistive de reglare (care implică trimiterea unei cantități de lichid la rezervor și pierderi semnificative de energie).

În concluzie, sistemele de acționare hidraulice trebuie folosite cu discernământ, conștientizând avantajele și dezavantajele acestora sub aspect economic, constructiv și al exploataării.

În ultima perioadă pot fi identificate câteva direcții principale avute în vedere de specialiștii din domeniu, și anume:

- cercetări în domeniul hidraulicii presiunilor înalte și presiunilor ultraînalte;
- dezvoltarea hidraulicii proporționale în vederea identificării de noi soluții constructive de echipamente proporționale mai ieftine, mai performante, cu dimensiuni de gabarit mai mici etc.;
- proiectarea, optimizarea și simularea circuitelor hidraulice cu ajutorul softurilor de specialitate;
- creșterea performanțelor și fiabilității echipamentelor hidraulice de automatizare;
- creșterea gradului de modularizare și de flexibilitate a sistemelor de acționare hidraulică;
- cercetări privind comportarea tribologică și eficacitatea etanșărilor;
- reluarea unor cercetări și experimente pentru îmbunătățirea metodologiei de calcul și proiectare a componentelor hidraulice.

II. STADIUL ACTUAL DE DEZVOLTARE AL GRUPURILOR DE GENERARE A ENERGIEI HIDRAULICE

II.1 Tendințe și perspective în dezvoltarea grupurilor de generare a energiei hidraulice

Cerințele de bază pentru a supraviețui ca producător sunt următoarele: producție de calitate bună, costuri reduse, timp scurt de producție, moment oportun și desigur fără a afecta mediul înconjurător [2].

Marja de profit pentru producători fiind destul de mică orice defecțiune și oprire neplanificată are un cost semnificativ care poate fi diferența între profit și pierderi. Pentru a avea un avantaj competitiv trebuie să se reducă cheltuielile într-un mod organic fără a afecta totuși calitatea produsului finit. Sistemele inteligente interconectate oferă toate avantajele necesare pentru a garanta succesul pe toate frontierele. Prin urmare tendința actuală este de a asocia un sistem de control inteligent bazat pe microcalculatoare sau microcontrolere cu sisteme tehnice.

Producătorii de generatoare de energie hidraulică s-au adaptat și au inclus în ofertă atât echipamente pentru aplicații la care costul inițial contează mai mult decât costul de utilizare cât și cele conectate, eficiente, cu auto-diagnoză și bucle de control inteligente [3] [4].

Cu scopul creșterii randamentului diverse componente ale grupului de generare a energiei hidraulice pot fi înlocuite cu o variantă mai eficientă, după cum urmează:

- *Motoarele în curent alternativ asincrone cu inducție*, standard în industrie se pot înlocui cu motoare cu reluctanță comutată sau motoare fără perii. Acestea vin cu avantajul unui moment inerțial mult redus, lucru care optimizează timpii de răspuns, dar și cu randament mai bun. Costul trebuie să includă sistemul de control și este semnificativ mai mare [5].
- *Sistemul de control motor* cu contactoare și relee se înlocuiește cu inverter și microcalculatoare. Prin variația frecvenței și a tensiunii de antrenare a motorului cu inducție, se crește randamentul întregului sistem [6];

- *Pompele cu debit fix* pot fi înlocuite cu pompe eficiente cu cilindree reglabilă, cu regulator integrat sau controlat direct de un calculator [7] [8];
- *Indicatoarele* de presiune și debit sunt înlocuite cu traductoare, plăci de achiziție și afișaje digitale;
- *Sistemul de reglat presiunea* este îmbunătățit prin adăugarea unei supape de reducere a presiunii, pentru ca un sistem de control să regleze eficient presiunea la nevoie [9];
- *Operatorul* este înlocuit cu un sistem inteligent de control, monitorizare de la distanță și auto-diagnoză [10] [11].

II.2 Obiectivele tezei de doctorat

În condițiile descrise anterior, producătorii de echipamente hidraulice de automatizare sunt obligați să producă echipamente performante, cu un consum energetic scăzut, cu un preț de achiziție mic, fiabile și care necesită costuri de întreținere și exploatare reduse.

Pe de altă parte utilizatorii sunt preocupați de menținerea în funcțiune a sistemelor pe care le au în dotare un timp cât mai lung. Pentru a fi eficiente din punct de vedere al consumului de energie electrică aceste sistem trebuie modernizate, iar acest lucru trebuie făcut cu costuri cât mai mici.

La alegerea unui grup de generare a energiei de multe ori primordial este costul de achiziție al acestuia. Este motivul pentru care se preferă grupurile dotate cu o pompe cu debit fix. Acest echipament este mult mai ieftin decât unul cu cilindree reglabilă. Acesta din urmă este mult mai complex din punct de vedere constructiv și necesită o tehnologie de execuție și montaj mult mai costisitoare. Mult timp, tot din considerente economice, antrenarea acestor echipamente s-a făcut folosind un motor electric cu turație constantă.

Pe de altă parte folosind un grup dotat cu o pompă cu debit fix reglarea debitului din sistem nu se putea face prin metoda volumică, singura posibilitate fiind metoda rezistivă. Deși precisă, aceasta din urmă, conduce la pierderi de energie însemnate sub formă de căldură, deci un randament scăzut și în consecință cheltuieli de exploatare foarte mari.

Lucrarea de față are scopul de a studia posibilitatea și metodologia necesară pentru îmbunătățirea unui grup de pompare aflat în perioada de maturitate, declin sau chiar deja ieșit din uz. Se poate aplica și pentru echipamentele noi cu cost redus. Aceste echipamente sunt ineficiente și dacă nu sunt aduse la standardele actuale de eficiență reprezintă o problemă importantă pentru utilizatori [12].

Totodată se urmărește transformarea acestora în structuri inteligente capabile să-și realizeze funcția independent în prezența de factori perturbatori. În același timp se dorește ca acest echipament să poată comunica și cu unitatea de comandă a sistemului hidraulic deservit, să poată primi informații despre obiectivul ce trebuie îndeplinit și la rândul său să-i transmită unității de comandă informații în timp real privind evoluția parametrilor funcționali.

Determinarea densității unui ulei mineral utilizat ca mediu de lucru într-un sistem hidraulic de acționare în anumite condiții concrete de lucru precum și a dependenței densității cu temperatura și presiunea reprezintă probleme importante pentru care încă se caută o rezolvare. Din acest motiv teza și-a propus ca obiectiv secundar concepția și realizarea unui stand ce permite determinarea pe cale experimentală a densității unui ulei mineral folosit ca mediu de lucru într-un sistem hidraulic, precum și identificarea unei metode de determinare a influenței temperaturii și presiunii asupra acestui parametru.

Standul trebuie să fie unul complet informatizat și să permită atât controlul sistemului de acționare cât și achiziția și prelucrarea datelor de măsurare.

Pentru realizarea cu succes a obiectivelor propuse este necesară realizarea unei analize teoretice și experimentale a unui grup de generare a energiei hidraulice. Sunt avute în vedere două situații posibile:

- grupul analizat există fizic;
- grupul trebuie proiectat, achiziționat și testat experimental.

În ambele cazuri se impune o analiză constructiv-funcțională a grupului, realizarea unui model, realizarea modelului matematic și simularea numerică. În final, în primul caz, sunt determinați parametrii funcționali optimi ai sistemului, iar în al doilea caz se pune în evidență comportarea în timp a viitorului sistem.

Analiza experimentală presupune stabilirea unei metodologii de testare, concepția unor standuri experimentale adecvate și se finalizează cu realizarea unor determinări experimentale.

Pasul următor constă în analiza comparativă a rezultatelor teoretice și experimentale cu implicații directe în ceea ce privește optimizarea constructiv-funcțională a grupului de generare a energiei hidraulice.

II.3 Grupuri de generare a energiei hidraulice inteligente

Grupurile de generare a energiei hidraulice sunt văzute ca subsisteme fiabile în mașinile unelte și liniile de producție. Menținerea efectuată la intervale regulate are o rată de succes mare pentru prevenirea defecțiunilor și implică o perioadă de nefuncționare [13]. În cele ce urmează este prezentată (Fig II-1) structura propusă pentru un grup de generare a energiei hidraulice inteligent ideal care poate realiza toate funcțiile anterior descrise.

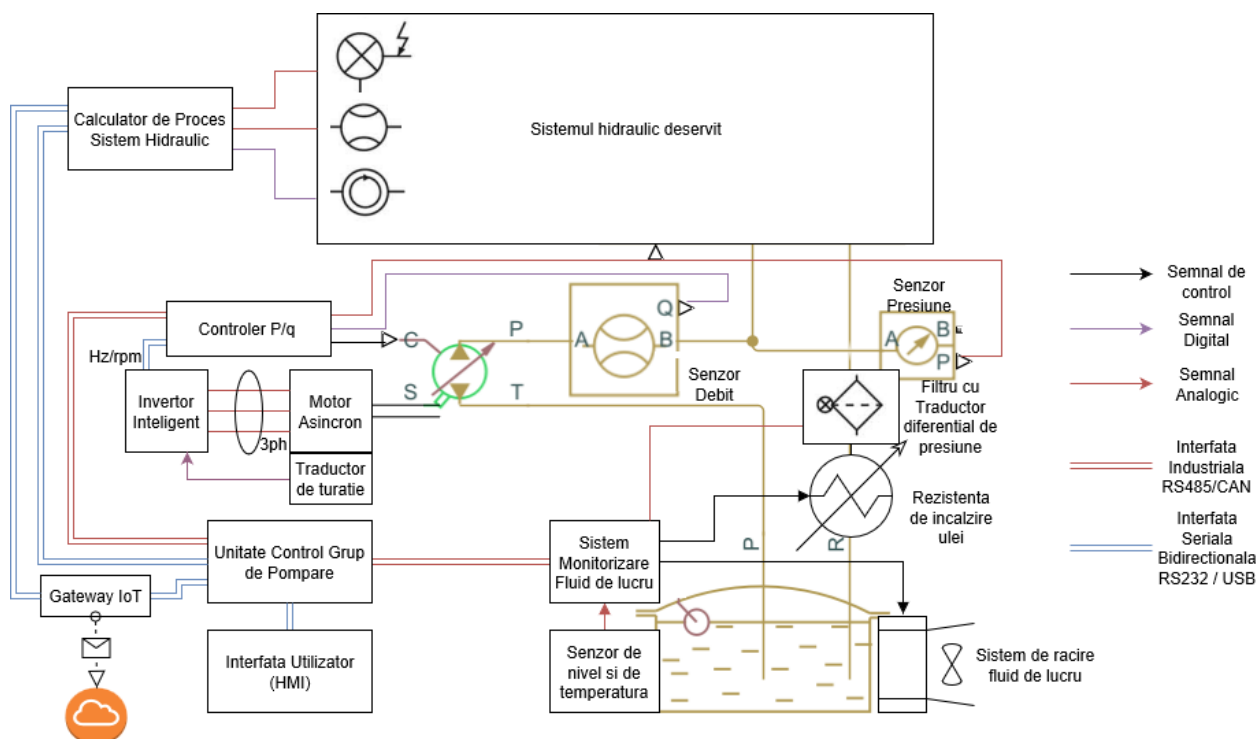


Fig II-1 Exemplu Grup hidraulic inteligent

Toate sistemele menționate au propriul controler pentru a implementa conceptul de inteligență descentralizată și comunică printr-o interfață standard utilizată des în industrie (RS485, ModBus, CAN, Ethernet). Informațiile primite de la alte controlere sau citite sunt trimise mai departe panoului frontal și sistemului de monitorizare IoT [14].

Sistemul descris este un caz ideal pentru a exemplifica nivelul la care se poate ajunge cu descentralizarea, monitorizarea și inteligența artificială, integrând cât mai multe funcții posibile. Grupurile descrise în continuare o să tindă spre această structură, limitând totodată costul total prin reducerea numărului de componente și controlere integrate. Optimizarea costului nu va avea efect asupra funcționalității finale.

II.4 Grupuri de generare a energiei hidraulice existente ce urmează a fi transformate în grupuri inteligente

În dotarea Departamentului de Mecatronică și Mecanică de Precizie din Universitatea Politehnică din București există câteva grupuri de generare a energiei hidraulice ce deservește mai multe sisteme de acționare hidraulice.

Se dorește realizarea unui control inteligent al acestor grupuri utilizând diverse soluții tehnice cu scopul de a optimiza performanțele.

II.4.1 Grup de generare a energiei hidraulice cu puterea de 1.5kW

Primul grup de pompare are originea necunoscută, codul de pe motor indică anul 1972 iar cel de pe rezervor indică 1975 (Fig II-2).



Fig II-2 Grup de pompare Rexroth – 1.5kW

Grupul are în componență un motor trifazic alimentabil de la rețeaua electrică cu 380V, cu posibilitatea de a porni stea-triunghi. Tipul pompei este cu roți dințate cu angrenare externă și are cilindree de 8 cm³.

Componentele ce urmează a fi descrise alcătuiesc sistemul hidraulic (Fig II-3). Pe circuitul de refulare al pompei este montat un traductor de presiune, unul de debit, un distribuitor 4/3 și un motor hidraulic orbital.

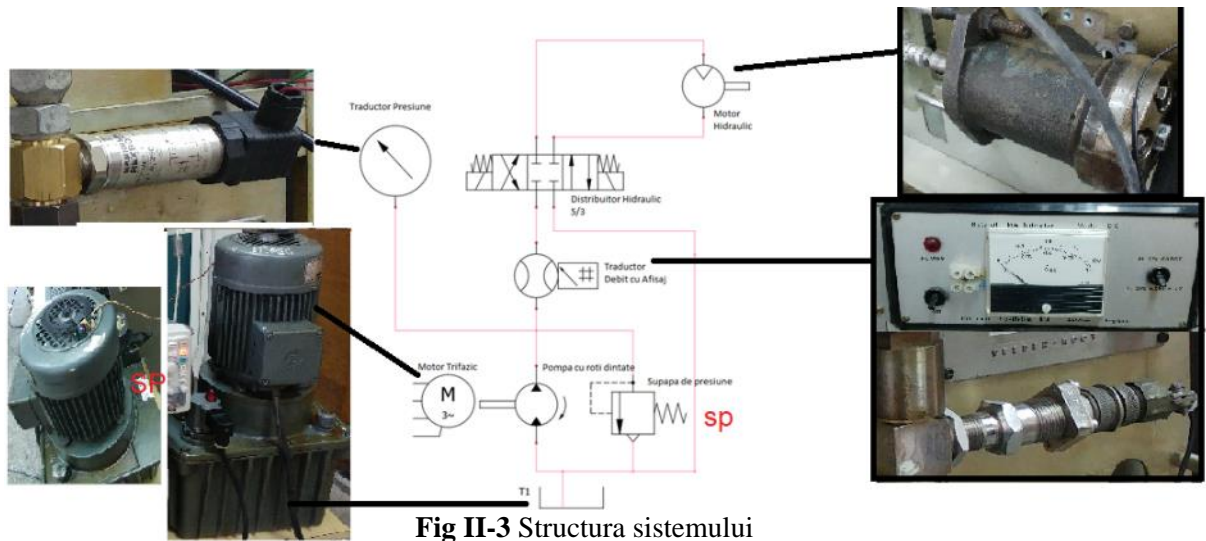


Fig II-3 Structura sistemului

Cu un inverter se pot reduce pierderile dacă se variază turația motorului care antrenează pompa în funcție de debitul necesar sistemului deservit. Inverterul cu corector de factor de putere reduce costul de operare astfel: conform regulamentului pentru furnizarea și utilizarea energiei electrice – art. 74 alin 3 – consumatorii cu factor de putere mediu lunar sub 0.92 plătesc și energia reactivă consumată (adică plătesc energia aparentă și nu puterea reală, în cuantum de cel puțin 8% în plus) [15].

Acest sistem este un exemplu potrivit de sistem hidraulic care ar beneficia de o automatizare / transformare în echipament inteligent. Structura originală a grupului luat în discuție este reprezentativă pentru majoritatea grupurilor de generare a energiei hidraulice aflate în stare de funcționare la acest moment. Prin urmare orice modificare aplicată acestuia este universal valabilă pe un spectru larg de aplicații industriale relevante.

II.4.2 Grup de generare a energiei hidraulice cu puterea de 4 kW

În prezent acest produs este implementat într-un sistem pentru reglarea și controlul puterii hidraulice, sistem ce se află în laboratorul de Robotică, Acționări și Sisteme Automate Precise din cadrul Departamentului de Mecatronică și Mecanică de Precizie. Este vorba despre grupul cu codul ABSKG-60AL9/VGF2-016/112M-4-B produs de firma Rexroth.

Schema hidraulică a grupului este reprezentată cu simboluri standardizate în Fig II-4 și are în componență:

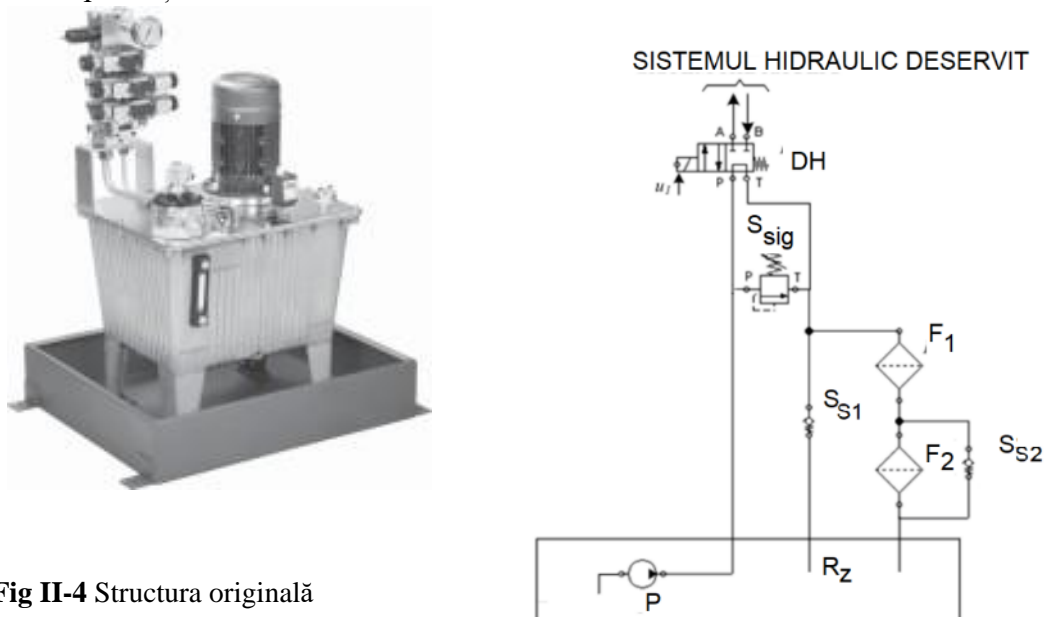


Fig II-4 Structura originală

- pompa cu roți dințate cu debit fix, P [16];
- rezervor cu o capacitate de 60l, Rz;
- supapă de siguranță ce se deschide la o presiune de 50 [bar], S_{sig} ;
- manometru pentru monitorizarea căderii de presiune pe filtru;
- manometru pentru monitorizarea presiunii din sistem;
- 2 filtre de mărimi diferite pe circuitul către rezervor, F1, F2;
- distribuitor hidraulic clasic care întrerupe sau nu alimentarea cu energie a aplicației- DH
- motor electric pentru acționarea pompei [17];
- răcitor de ulei – radiator de aluminiu

Modificările aduse grupului de pompare urmăresc scopul de a putea seta valoarea presiunii fluidului de lucru și implică existența unui algoritm de reglare automată. Câteva elemente au fost adăugate în circuitul hidraulic pentru a atinge acest scop: supapă proporțională normal închisă S_{sig}, un traductor de presiune T_p, un traductor de temperatură T_T

Structura modificată (Fig II-5) este prevăzută cu un bloc electronic. Acesta are rolul de a genera: un semnal de comandă analogic în curent, i_1 în domeniul 0...800mA, pentru comanda

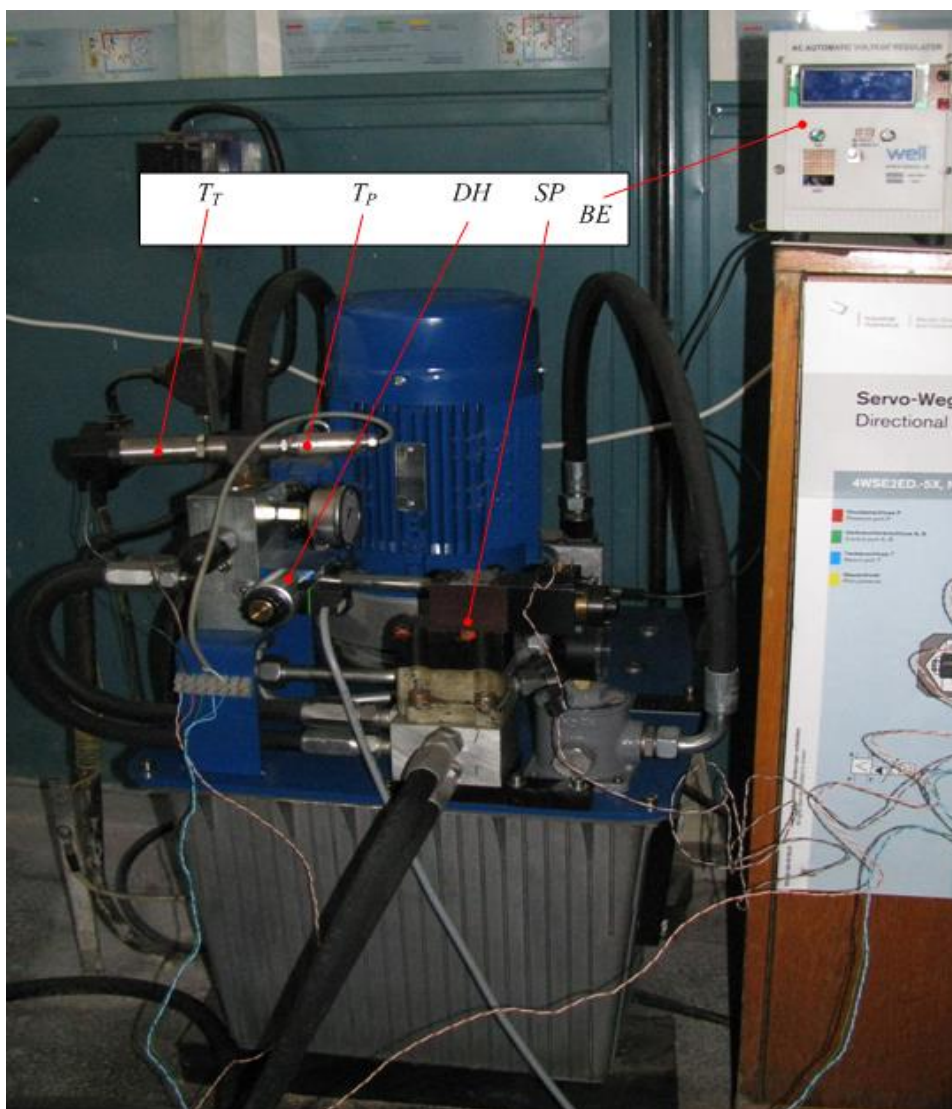


Fig II-5 Structura modificată , poza [18]

electromagnetului proporțional, un semnal de comandă digital în tensiune u_1 cu valorile 0 sau 24V necesar pentru comanda distribuitorului hidraulic clasic DH. Achiziționează și două semnale analogice (i_p și u_T) ce provin de la traductoarele noi.

Scopul acestor modificări (conform articolului publicat [18]) este de adaptare a presiunii furnizate sistemului în funcție de sarcina antrenată de acesta, modificarea debitului furnizat de pompă prin variația controlată a turației arborelui motorului electric de antrenare și controlul grupului prin intermediul unui controller.

II.4.3 Grup de generare a energiei hidraulice cu puterea de 15kW

Departamentul de Mecatronică și Mecanică de Precizie are în dotarea sa și o stație hidraulică fabricată de firma Rexroth, model: ABMAG-160S-2X/A10VSO28DFR1/160L/A (Fig II-6). Aceasta include mai multe componente și anume:

- grupul de pompare tip ABAPG-A10VSO28DFR1/160L-4-B1/SEABR
- grupul de filtrare-răcire-recirculare ulei KOLP8N-1X/R-30F100-10-E/M
- semnalizator nivel ABZMS-36-1X/0370M-k24
- termostat AB31-14/7-1A2A3A4A
- încălzitor AB32-10/5 D 400

Pompa Axială A10VSO cu pistonăse axiale are debitul variabil obținut prin înclinarea plăcii fulante. Este prevăzută cu un comutator care indică poziția de 0 a inclinării (asistentul de pornire).

Pentru reglarea temperaturii uleiului circuitul conține un senzor de temperatură, un ventilator (pentru răcirea uleiului) și o rezistență pentru încălzirea acestuia. Performanțele maxime se obțin dacă se utilizează sistemul la temperatura optimă.

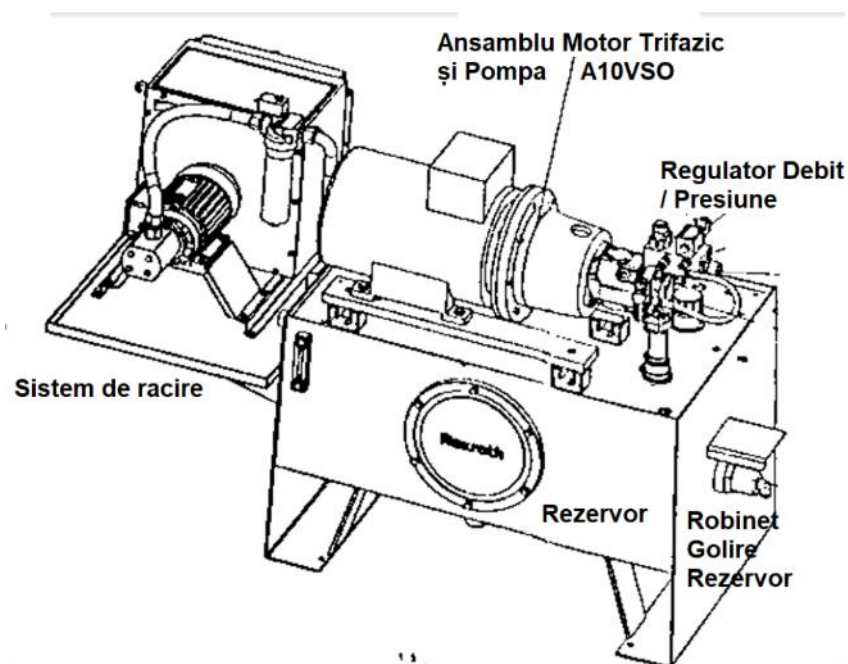


Fig II-6 Grup pompare cu motor de 15kW

III. STABILIREA MODELELOR CONSTRUCTIVE DE GRUPURI INTELIGENTE DE GENERARE A ENERGIEI HIDRAULICE

III.1 Grup inteligent de generare a energiei hidraulice cu inverter proiectat – varianta 1

Obiectivul urmărit în această etapă a elaborării tezei a constat în transformarea grupului prezentat în paragraful 2.4.1, un grup vechi, cu caracteristici tehnice modeste, într-unul mai performant cu un anumit nivel de inteligență.

Primul pas s-a considerat a fi integrarea unui inverter în circuit pentru a crește randamentul, a reduce zgomotul generat și pentru a porni acest grup pentru prima oară după mult timp în condiții de siguranță.

III.1.1 Proiectarea inverterului

Inverterul a fost proiectat în mai multe variante respectând structura generală prezentată în Fig III-1. Procesul de proiectare a fost unul iterativ, criteriile urmărite fiind: miniaturizarea circuitelor, reducerea costurilor, pregătirea pentru producție în masă și obținerea de performanțe superioare.

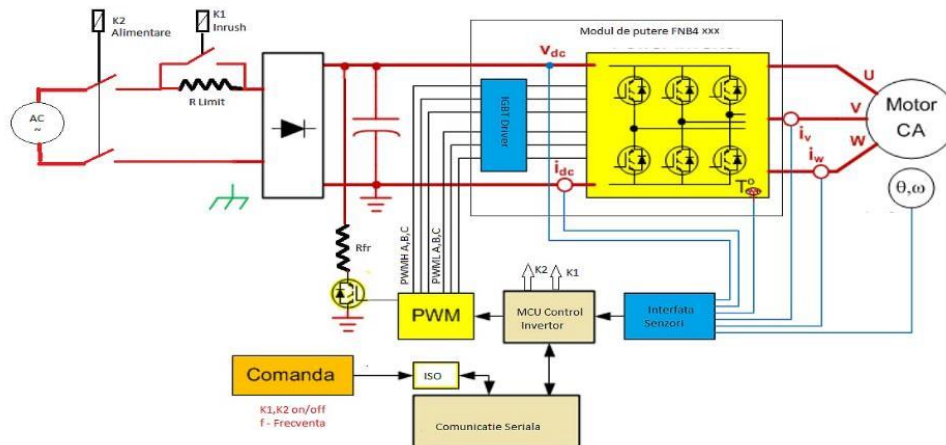


Fig III-1 Structura inverterului [28]

Inverterul a fost construit în jurul circuitului integrat hibrid FNB43060T2. Circuitul integrat este furnizat de firma ON Semiconductor și a fost proiectat pentru a fi utilizat în aparatură electrocasnică.

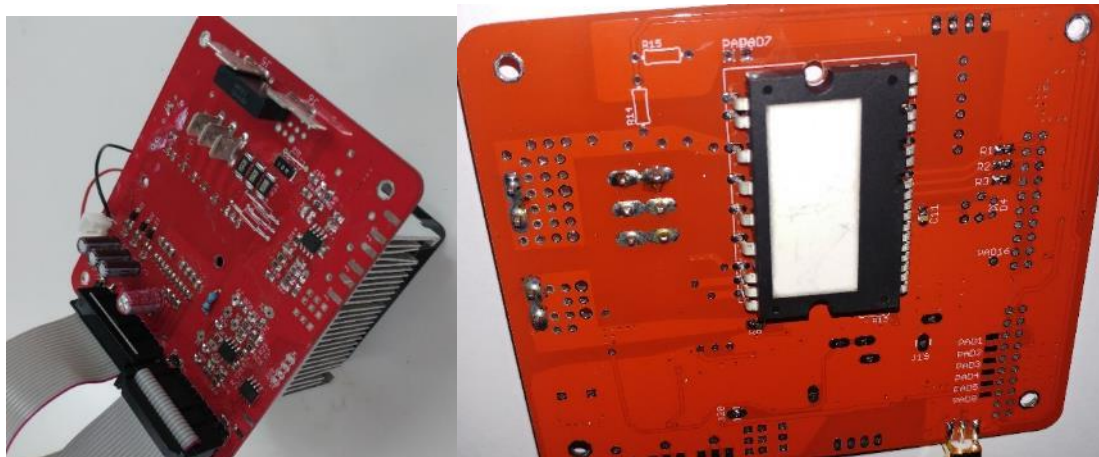


Fig III-2 Cablajul realizat

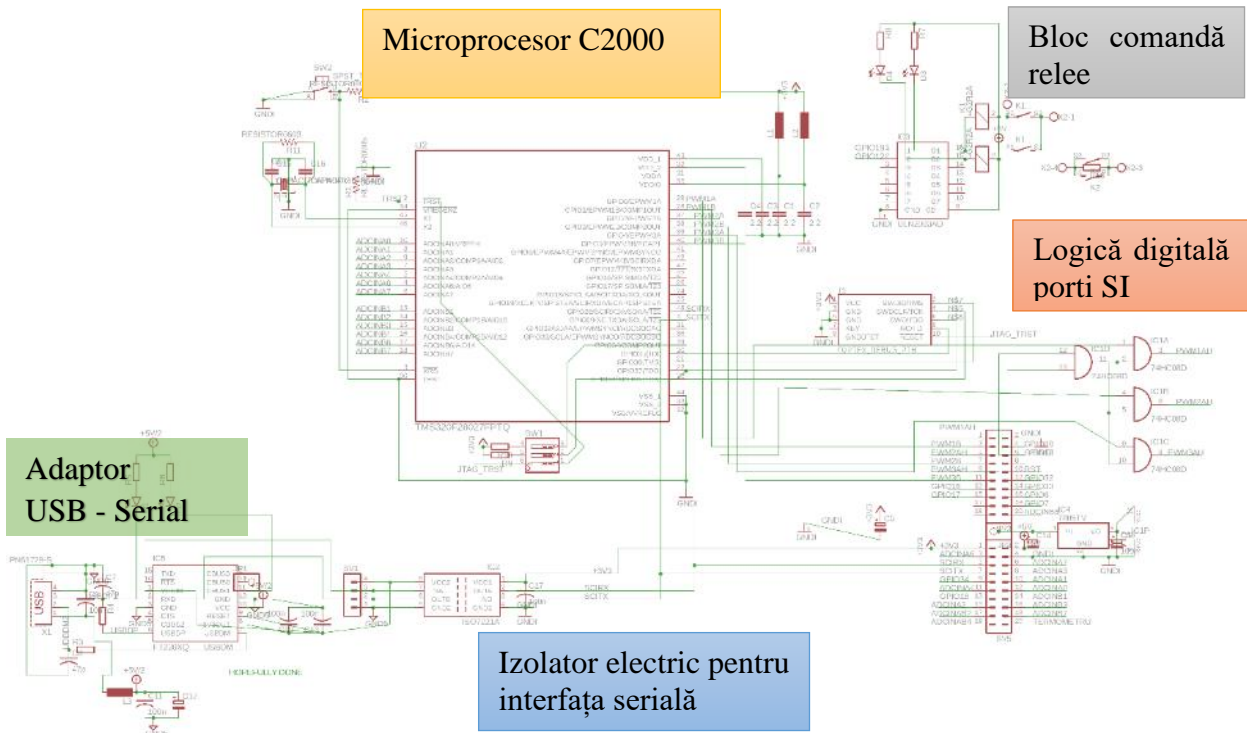


Fig III-3 Schema plăcii procesor

Microprocesorul a fost ales astfel încât să fie prevăzut cu: modul de contoare pentru a genera simultan 6 pulsuri modulate în lățime (PWM), interfețe de comunicare standard (i2c / uart / can / lin), suficientă putere de procesare pentru a implementa algoritmi de comandă și modul de conversie analog-numeric rapid și precis.



Fig III-4 Varianta cu F28069

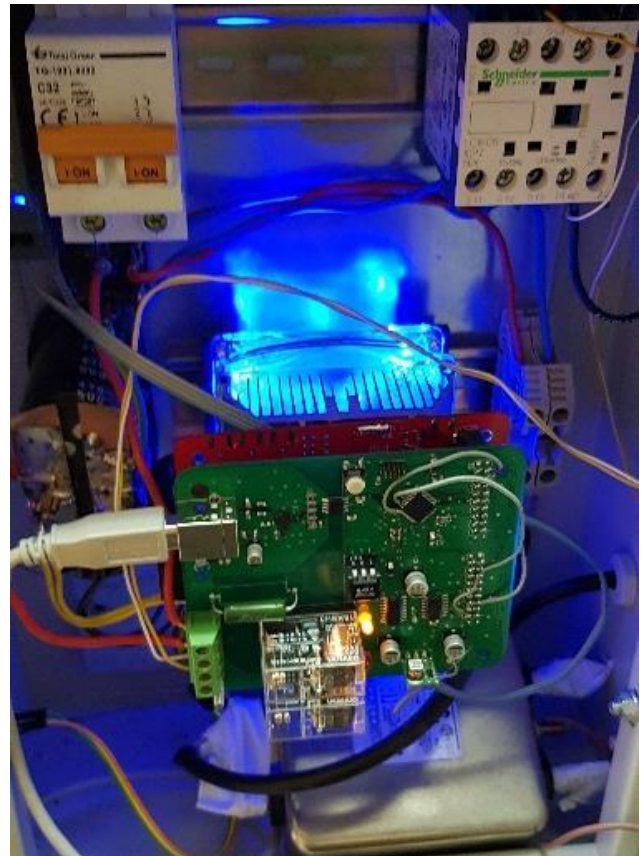


Fig III-5 Invertor și placa de control nouă F28027

III.1.2 Placa de achiziție și control realizată

Schema de principiu este prezentă în Fig III-6 iar primul prototip este în Fig III-7.

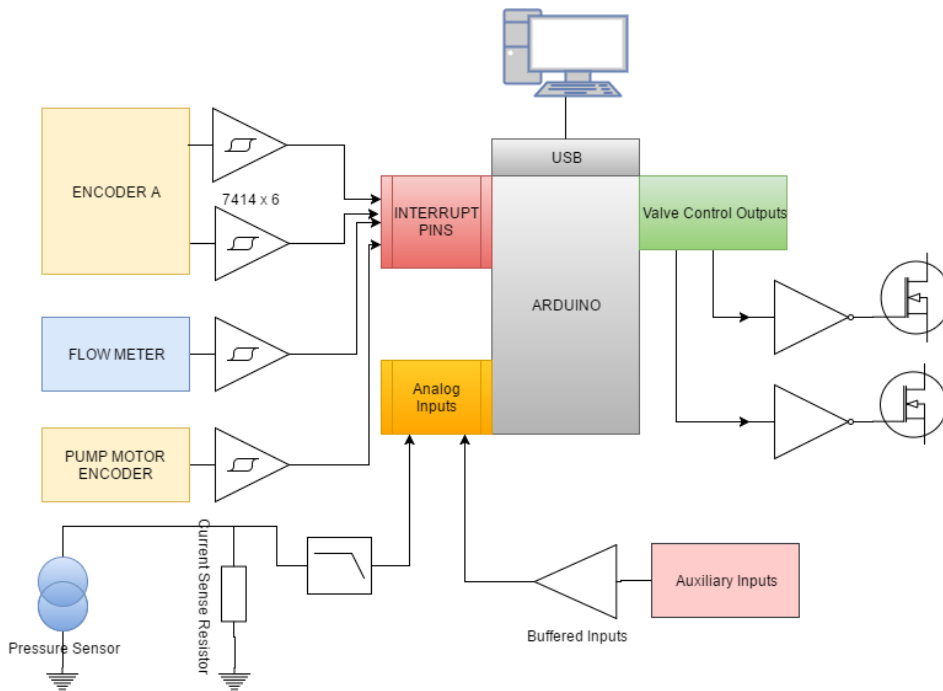


Fig III-6 Schema de principiu [33]



Fig III-7 Placa inițială de achiziție

În urma testelor efectuate s-a ajuns la concluzia că această placă trebuie re proiectată (Fig III-8). S-au urmărit protejarea microprocesorului și adăugarea unor funcții noi.

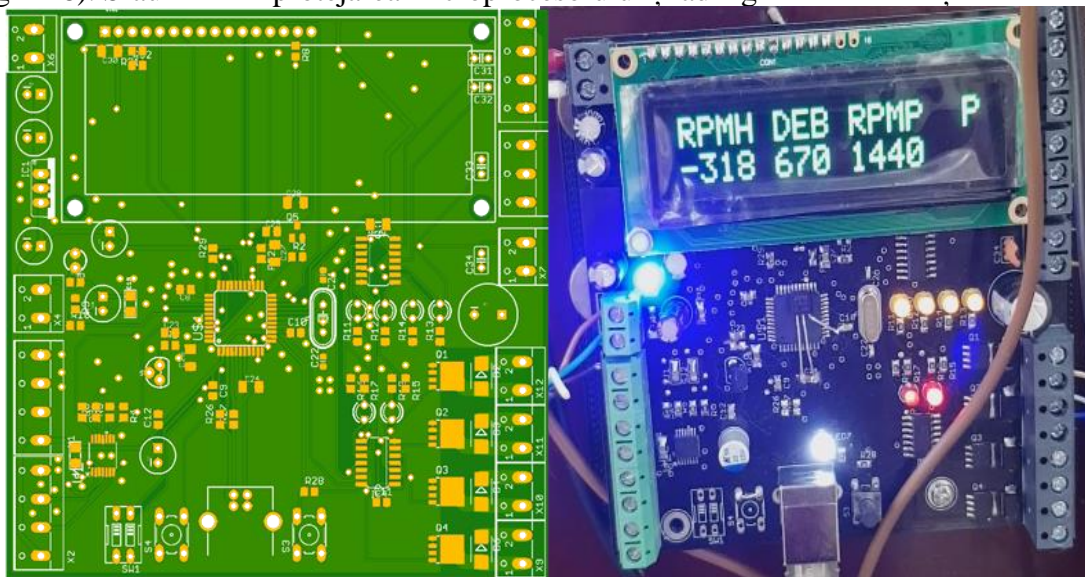


Fig III-8 Placa de achiziție nou proiectată

Pentru a determina turația motorului electric aferent pompei s-a proiectat în Solidworks un encoder cu 30 de dinți (Fig III-9). Acesta a fost printat la o imprimanta 3D cu filament ABS.

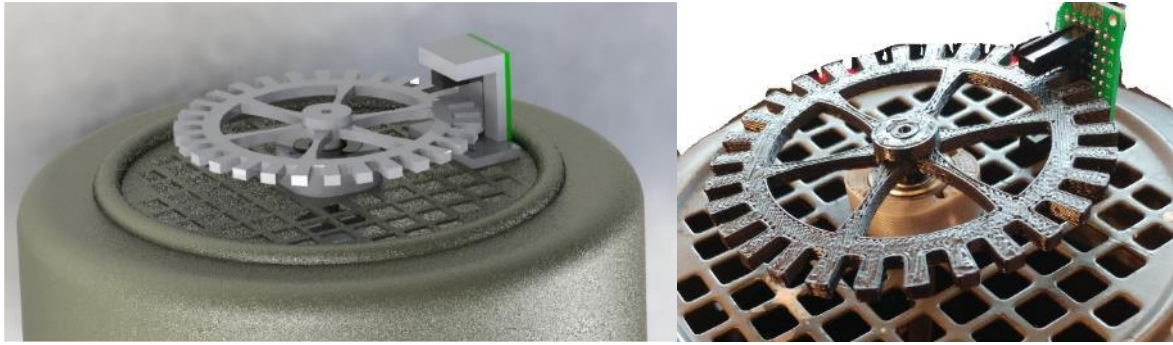


Fig III-9 Encoder Solidworks proiectat si realizat practic

III.1.3 Principiul de funcționare

Circuitul final adoptat este prezentat în Fig III-10 și permite descrierea principiului de funcționare.

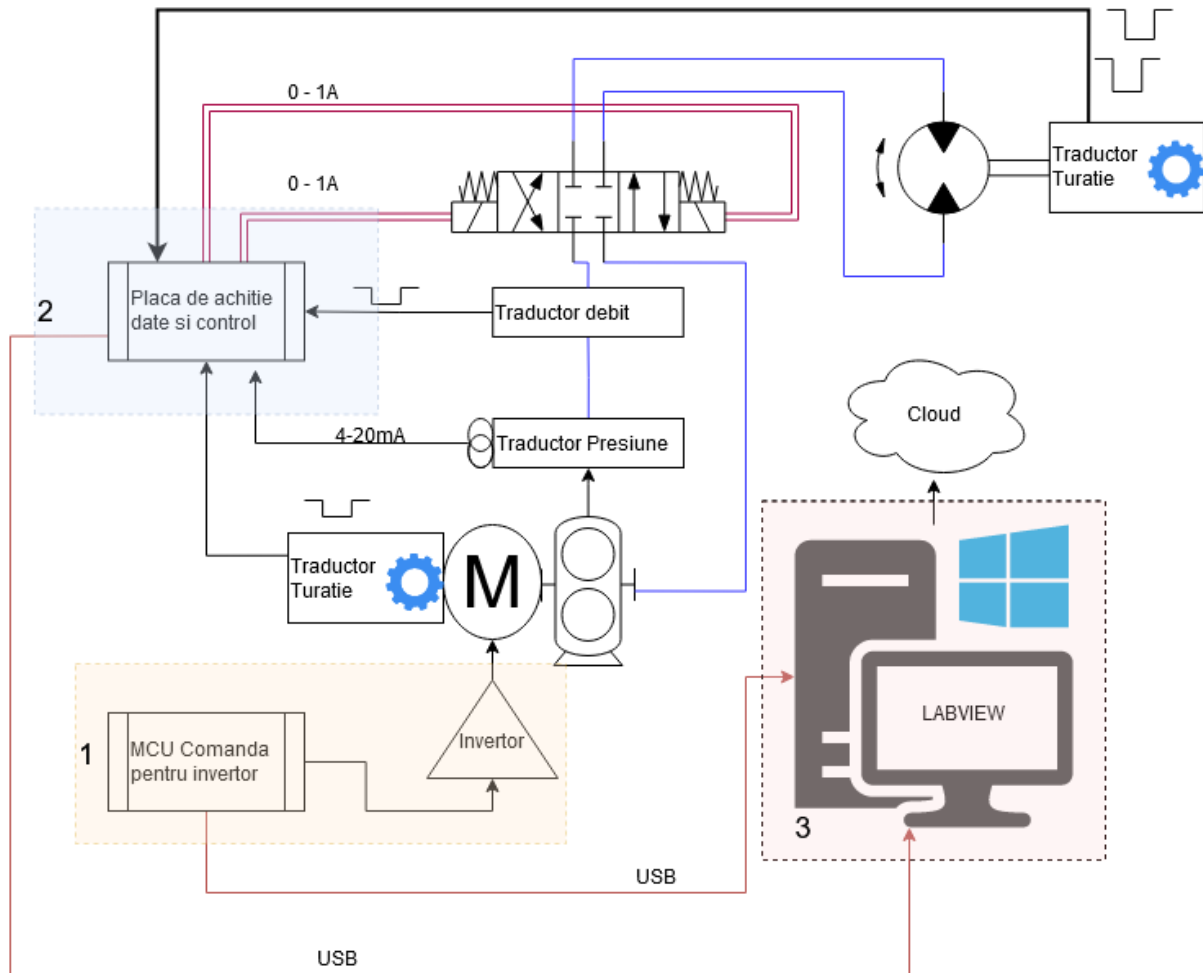


Fig III-10 Schema finala de comanda / control

Modulele principale sunt evidențiate cu culori diferite și numerotate pentru a fi descrise în următoarele paragrafe.

Primul modul, numerotat cu **1** are rolul de a genera un curent trifazat cu frecvență și amplitudine variabile pentru controlul turației unui motor asincron cu inducție, aflat în dotarea pompei. Acest modul conține **inverterul** și **microprocesorul MCU** care controlează inverterul.

Cel de-al doilea modul - **placa de achiziție și control** transformă variabilele de proces din semnale electrice de diferite tipuri în informații utile pentru monitorizare și control.

Această placă poate măsura semnale provenind de la un senzor industrial de tip ”bucă de curent”, de la 2 senzori în punte Wheatstone precum și de la 4 frecvențe. Informațiile citite de la senzori și traductoare sunt afișate pe afișajul alfanumeric LCD. Interfața USB este folosită pentru a trimite informațiile de proces către calculatorul principal de proces.

Calculatorul de proces numerotat 3 în Fig III-10 gestionează componentele anterior menționate, asigură controlul, salvează datele primite și le procesează pentru a asigura siguranța și buna funcționare a sistemului.

Programul dezvoltat în LabView se asigură că ambele plăci sunt conectate și funcționează înainte de a permite pornirea motorului. Dacă ambele plăci (inverter și de achiziție) răspund la comenzi, programul trimite o comandă inverterului pentru a activa contactorul principal și apoi așteaptă încărcarea lentă a bancului de condensatori prezent în inverter.

III.2 Grup inteligent de generare a energiei hidraulice cu inverter tipizat – varianta 2

Spre deosebire de grupul de pompare de 1.5kW, motorul grupului modern are puterea maximă de 4kW, putere care este mult prea mare pentru o sursă de curent monofazat cu valoarea de 230V. Proiectarea de circuite care funcționează cu sursă de curent trifazic este dificilă și periculoasă prin urmare s-a optat pentru un inverter disponibil pe piață.

Inverterul a fost integrat în structura originală rezultând o structură nouă (Fig III-11) ce include următoarele componente:

- două traductoare de presiune (9,10), unul montat pe circuitul de la ieșire al pompei, iar celălalt pe circuitul de retur;
- un traductor de debit (8) care monitorizează debitul din sistem;
- un traductor de temperatură (11) pentru a monitoriza temperatura mediului de lucru;

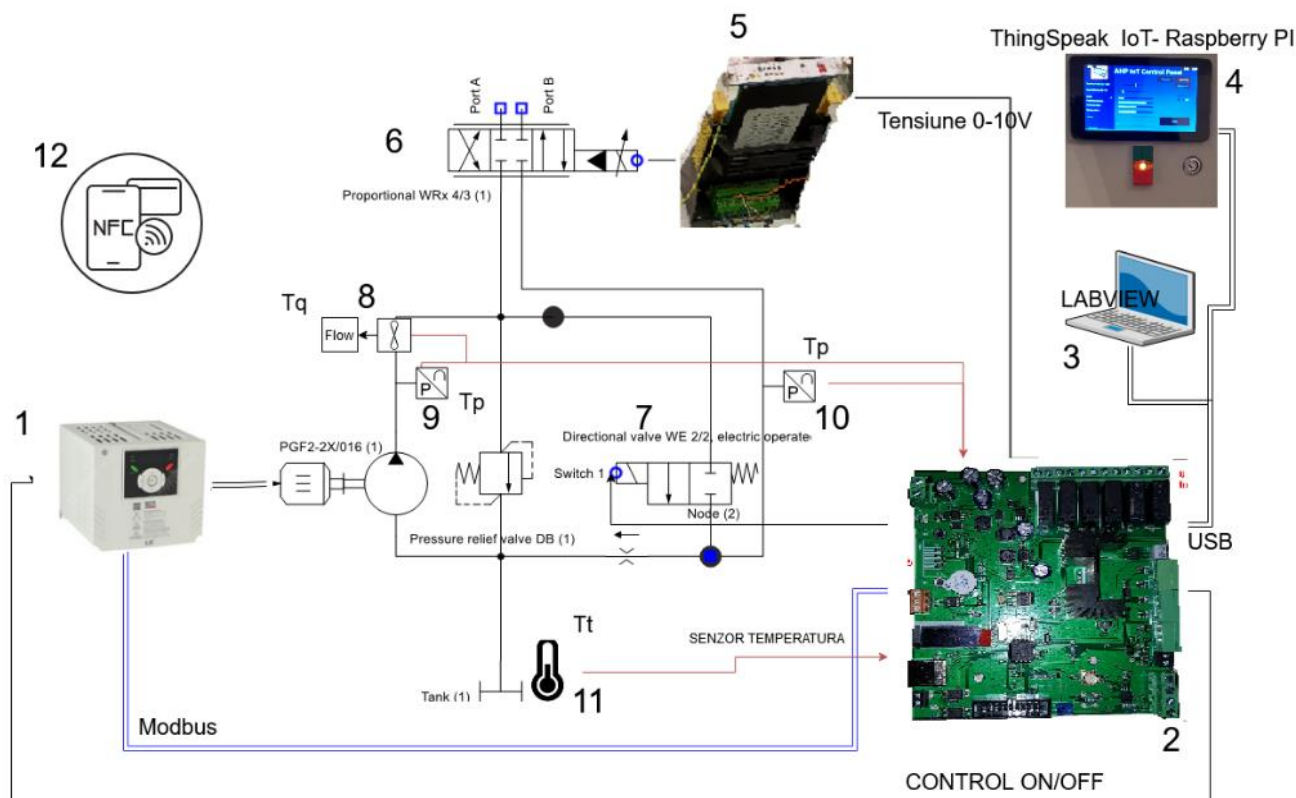


Fig III-11 Modificările aduse grupului de pompare

- o supapă de presiune proporțională (7);
- un distribuitor proporțional 4/3 (6) și blocul electronic de comandă aferent (5);
- o poartă IoT (4) pentru acces la distanță sau laptop (3) pentru salvare date local;
- un card NFC (12) care conține adresa terminalului IoT de pe platforma ThingSpeak pentru accesare facilă a informațiilor online;
- placă de control (2) realizată special pentru această aplicație.

Din experiențele anterioare s-a ajuns la concluzia că este necesar un bloc de achiziție și comandă, bloc ce va fi descris în paragraful ce urmează.

III.2.1 Blocul electronic de achiziție și comandă

Placa a fost concepută pentru a regla deschiderea unei supape de presiune de reducere comandată în curent cu scopul de a regla în mod dinamic presiunea din sistem.

Placa de control supapă și monitorizare – varianta 1

Această primă variantă este prezentată în Fig III-12 și dispune de:

- 2 intrări digitale (configurabile);
- 4 intrări analogice 0..20 mA;
- 2 intrări analogice 0..10 V;
- 4 ieșiri emitor comun (24V sau nimic);
- ieșire de tensiune configurabilă: -10..10 V;
- ieșire de curent constant configurabilă: 0-1A;
- afișaj OLED;
- interfață serială;
- interfață USB.

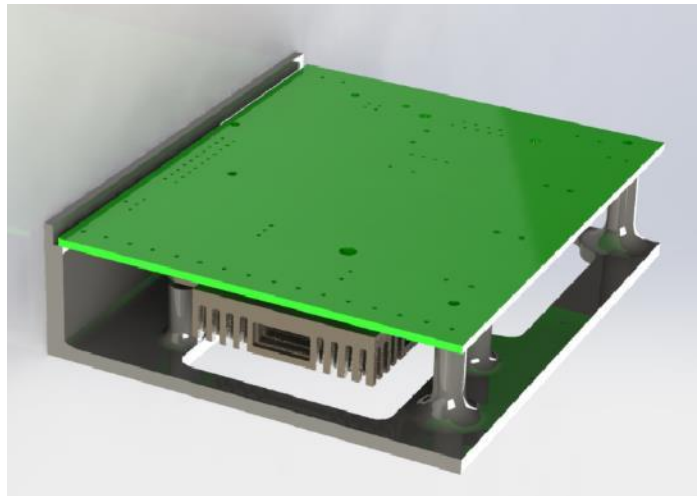
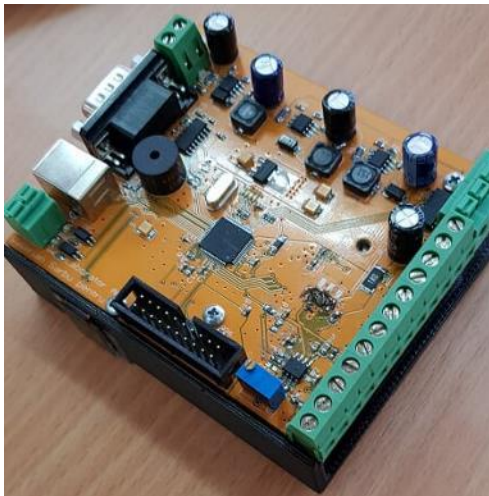


Fig III-12 Cablaj real și model 3d Solidworks

Microprocesorul utilizat dispune de un număr mare de periferice, este dinamic și are un consum redus de energie; totodată această variantă este compatibilă cu soluțiile IoT.

Placa de control și monitorizare, varianta 2

Circuitul a fost reproiectat ca urmare a unor noi cerințe și pentru a îmbunătăți posibilitatea de fabricare în serie. Acesta se poate observa în figura III-13 diferă de varianta anterioară prin:

- 1 intrare senzor diferențial (termocuplu tip K sau punte wheatstone) configurabil;
- 2 ieșiri digitale (24V sau în aer);
- 6 ieșiri cu releu N/O conectabile la orice tensiune;
- interfață RS485;

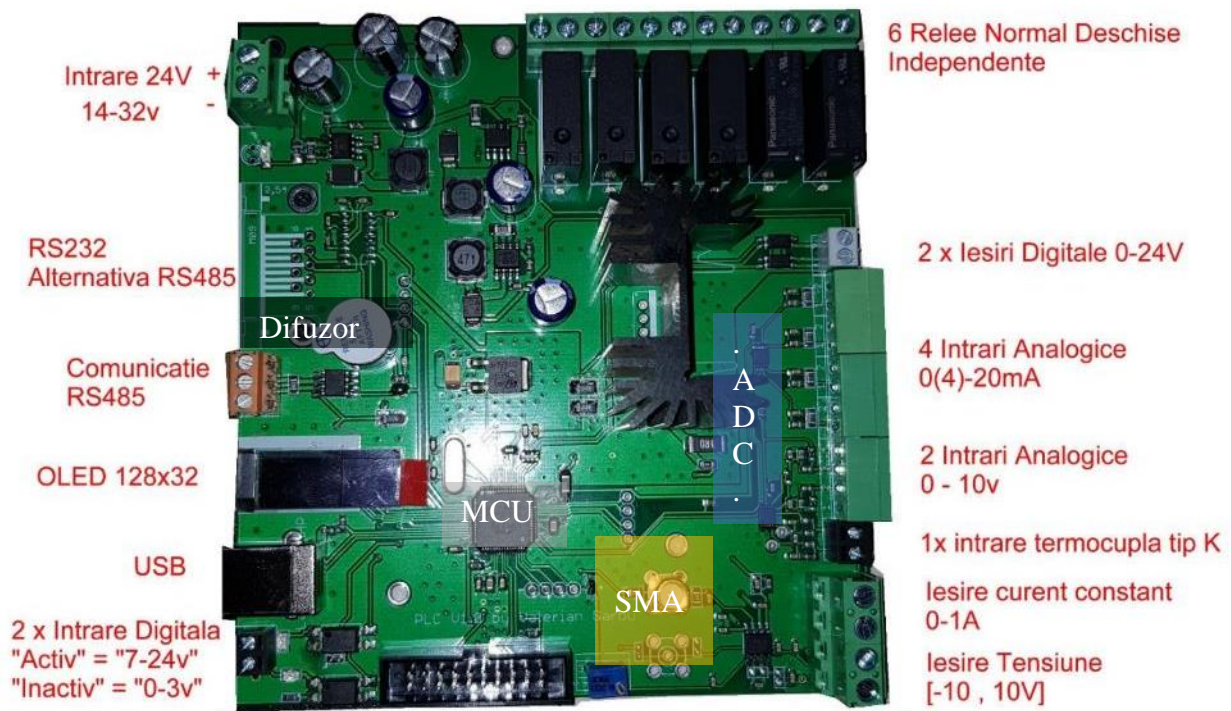


Fig III-13 Placa proiectată în varianta nouă

Placa nouă a fost proiectată pentru a utiliza tot un microcontroler ATSAM L21 (Fig III-13,MCU). În varianta nouă modificările importante sunt apariția unor interfețe noi de tip RS485, adăugarea a șase relee și utilizarea unui modul de conversie analogic-numeric extern de precizie ADC (din acest motiv convertorul analog numeric integrat în microcontroler a fost înlocuit cu unul extern cu performanțe mult superioare). S-au introdus și doi conectori de tip SMA pentru injectarea de semnale în blocul analogic în timpul testării.

III.2.2 Calculatorul de proces

În Fig III-14 se observă **prima variantă** realizată și implementată. Este vorba de atașarea unui afișaj inteligent produs de firma NEXTION, atașat la mufa de programare a plăcii de control. Această variantă nu a fost luată în calcul inițial, dar demonstrează flexibilitatea plăcii la structuri alternative.



Fig III-14 Varianta cu ecran tactil inteligent

Ulterior s-a dezvoltat **varianta 2**, cu un calculator mono-placă de tip Raspberry PI. Acesta are putere de procesare foarte mare, posibilitatea de conexiune la internet prin WiFi sau Ethernet, posibilitate de a se conecta cu alte dispozitive similare prin Bluetooth și funcționează cu un sistem de operare de la Microsoft, Windows 10 IoT. Modelul experimental obținut în acest caz este prezentat în Fig III-15.

În ceea ce privește achizițiile de date în timp real, efectuarea de experimente, testarea altor programe de lucru și procesarea de date, această variantă nu este ideală.

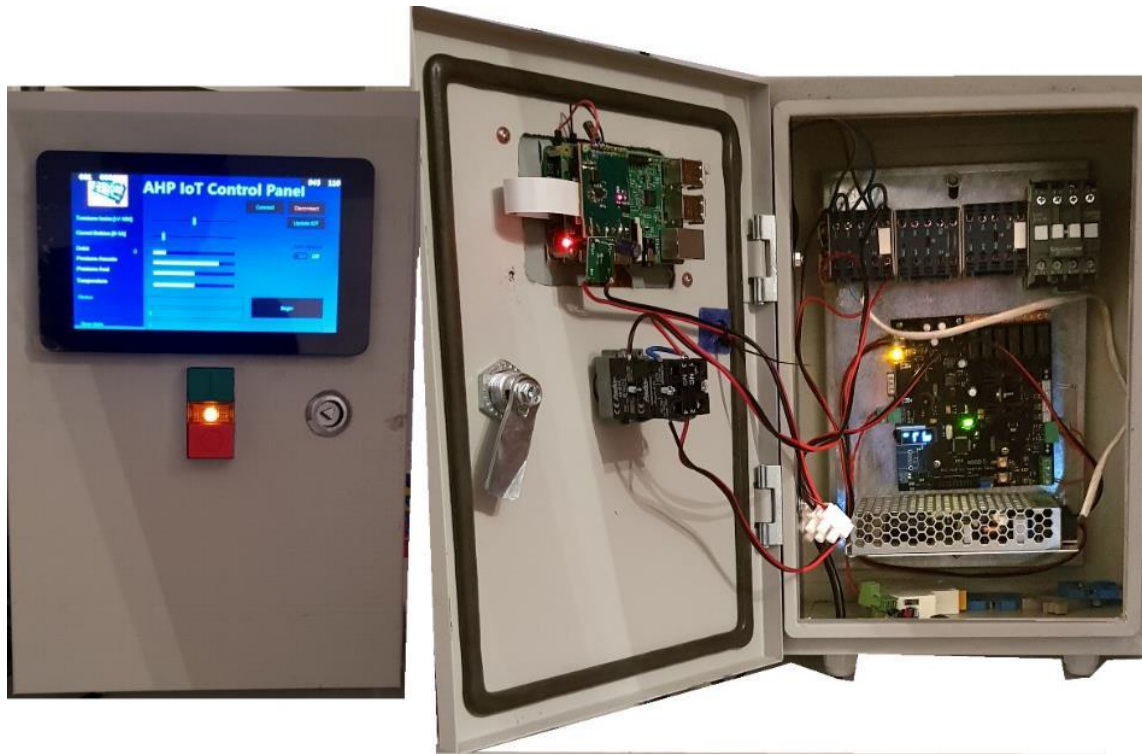


Fig III-15 Varianta cu calculator secundar de control , afișaj și gateway IoT.

Varianta optimă - **varianta 3** (Fig III-16) necesită un calculator complet sau laptop. Această soluție este costisitoare dar performanțele (ușurința de modificat programe de lucru și posibilitățile de procesare a valorilor achiziționate) sunt foarte ofertante. Ea este de preferat în faza de cercetare, în condiții de laborator.

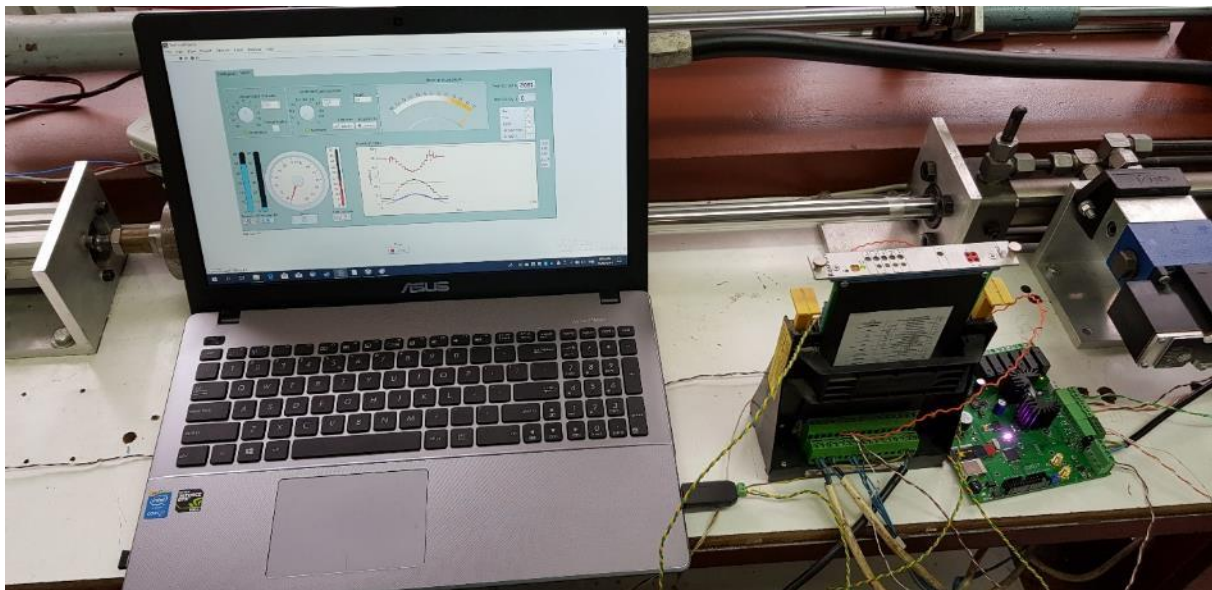


Fig III-16 Varianta cu calculator / laptop și LabView.

III.2.3 Exemple de sisteme hidraulice în care a fost integrat grupul de generare a energiei hidraulice conceput și realizat

Grupul de generare a energiei hidraulice inteligent prezentat în paragrafele anterioare deservește mai multe standuri experimentale, existente în laboratorul “Acționări, automatizări și robotică” din Departamentul de Mecatronică și Mecanică de Precizie. Dintre acestea pot fi amintite:

1. Sistem de poziționare hidraulic de precizie;
2. Sistem de reglare a turației unui motor hidraulic rotativ de tip Danfos;
3. Stand hidraulic pentru determinarea experimentală a densității fluidului de lucru.

În Fig III-17 este prezentată o schemă funcțională care pune în evidență cele trei sisteme hidraulice amintite mai sus. Energia hidraulică necesară este furnizată de grupul de generare a energiei hidraulice inteligent GGEHI care se cuplează cu sistemele deservite prin intermediul repartitoarelor RP (pentru alimentarea cu presiune) și RT (pentru conectarea la rezervor) și al unor robinete R_i , câte unul pentru fiecare cale.

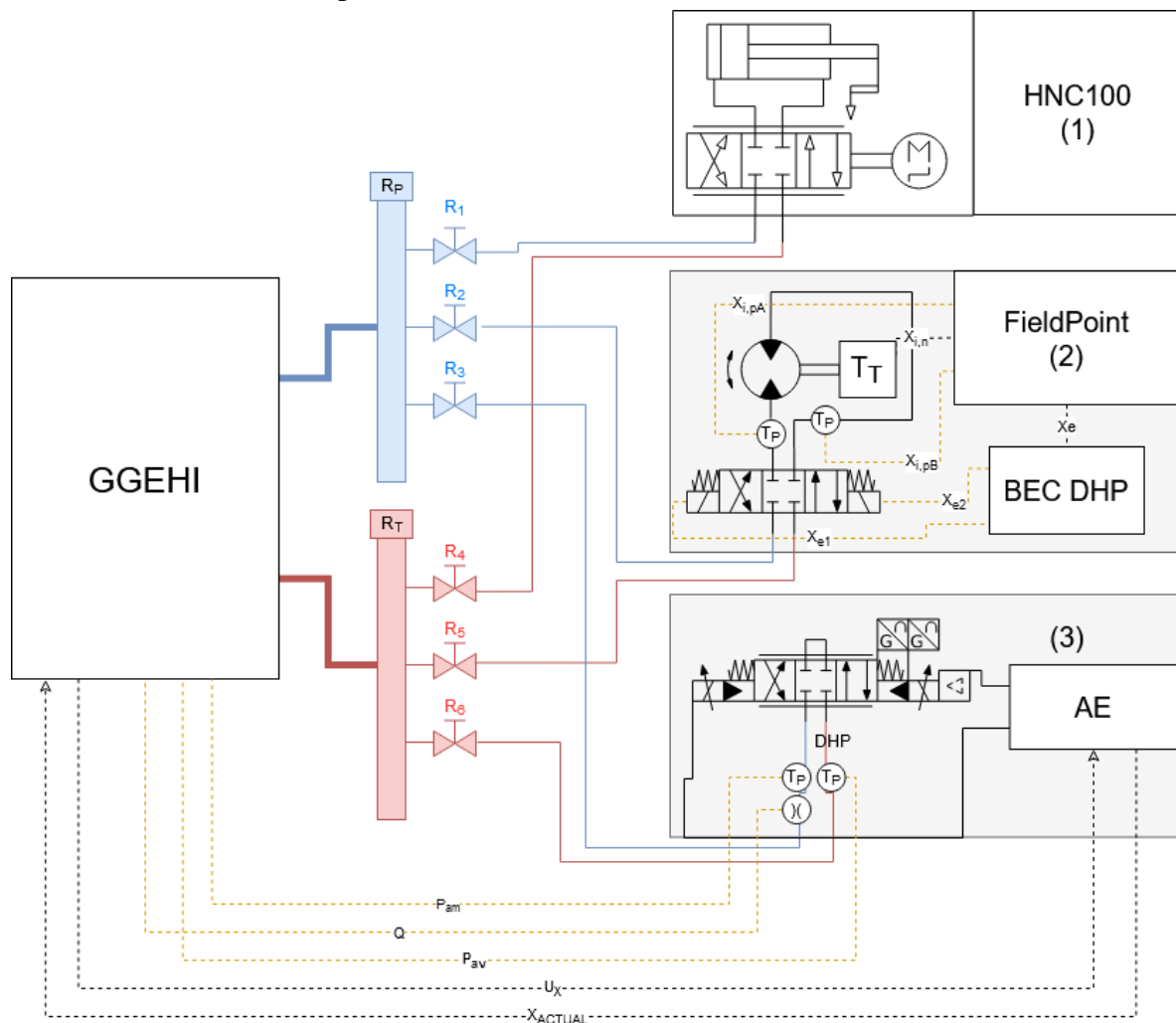


Fig III-17 Sistemele deservite de GGEHI

Cele trei sisteme deservite de grupul de pompare inteligent au rolul didactic de a evidenția varietatea de consumatori ce se pot atașa acestuia. Primele două funcționează independent de GGEHI urmând proprii algoritmi, diferența dintre ele fiind dată de controlerul utilizat, după cum urmează:

- sistemul (1) folosește un controler dedicat pentru sisteme de acționare hidraulice (PLC);
- sistemul (2) folosește un automat programabil modular cuplat la un calculator
- sistemul (3) este hibrid, împarte placa de control cu cea a GGEHI pentru comanda amplificatorului hidraulic (AE), iar la rândul său, sistemul deservit conține toate traductoarele necesare funcționării; această arhitectură este neconvențională dar necesară pentru a asigura acuratețea măsurătorilor în acest caz.

1. Sistem de poziționare hidraulic de precizie

Acest sistem (Fig III-18) conține pe lângă grupul amintit, o structură pusă la dispoziție de firma East Electric (ca reprezentant Rexroth Romania) formată din următoarele echipamente:

- un controler programabil și configurabil, model HNC100 (1); acesta poate fi programat și configurat folosind software-ul WinPED; limbajul de programare este similar cu codul G al mașinilor unelte controlate numeric;
- un motor hidraulic liniar (2) cu dublă acțiune și tijă bilaterală MHL;
- un traductor de poziție TPOZ (3);
- un distribuitor hidraulic proporțional DHP (4), cu reacție de poziție și electronica aferentă integrată în construcția sa.

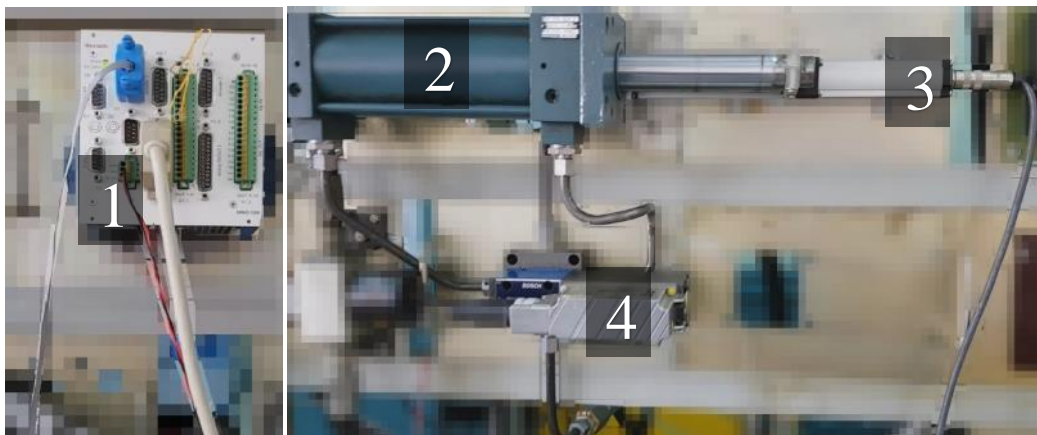
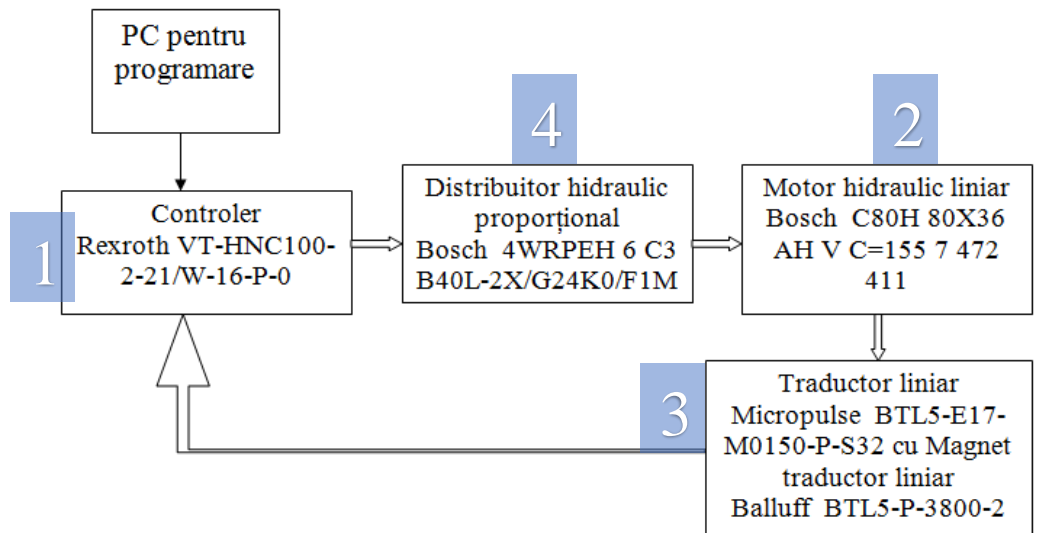


Fig III-18 Sistem de poziționare hidraulic

Legendă: (1)controler HNC100, (2)piston, (3)traductor de poziție, (4)distribuitor hidraulic

2. Sistem de reglare a turației unui motor hidraulic rotativ de tip Danfos

Schema funcțională a sistemului este prezentată în Fig III-19. În această structură se pot identifica următoarele echipamente:

- *MHR* – motor hidraulic rotativ;
- *DHP* – distribuitor hidraulic proporțional;
- T_{pA} , T_{pB} – traductoare de presiune;
- T_n – traductor de turație;
- T_q – traductor de debit;

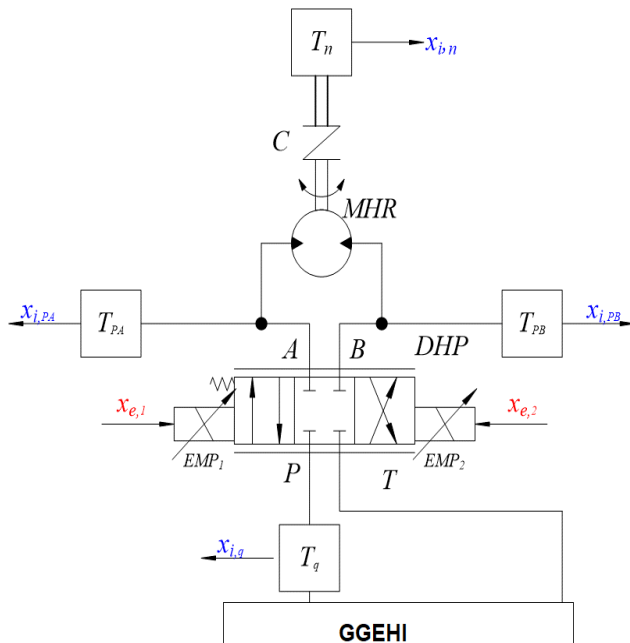


Fig III-20 Structura sistemului deservit [26]

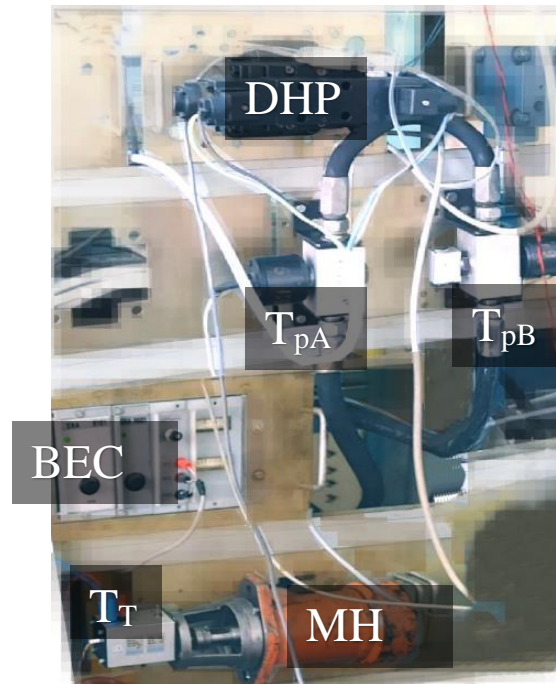


Fig III-19 Sistem de reglare a turației unui motor hidraulic rotativ

Standul (Fig III-20) este deservit tot de acest grup de generare. Circuitul hidraulic este simplu, format dintr-un distribuitor hidraulic DH proporțional la consumatorii cărui este conectat un motor hidraulic (MH), cu două traductoare de presiune cu puntea Wheatstone (T_{p1} și T_{p2}) câte unul pe fiecare circuit. Motorul hidraulic are pe ax montat un traductor de turație T_T iar distribuitorul hidraulic este controlat de blocul electronic de comandă BEC. [19].

3. Stand hidraulic pentru determinarea experimentală a densității fluidului de lucru

Pentru a putea determina experimental densitatea uleiului mineral, folosit ca mediu de lucru în sistemele hidraulice, a fost proiectat și executat un stand experimental prezentat, ca schemă funcțională, în Fig III-23.

Standul propus este alcătuit din următoarele echipamente:

- supapă proporțională, SP;
- distribuitor 3/2 cu poziție preferențială și control electronic, DHC;
- distribuitor proporțional DrP;
- traductor de debit T_q ;
- traductoare de presiune T_{pAV} și T_{pAM} ;
- traductor de temperatură T_T ;
- sistem de achiziție și control BEAC.

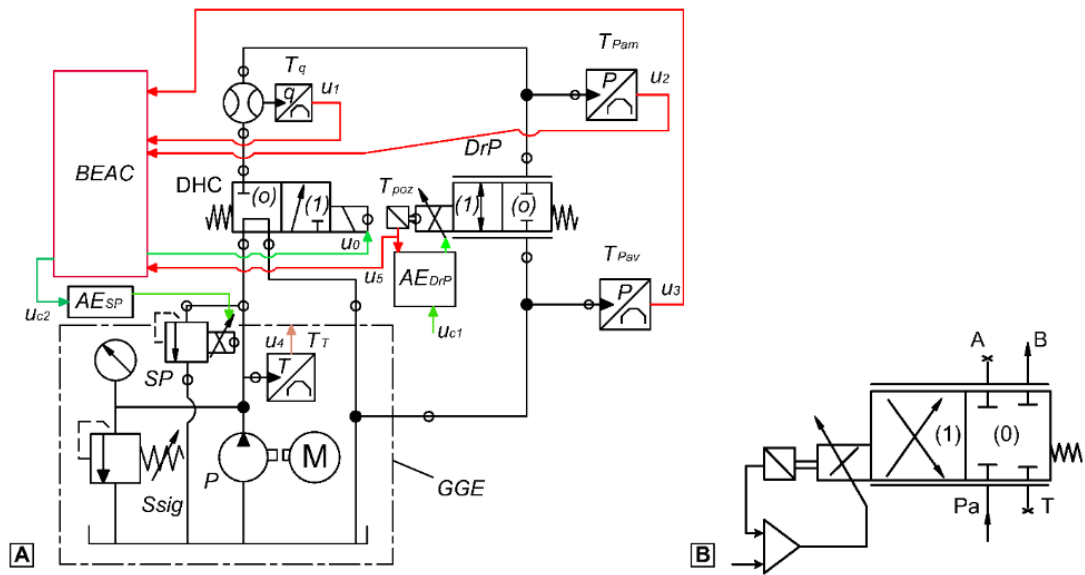


Fig III-21 Structură stand experimental (A); supapă proporțională (B)

III.3 Grup inteligent de generare a energiei hidraulice cu puterea de 15kW

Acest grup este unul modern și deosebit de performant, lucru care își pune amprenta asupra prețului de achiziție. El este dotat cu un regulator de debit și presiune și funcționează independent, ca un sistem clasic hidraulic de control.

Pentru o funcționare optimă este necesar un bloc electronic care să realizeze alimentarea cu energie electrică dar și o serie de funcții de protecție. Firma producătoare pune la dispoziția clienților și partea electronică aferentă dar datorită faptului că bugetul alocat la momentul respectiv pentru achiziția grupului de generare a energiei hidraulice nu a fost suficient, s-a decis proiectarea părții electronice cu resurse proprii.

În circuit există trei consumatori mari de energie electrică care au nevoie de contactoare de putere pentru a-i controla, și anume:

- un motor cu putere de 15kW și pornire stea-delta;
- un motor de 1kW ce deservește pompa auxiliară de recirculare și răcire;
- o rezistență de încălzire a uleiului de 700W , alimentată tot trifazic.

În Fig III-51 este prezentată o imagine cu releta de conexiuni a motorului de 15kW ce antrenează arborele pompei. Cele șase borne sunt capetele celor trei bobine din statorul motorului; bobinele sunt notate U, V și W. Fiecare terminal al bobinei are indicele 1 sau 2 reprezentând extremitățile acesteia.

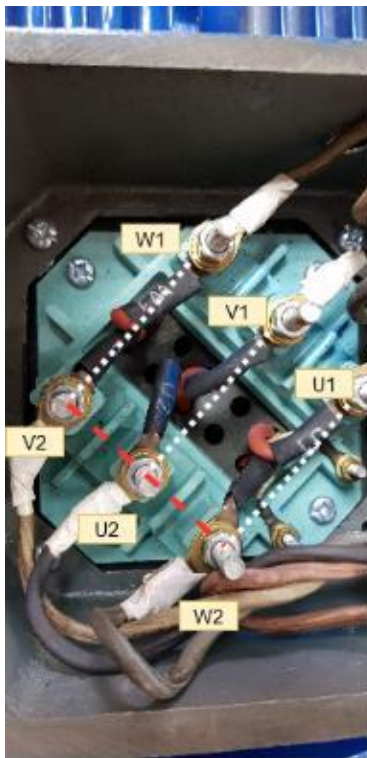
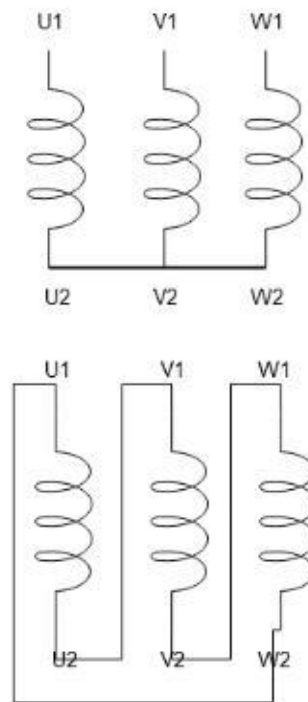


Fig III-22 Bornele de alimentare



Alimentarea motorului trebuie să fie realizată cu succesiunea corectă de faze (U-V-W) aplicate pe terminalele bobinelor U1, V1, W1 pentru a avea direcția de rotație corectă. Perechile lor U2, V2, W2 trebuie să fie configurate pentru dispunerea în stea (marcat cu roșu punctat pe figură) sau delta (cu alb).

Schema de control poate fi realizată în mai multe variante: cu releu, cu microcontroler cu automat programabil PLC sau cu un calculator și o placă de achiziție. În Fig III-52 este prezentat circuitul de putere minim necesar pentru pornirea și oprirea grupului de pompare și a accesoriilor, în varianta în care s-a optat pentru o schemă de control cu automat programabil. În figura următoare (Fig III-53) este prezentată schema electrică detaliată ce trebuie implementată inițial pentru a putea Porni/Opri grupul de pompare.

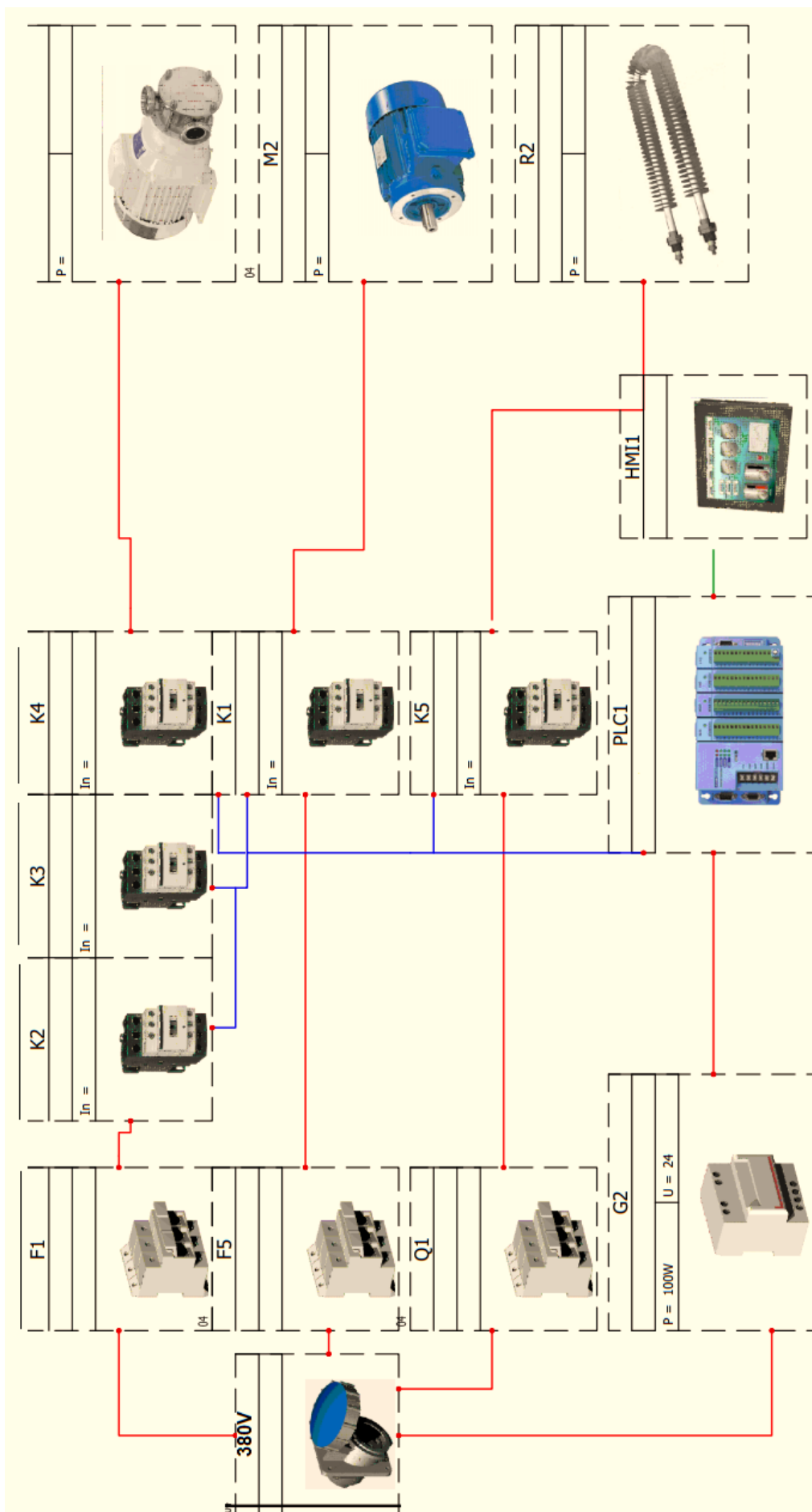


Fig III-23 Diagrama de control simplificată propusă

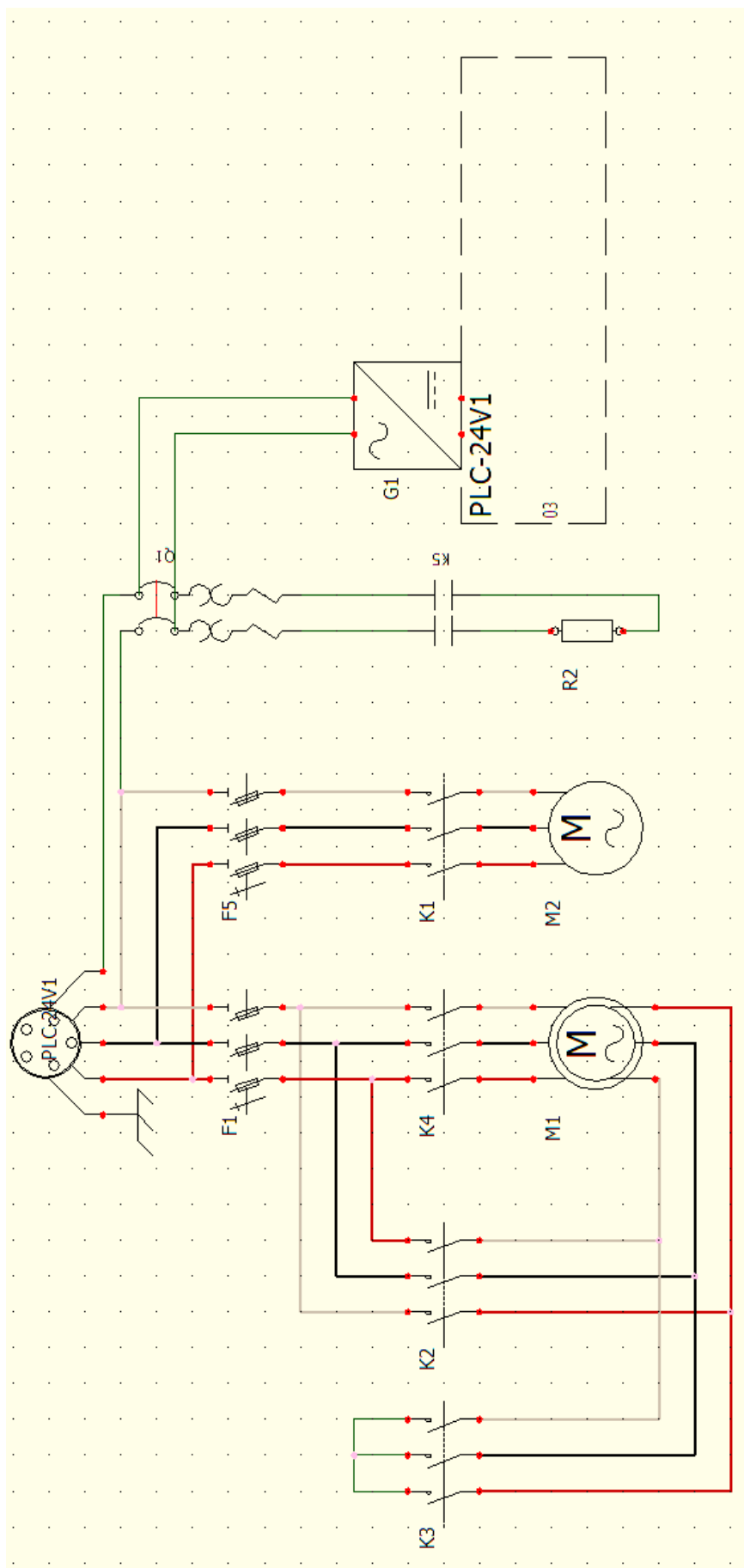


Fig III-24 Schema electrică pentru interfața cu elementele de putere

IV. CERCETĂRI TEORETICE ALE GRUPURILOR INTELIGENTE DE GENERARE A ENERGIEI

IV.1.1 Dimensionarea pompei

Așa cum s-a menționat deja, pompa integrată în structura grupurilor de pompare modificate este cu roți dințate. Primul grup, cel vechi, are o pompă cu angrenare exterioară respectiv cel modern are pompa cu angrenare interioară.

Pentru cel de-al doilea grup fișa tehnică a pompei este disponibilă fiind mai nouă spre deosebire de cea a primului grup. Nici firma producătoare, Bosch, nu a putut furniza date concrete, ci doar o foaie tehnică a unei pompe similare pe care să o consideram referință, după lungi căutări în arhive.

Astfel, în cele ce urmează s-au cercetat și elaborat metode de a determina cilindrul unei pompe, dacă se cunosc câțiva parametri constructivi prin simpla demontare. Aceste metode sunt originale și au fost publicate deja [20] [21].

Au fost identificate mai multe metode de determinare pe cale teoretică a cilindrului care vor fi prezentate în cele ce urmează. În funcție de cilindrul se poate calcula debitul instantaneu al pompei cu următoarea relație:

$$q_p = 10^{-3} \cdot V_{gP} \cdot n \text{ [l/min]}$$

unde n reprezintă turația arborelui motorului de antrenare, exprimată în [rot/min].

➤ Metoda 1

Metoda presupune calculul cilindrului folosind relația:

$$V_{gP} = (2 \cdot V_g - V_{min}) \cdot z$$

$$V_{gP} = 2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 3^2 \cdot 12 = 5654 \text{ mm}^3 = 6.785 \text{ cm}^3$$

➤ Metoda 2 presupune calculul ariei prin adunarea ariilor unor forme geometrice simple

Varianta 1: Pe baza acestui algoritm a fost implementată o funcție în mediul de programare Matlab care a returnat următoarele rezultate: $V_d = 347.2504 \text{ mm}^3$, $V_g = 442.8759 \text{ mm}^3$, $V_{gP} = 8.8575 \text{ cm}^3$.

A doua variantă de calcul presupune ca și în cazul primei variante împărțirea dintelui în n elemente de volum ΔV_i . Pentru $n=2000$ iterații s-au obținut următoarele rezultate:

$$V_d = 291.716 \text{ mm}^3, V_g = 366.723 \text{ mm}^3, V_{gP} = 7.3345 \text{ cm}^3.$$

A treia variantă presupune calculul secțiunii unui dinte (fig. IV-1) după cum urmează:

$$S_d = 2 \cdot (S_1 + S_2 + S_3)$$

Folosind această metodă se obțin următoarele rezultate: $V_d = 350.1388 \text{ mm}^3$, $V_g = 439.9875 \text{ mm}^3$, $V_{gP} = 8.7997 \text{ cm}^3$.

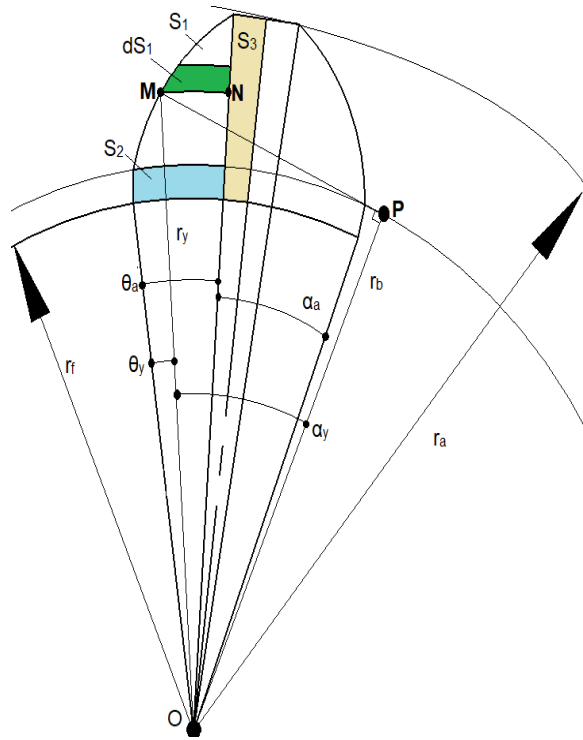


Fig IV-1 Varianta 3

➤ Metoda 3

Această metodă presupune realizarea în mediul de proiectare asistată de calculator (CAD) SolidWorks a desenului unei roți dințate pentru care elementele geometrice sunt cele precizate în tabelul 1. În Fig IV-2 este prezentat modelul 3D obținut, pentru care se poate determina suprafața unui dinte și volumul unui gol. În acest caz rezultatul final este de 442.898 mm²

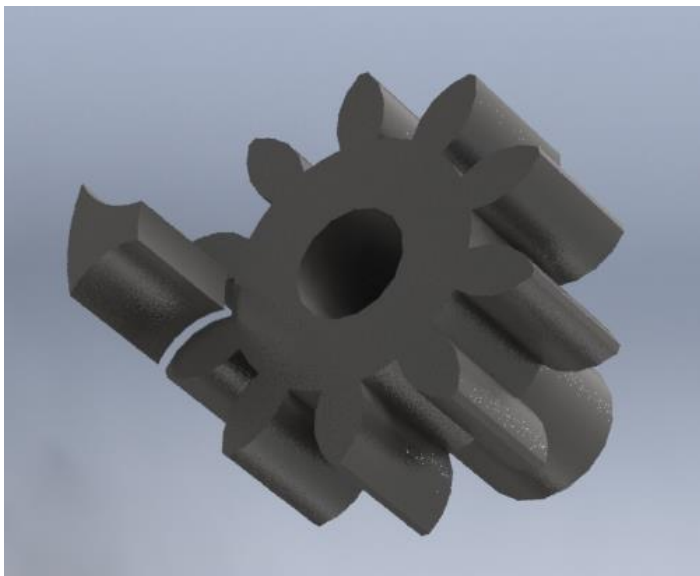
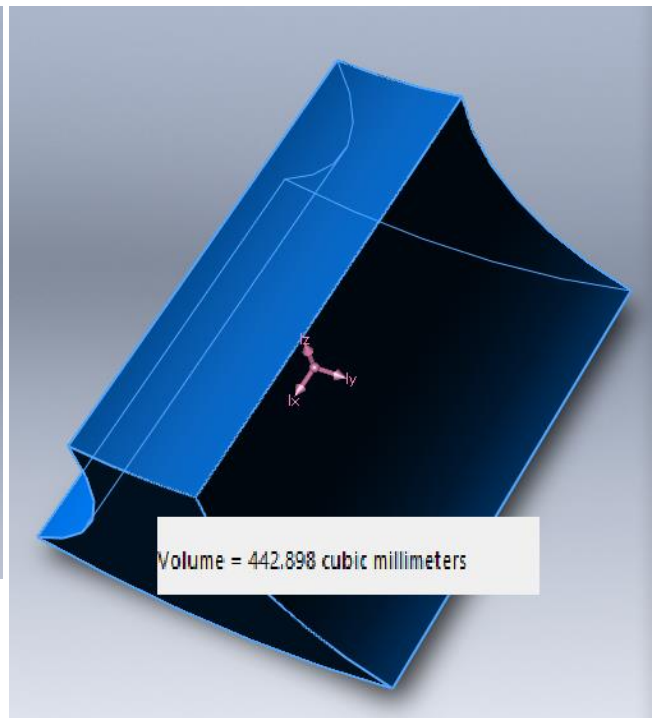


Fig IV-2 Determinarea secțiunii cu SOLIDWORKS



➤ **Metoda 4**

În cele ce urmează se va face referire la schema de principiu din Fig IV-3. În această figură pinionul conducător I antrenează în mișcare de rotație, în sensul figurat, pinionul condus 2. Punctul de contact a doi dinți este la un moment dat în M .

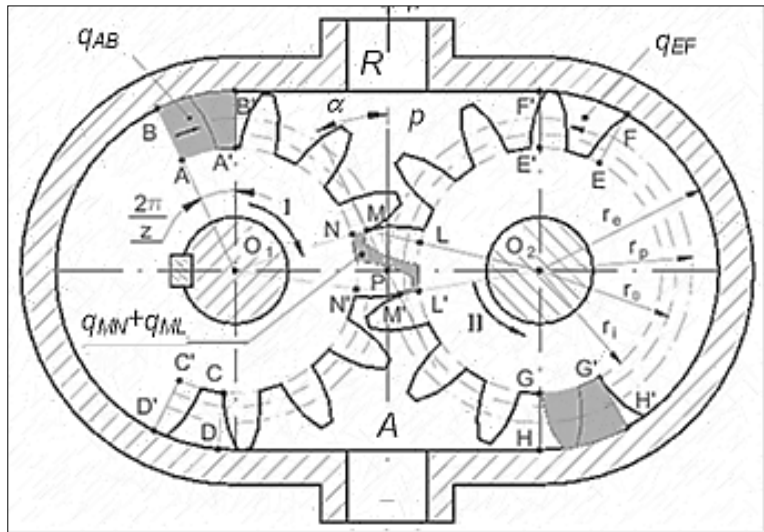


Fig IV-3 Schema de principiu

Debitul instantaneu refulat se calculează cu relația:

$$q_i = q_{AB} + q_{EF} - q_{LM} - q_{MN}$$

Debitului mediu a fost calculat în teză și este:

$$\bar{q}_P = 1.5081 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \left[\frac{cm^3}{s} \right] = 9.4757 \cdot n \left[\frac{cm^3}{min} \right]$$

Deci se poate afirma faptul că pentru această pompă cilindră are valoarea de 9.4757 cm^3 .

➤ **Metoda 5**

S-a decis proiectarea unui stand experimental în concepție proprie, care implică: un motor pas cu pas pentru angrenarea roților dințate, o cameră pentru a captura imagini, procesare de imagini în Matlab, interfațarea acestora făcându-se cu un calculator mono-placă de tip Raspberry Pi (Fig IV-4).

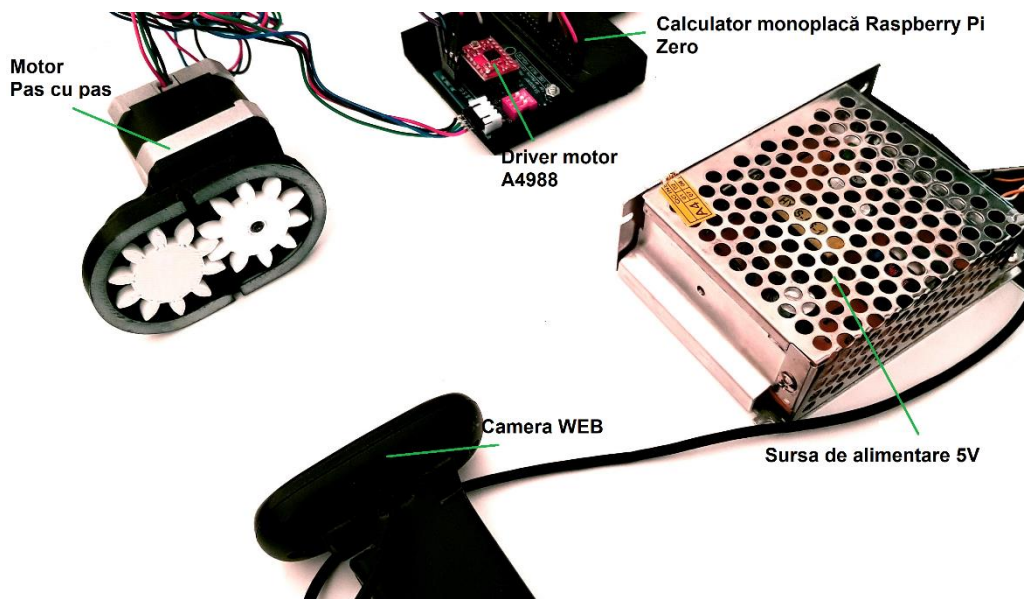


Fig IV-4 Stand experimental procesare imagine [21]

Pompa poate fi demontată parțial pentru a putea filma direct mișcarea roților dințate sau se poate crea o pompă cu parametrii geometrici identici la o imprimantă 3d.



Fig IV-5 Etapele parcurse de algoritm [21]

Imaginile primite de la acest stand sunt prelucrate pentru a face analiza volumelor active mai ușoară. La început prima imagine este decupată pentru a exclude elementele irelevante studiului. Motorul pas cu pas primește apoi comanda de rotație continuă cu viteză constantă și începe captura propriu-zisă a mișcării roților dințate.

Toate imaginile sunt apoi procesate similar cu Fig IV-5, direct după decupare, apoi zona de interes este transformată din imagine color în alb-negru, urmată de combinarea imaginilor.

Punctul de interes selectat este folosit de program pentru a efectua operațiunea de umplere „Fill” a imaginilor alb-negru. Apoi rezultatul este trecut prin operațiunea de Sau Exclusiv (Xor) cu imaginea originală pentru a se înregistra diferențele.

Pe această matrice se aplică funcția Matlab „nnz” (număr de elemente non-zero) ce numără toate căsuțele cu valoarea diferită de 0; această matrice este folosită și pe post de „mască” pentru a afișa grafic rezultatul (Fig IV-6).

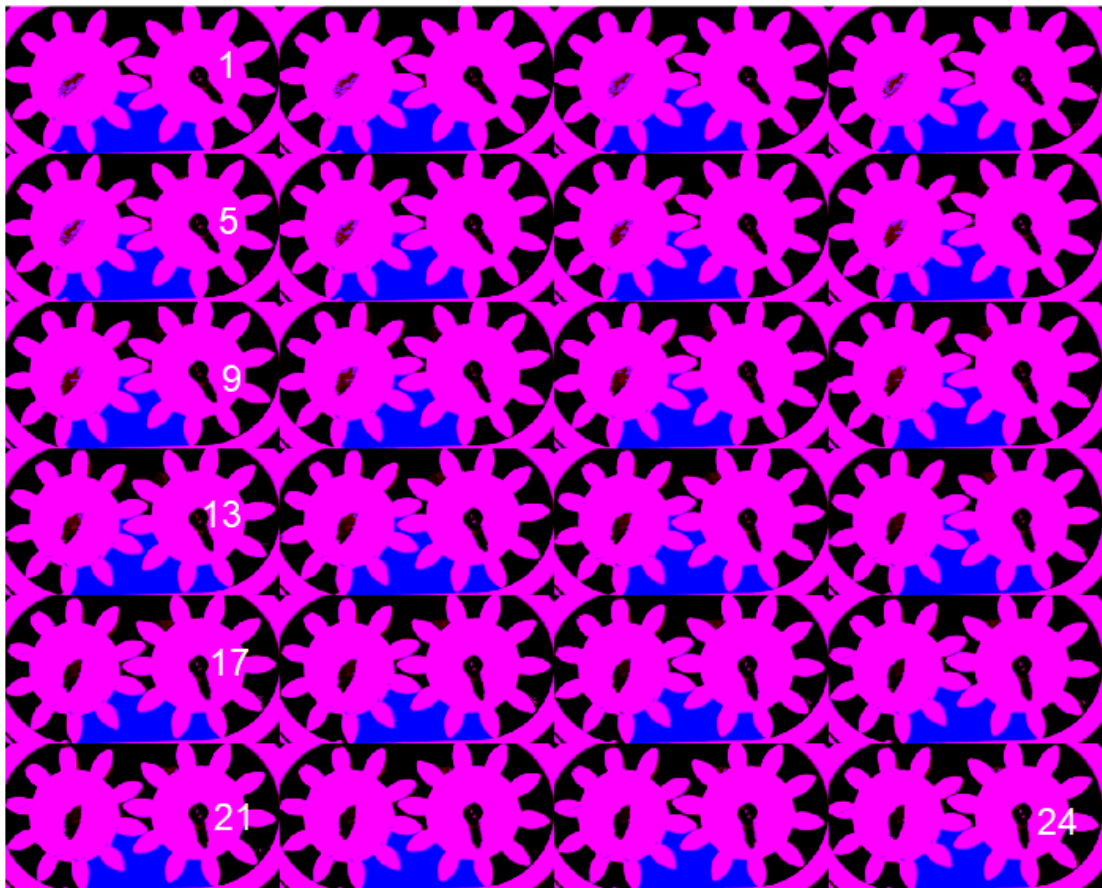


Fig IV-6 Rezultatul grafic obținut [21]

Numărul de pixeli obținut este ulterior înmulțit cu o constantă ce reprezintă „pixeli pe mm pătrat”, cu scopul de a avea rezultatul sub forma unei arii în mm^2 .

Înmulțind ulterior aceasta arie cu lățimea flancului dinților se obține un volum. Rezultatul obținut este vizibil în Fig IV-8 sub forma unui grafic cu variația în timp a numărului de pixeli, în stânga și a volumului normalizat, în dreapta.

Studiul volumului aflat între doi dinți consecutivi este de asemenea realizabil fără schimbarea algoritmului. Rezultatul grafic este afișat în Fig IV-7 cu estimarea cilindrului pompei în partea din dreapta..

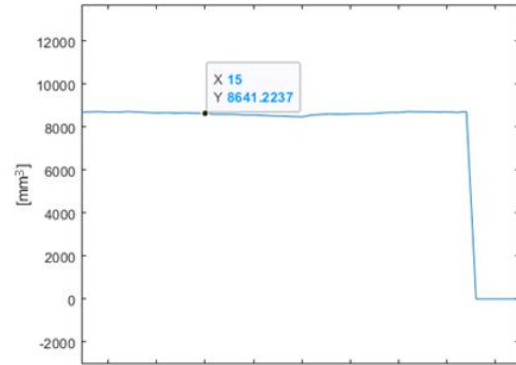
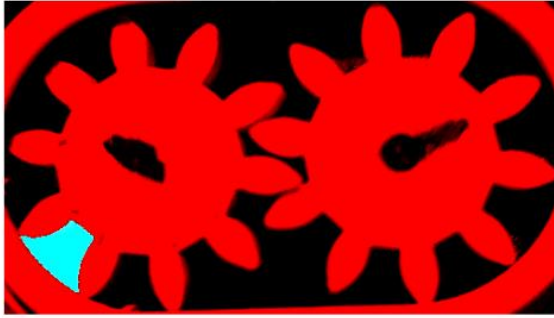


Fig IV-7 Volumul aflat între doi dinți consecutivi și rezultatul estimării cilindrului cu acesta [21]

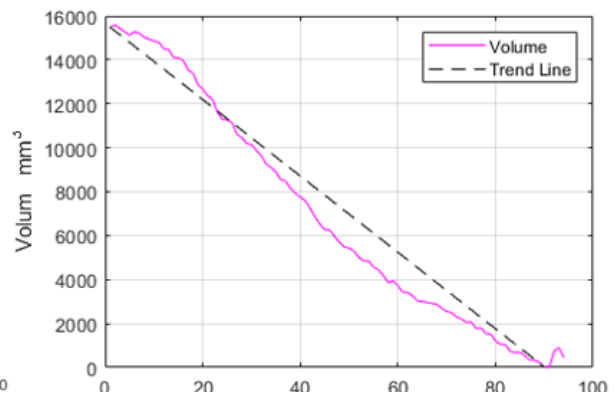
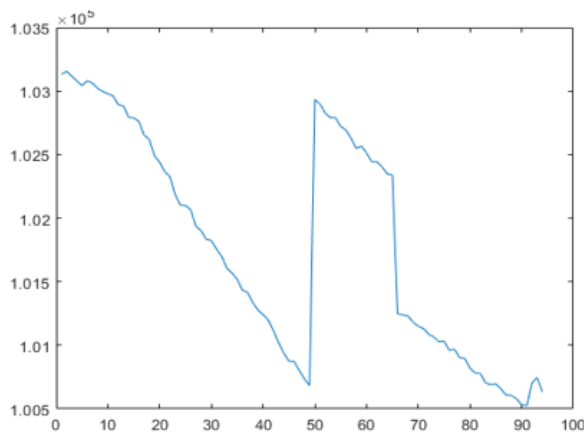


Fig IV-8 Rezultate grafice a) număr pixeli

b) volum cu linia de tendință ca referință [21]

➤ Metoda 6

Un algoritm original a fost scris în Matlab pentru a desena roata dințată completă utilizând doar formule matematice specifice și un algoritm special. Determinarea volumului golurilor dintre doi dinți cu metoda anterioară este interactivă și s-a dorit reproducerea acestui efect și în cazul determinărilor matematice.

Rezultatul algoritmului se poate observa în figura IV-9. Algoritmul a determinat volumul ocupat de un dinte a fi 253.06 mm^3 respectiv cilindreea valoarea de 8.51 cm^3

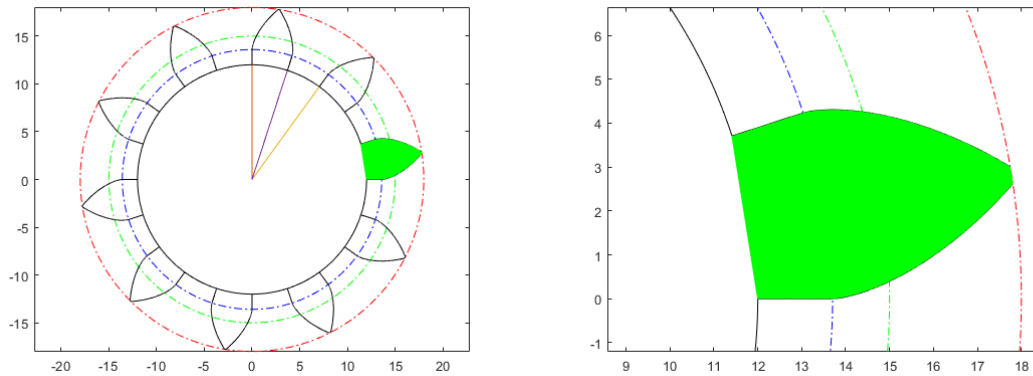


Fig IV-9 Rezultat grafic (în zona verde sunt numeroase dreptunghiuri, ariile lor fiind însumate)

➤ Concluzii

Rezultatele obținute prin metodele prezentate sunt centralizate în tabelul IV-1.

Tabel IV-1

Metoda	Volumul unui dinte $V_d [\text{mm}^3]$	Volumul unui gol $V_g [\text{mm}^3]$	Cilindreea $V_{gp} [\text{cm}^3]$
Metoda 1	-	-	6.785
Metoda 2			
- Varianta 1	347.2504	422.8759	8.8575
- Varianta 2	350.0588	440.0675	8.8013
- Varianta 3	350.1388	439.9875	8.7997
Metoda 3	350.1323	439.9940	8.7999
Metoda 4	350.244	442.898	9.4757
Metoda 5	-	428.7	8.574
Metoda 6	253.0656	425.5176	8.5104

Valorile obținute prin cele șase metode sunt apropiate de cea furnizată de producător, de 8.6 cm^3 , valoare determinată tot experimental.

IV.1.2 Elaborarea modelului matematic

S-a urmărit elaborarea unui model matematic cât mai complet, evitându-se pe cât posibil utilizarea unor ipoteze simplificatoare. Modelul matematic s-a stabilit corelat cu notațiile din figura IV-10.

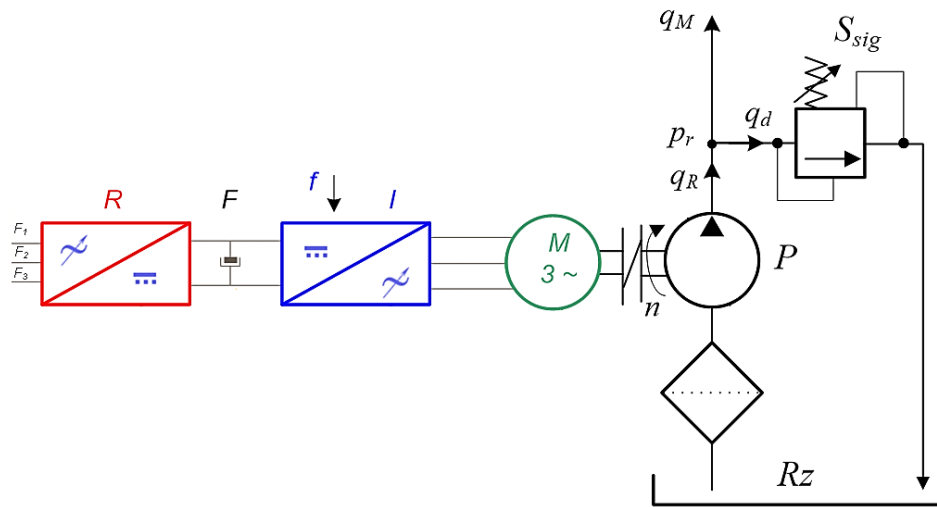


Fig IV-10 Schema de principiu a grupului hidraulic de pompare

IV.1.3 Simulare numerică a funcționării grupului

Pentru integrarea numerică a modelului matematic se folosesc mediile de simulare Matlab Simulink și Amesim. În figura IV-11 este schema bloc a programului realizat în Matlab Simulink.

Programul a fost realizat modular și conține:

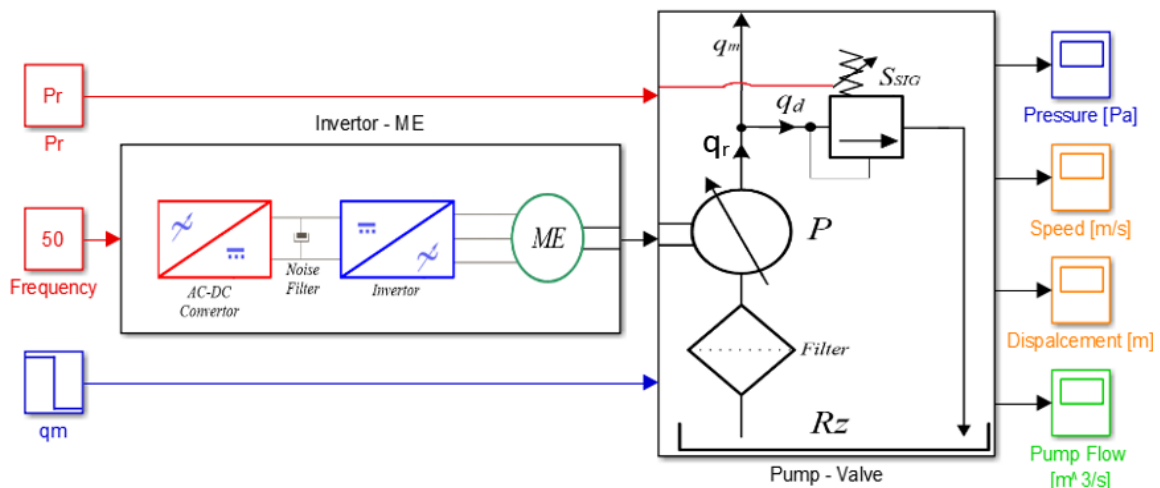


Fig IV-11 Schema de simulare realizată în simulink

- modulul „Parametri de intrare”; acest modul permite setarea presiunii reglate Pr , a debitului motorului q_m și a frecvenței f de comandă pentru invertor;
- modulul „Invertor-Motor Electric” (fig.IV-12);
- modulul „Blocul Pompa-Supapa de siguranță” (fig.IV-13);

- modulul „Parametri de interes”; acest modul permite vizualizarea parametrilor de interes pentru simulare: presiune, debitul pompei, viteza și deplasarea supapei.

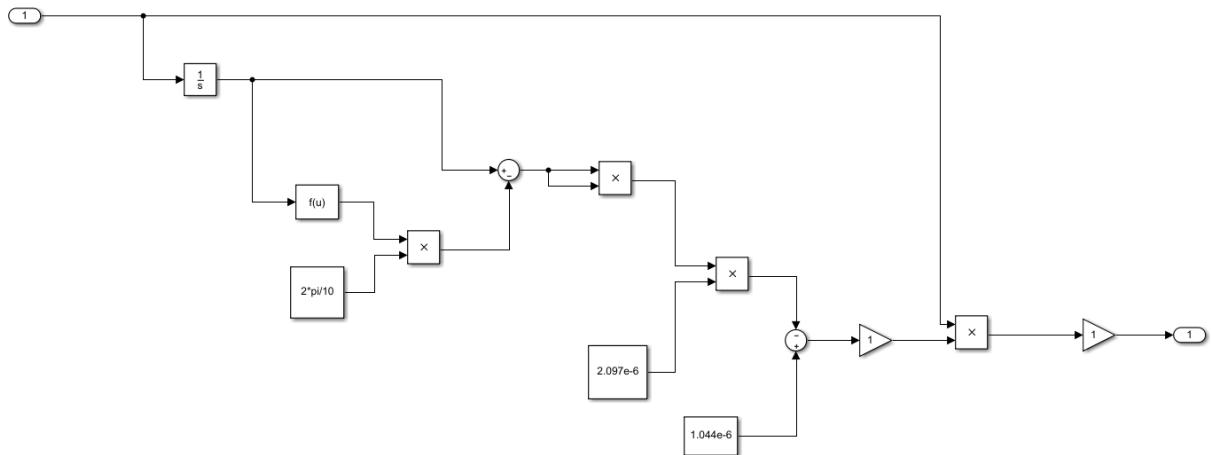


Fig IV-12 Detaliu – bloc inverter și motor electric

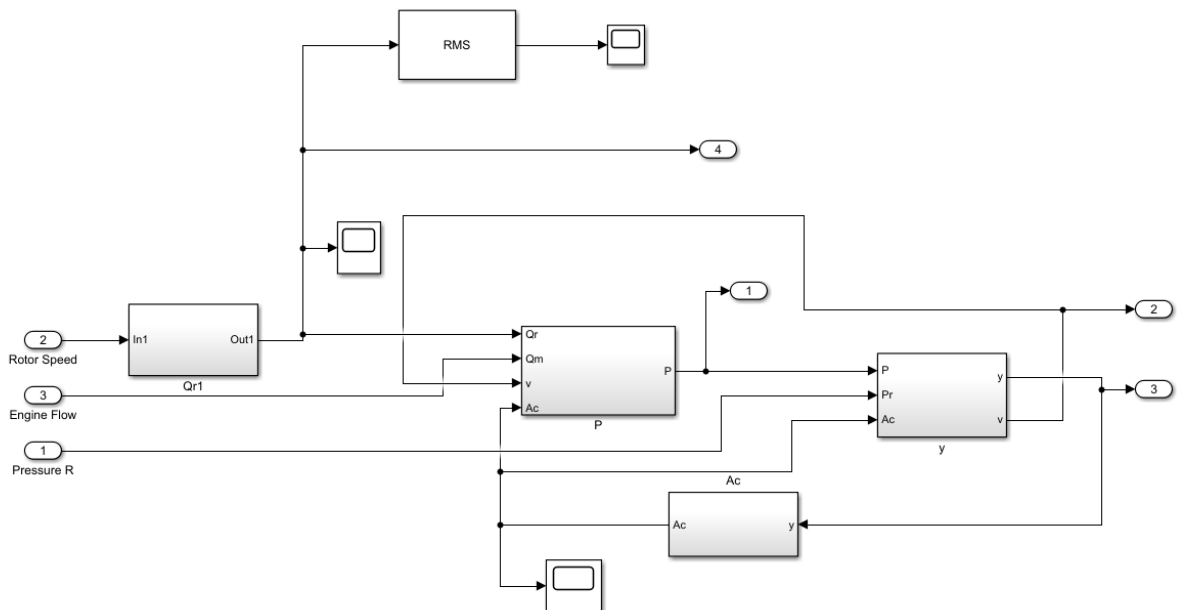


Fig IV-13 Detaliu – bloc supapă de siguranță

În paralel, pentru validarea și consolidarea modelului matematic propus, s-a realizat și un model de simulare în mediul Amesim (fig.IV-14).

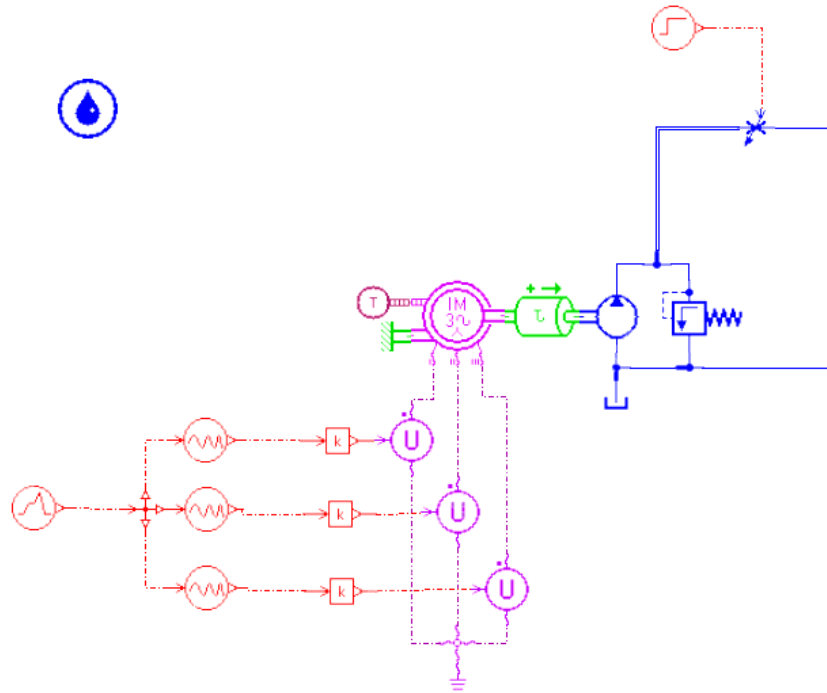


Fig IV-14 Schema realizată pentru simulare

Modelul obținut folosind mediul Mathworks Matlab-Simulink

O altă posibilitate de a simula funcționarea modelelor de grupuri propuse constă în utilizarea extensiei Simscape a mediului de programare Matlab-Simulink.

Modelul obținut (Fig IV-15) permite verificarea efectului introducerii unui motor cu inverter în circuit.

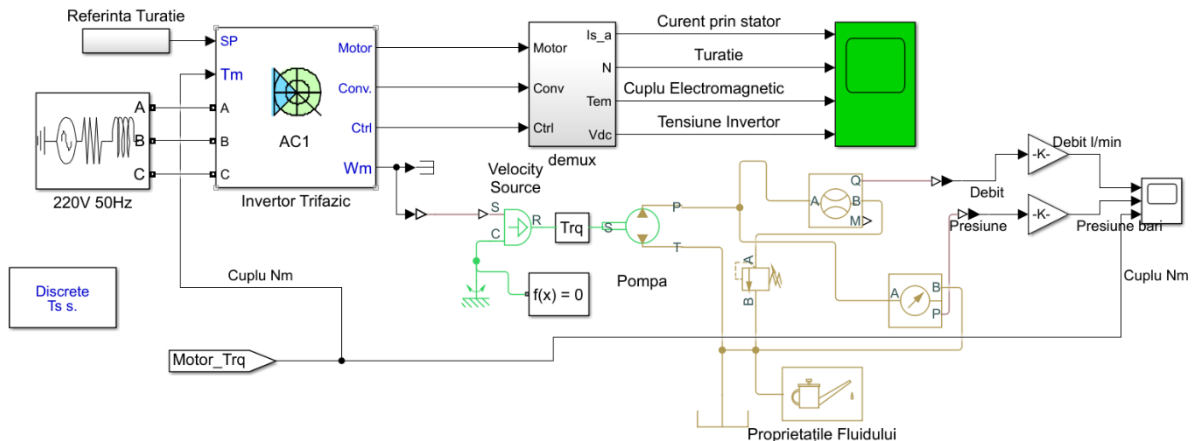


Fig IV-15 Simulare în Matlab Simulink cu extensia Simscape

Analiza teoretică a grupului de generare a energiei a constatat în elaborarea modelului matematic al acestuia. Acest model a fost integrat numeric, folosind atât mediul de programare grafică Matlab Simulink, Matlab Simulink-Simscape, cât și mediul Amesim..

Rezultatele obținute pun în evidență faptul că integrarea inverterului permite controlul turației arborelui de antrenare a pompei prin intermediul frecvenței curentului de alimentare. Prin reglarea turației motorului electric asincron s-au reglat valorile de debit hidraulic la pompa hidraulică cu angrenaj cilindric exterior și s-a obținut variația puterii hidraulice prin metoda volumică.

V. IMPLEMENTAREA MODELELOR DEZVOLTATE ÎN SISTEME DE ACȚIONARE HIDRAULICE INTELIGENTE

V.1 Sistem de reglare a turației unui motor hidraulic rotativ

Caracteristic acestui sistem este faptul că turația motorului hidraulic este controlată prin intermediul debitului refulat de pompă, deci prin metoda volumică [22]. Acest sistem a fost analizat atât sub aspect teoretic cât și experimental. În cele ce urmează sunt prezentate rezultatele obținute.

V.1.1 Analiza teoretică

Analiza teoretică s-a realizat folosind mediul de simulare Amesim [23] și prezintă două scenarii de interes: răspunsul la un semnal treapta și la o variație sinusoidală a comenzii. Modelul obținut este prezentat în figura V-1. Acesta este compus din blocuri grafice, fiecare cu câte un scop bine definit pe baza unor relații de calcul matematice, care împreună formează un sistem hidraulic apropiat de studiat.

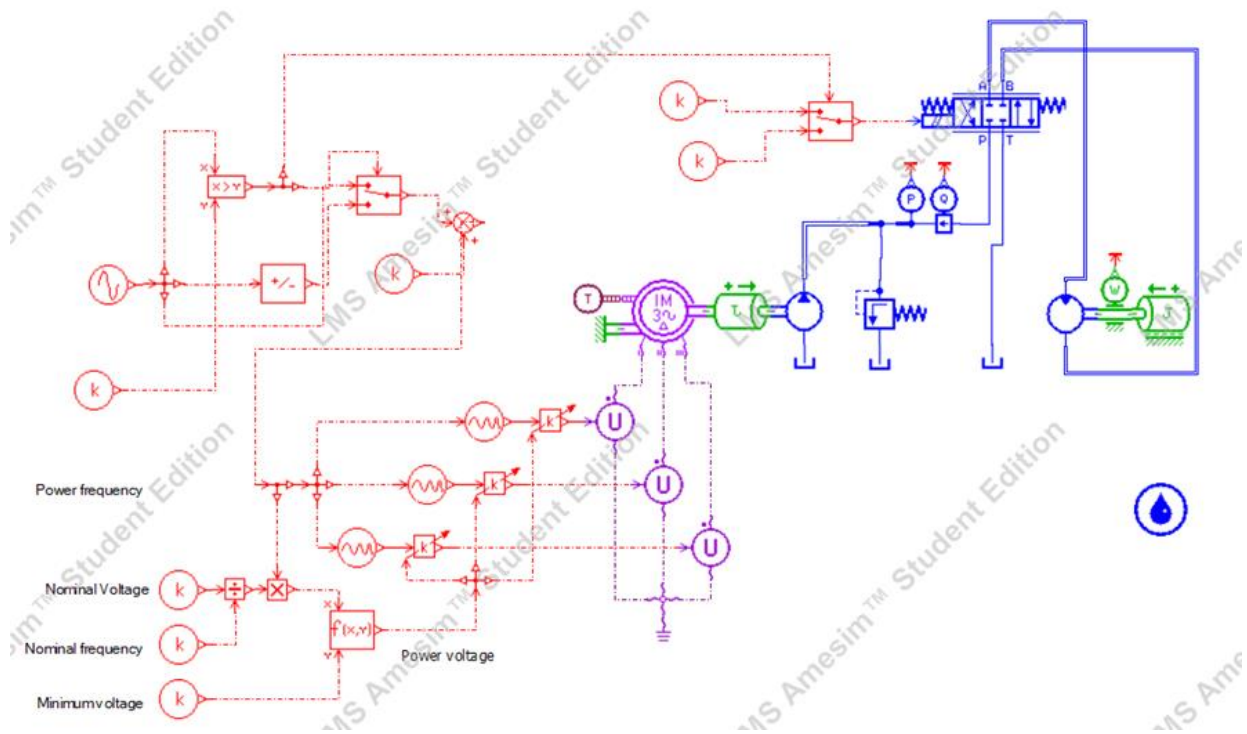


Fig V-1 – Simularea grupului 1

În Fig V-2 sunt prezentate rezultatele obținute în urma simulării.

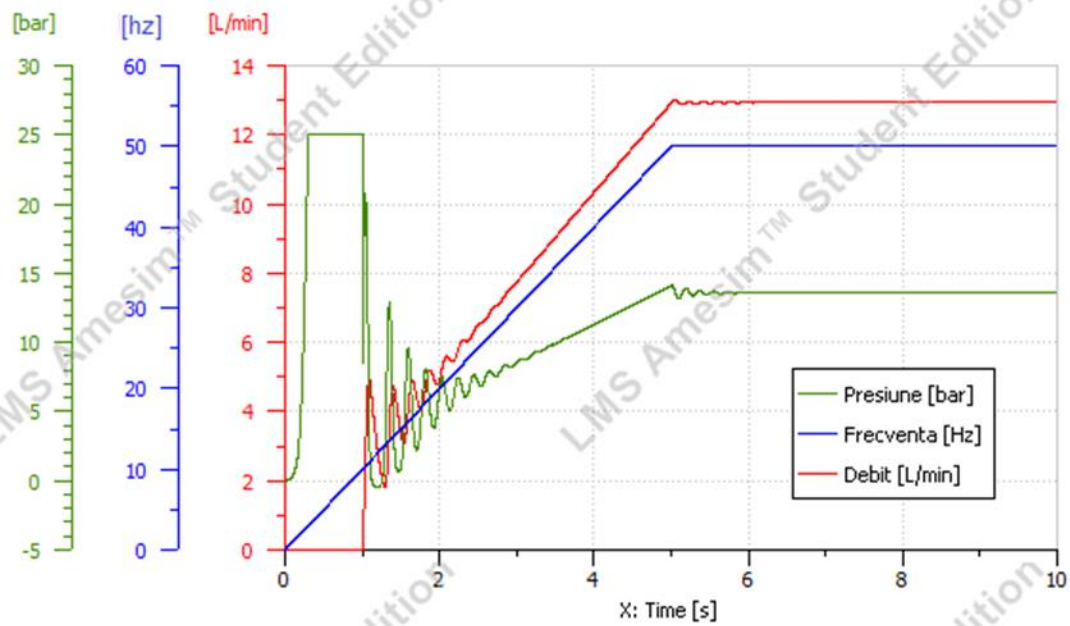


Fig V-2 Amesim Simulator pornire rampa, cu distribuitor clasic inițial închis

În Fig V-3 sunt prezentate rezultatele obținute în situația în care variația frecvenței este sinusoidală. În acest caz frecvența variază între 15 și 50 Hz după fiecare ciclu distribuitorul fiind comutat și astfel inversându-se sensul de rotație al motorului hidraulic. Pe figură sunt prezentate cele două turații, turația motorului electric și respectiv turația motorului hidraulic.

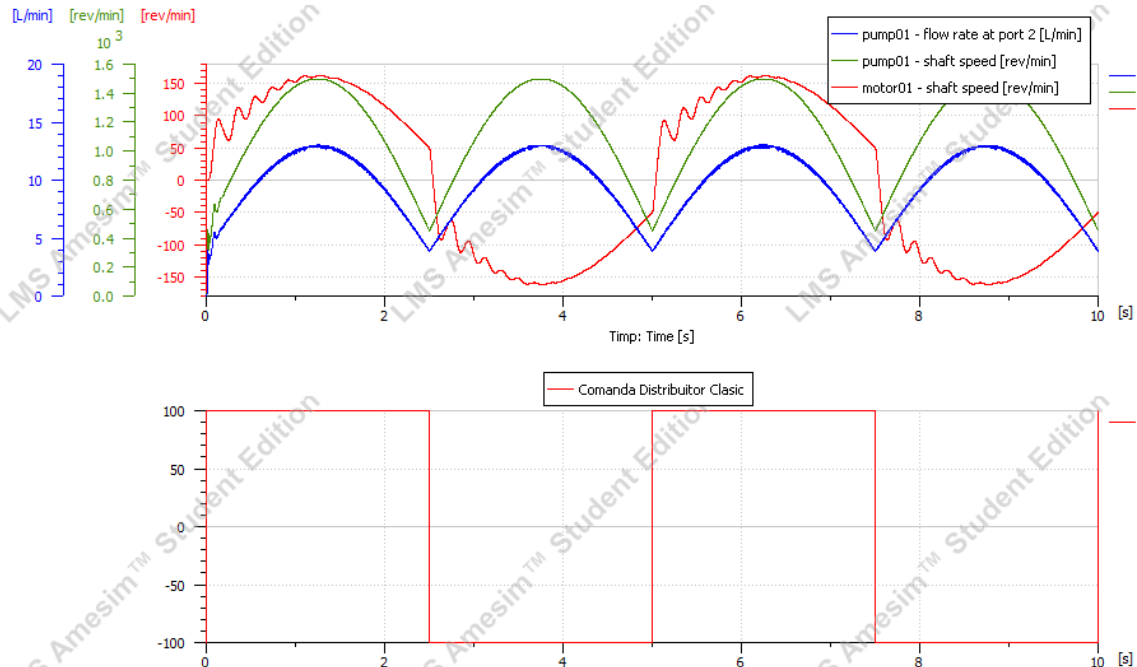


Fig V-3 Grafic pentru răspunsul la semnal sinusoidal

V.1.2 Analiza experimentală

Pentru testarea experimentală a sistemului s-a folosit standul descris în paragraful II.4.1, și acest lucru a presupus realizarea unor programe de lucru. Aceste programe permit comanda inverterului, a distribuitorului precum și achiziția datelor de la traductoarele prezente în sistem.

S-a pornit cu realizarea unei interfețe grafice în LabView pentru a controla prima variantă de inverter, și anume cea în care nu există placă separată de achiziție (Fig III-5). Această variantă (Fig V-4) este foarte simplă, și are următoarele elemente: buton de pornire (Power) și de limitat curentul de fugă (Inrush), un buton rotativ de setat frecvența (Desired frequency), buton care realizează o scădere automată (auto-decrement), buton de oprire și cinci afișaje grafice: Turația motorului pompei (RPM), Presiunea măsurată, Tensiunea de pe bancul de condensatori sub forma unui ceas și sub forma de grafic respectiv temperatura inverterului sub forma unui grafic.

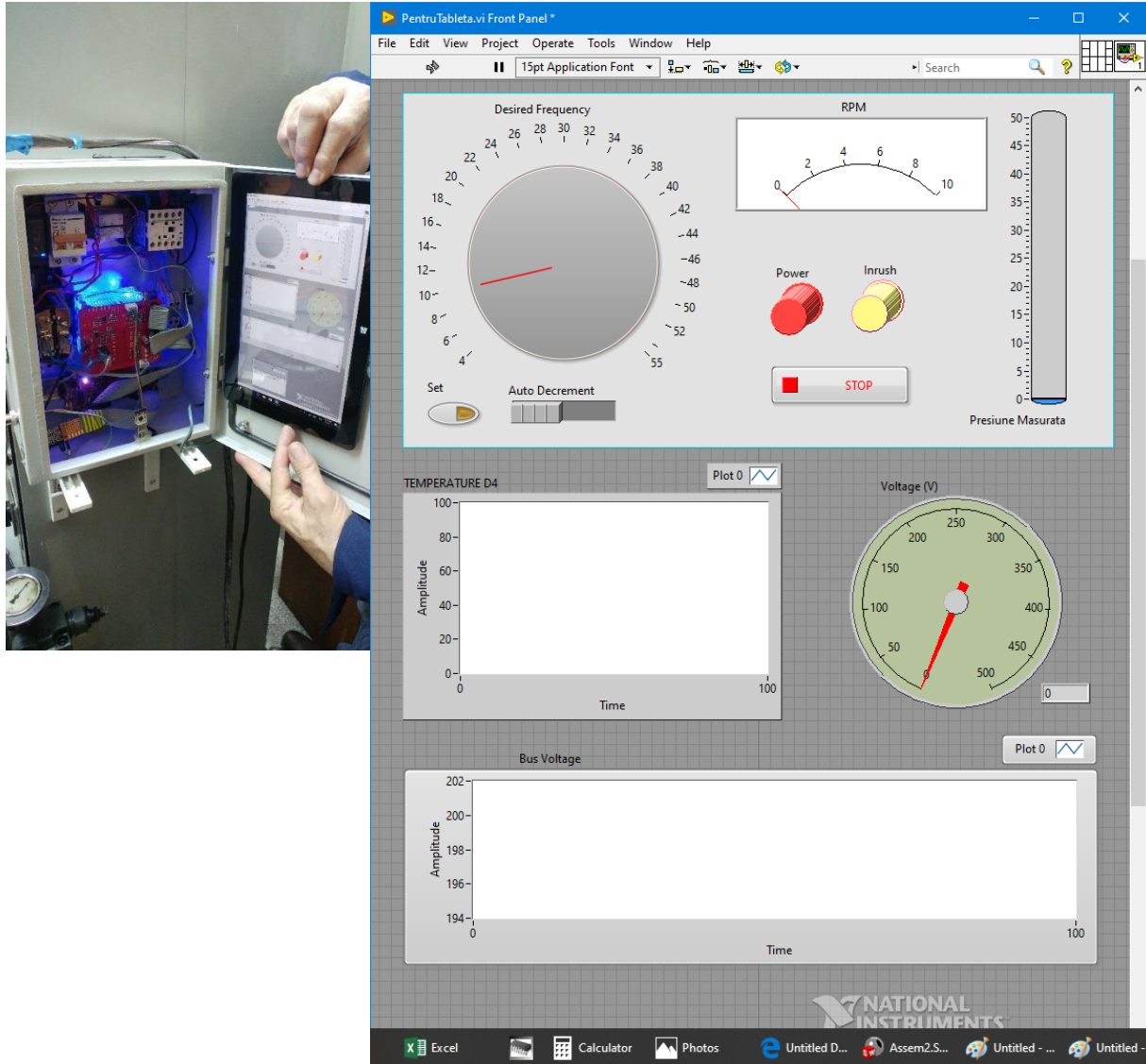
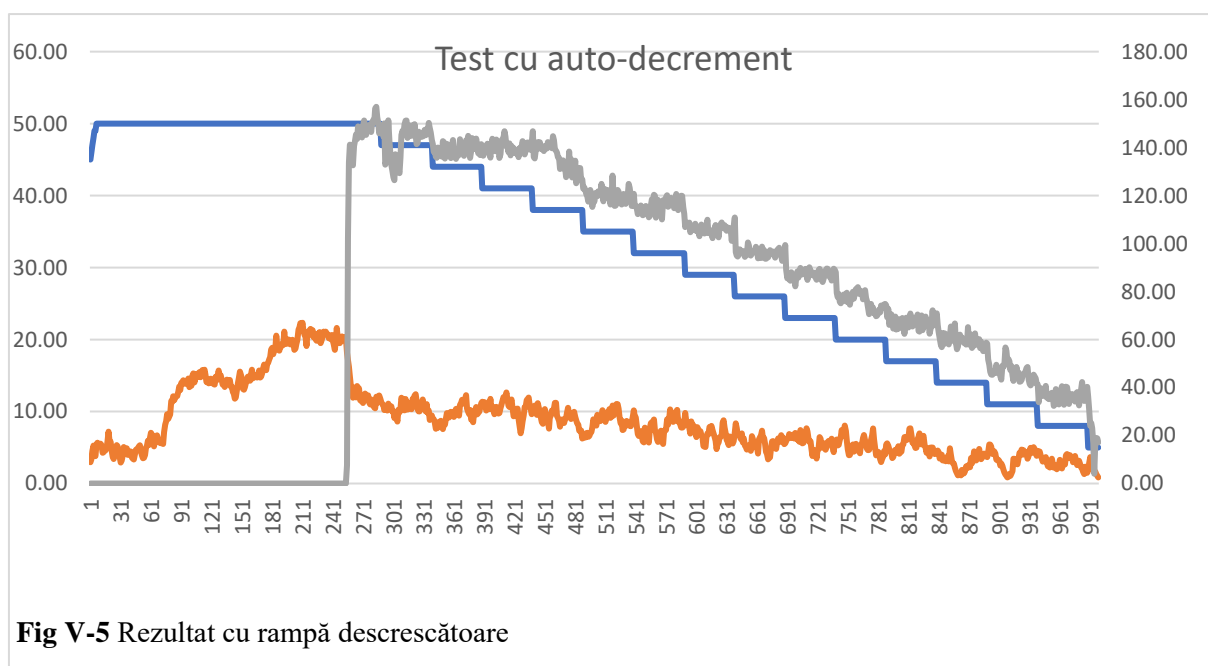


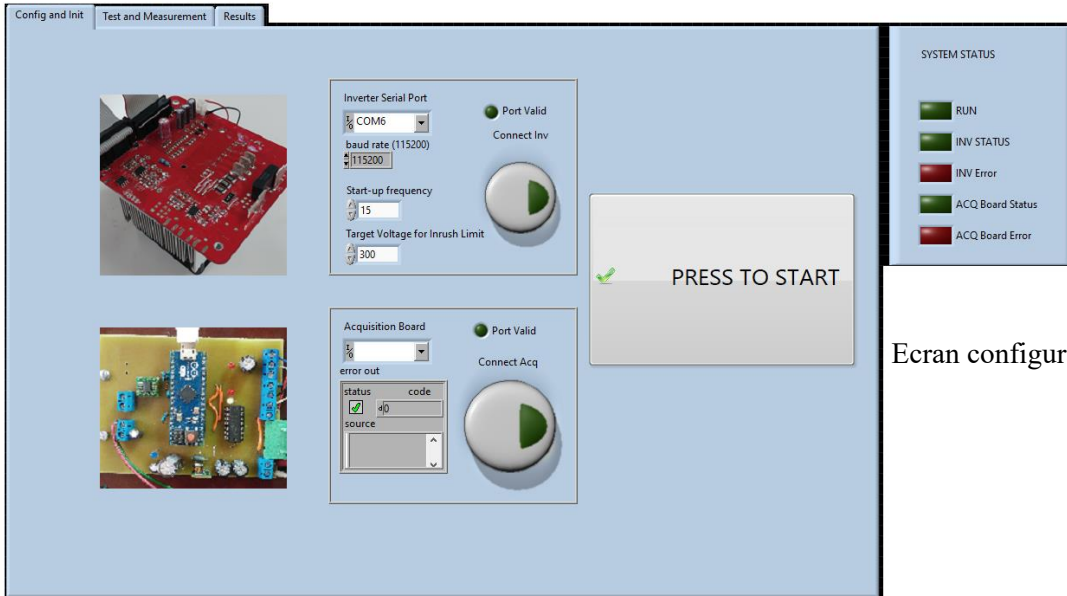
Fig V-4 Interfața grafică

Rezultatele testului cu rampă descrescătoare sunt prezentate în Fig V-5. Graficul are două axe y, cea din stânga deserveste frecvența setată și presiunea iar cea din dreapta doar turația motorului hidraulic.

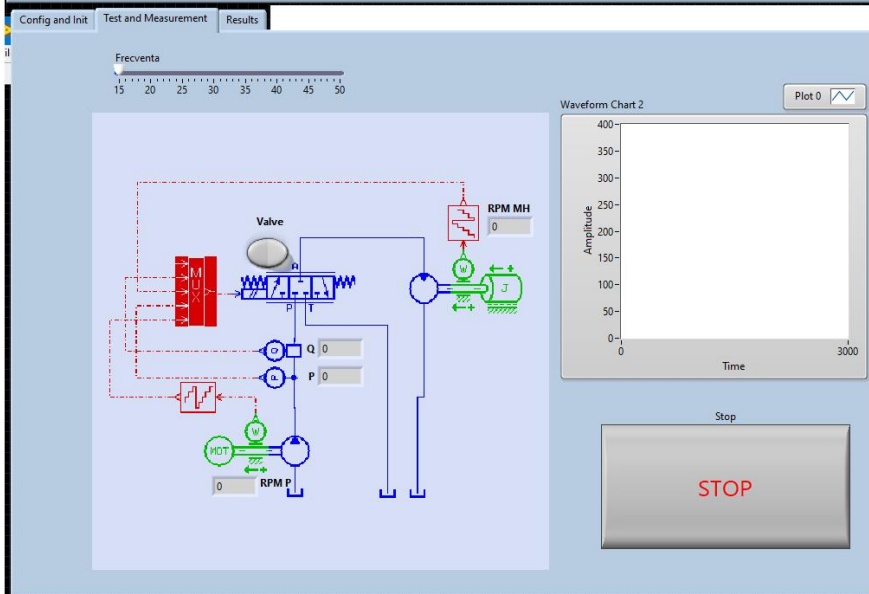


Varianta nouă a programului de lucru (**Fig V-6**) este semnificativ mai complexă și include mai multe ecrane, elemente de afișare și indicatoare pentru cele două plăci. De asemenea include și un test cu care se evaluează răspunsul sistemului la o variație sinusoidală a frecvenței.

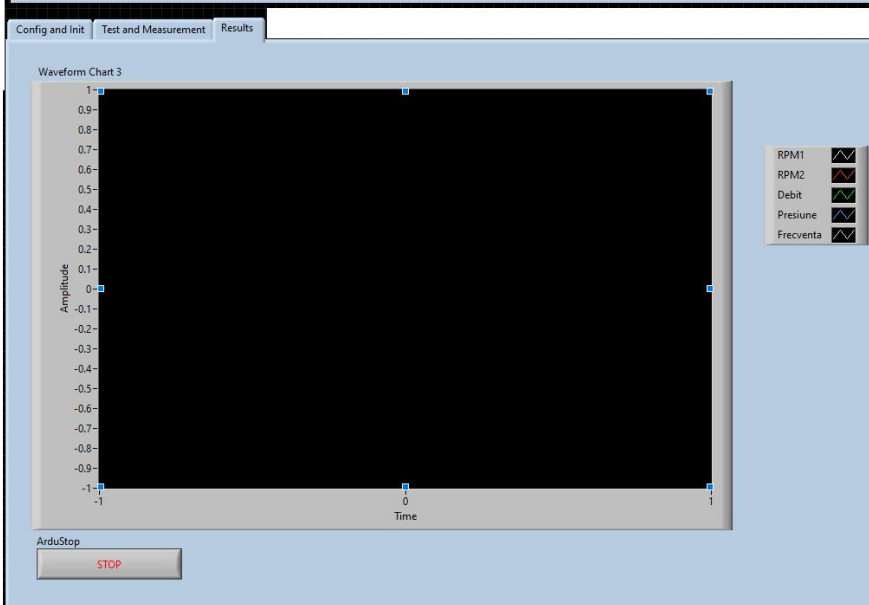
Pe primul ecran sunt configurate canalele de comunicare serială (viteză, numărul interfeței): în cazul invertorului se poate modifica frecvența de pornire și tensiunea la care limitatorul de curent de fugă este decuplat. După validarea configurației celor două plăci, prin apăsarea butoanelor aferente lor, se poate apăsa butonul de pornire (PRESS TO START). Ecranul vizibil se schimbă automat cu al doilea; în acest ecran se poate modifica frecvența de lucru, comanda dată distribuitorului 4/3 și se pot regăsi variabilele de proces. Ultimul ecran pune la dispoziție utilizatorului un grafic pentru a studia toate variabilele de proces dar și pentru a le putea salva sub forma de fișier text. Butonul „Stop” cu eticheta „ArduStop” are funcție dublă: oprește achiziția de date și apoi salvează datele memorate, procesate sub forma unui tabel Excel.



Ecran configurări



Ecran principal control sistem hidraulic



Ecran pentru afișare rezultate experimentale

Fig V-6 Varianta finală

Schema bloc din spatele interfeței grafice este semnificativ mai complexă și are dimensiuni mari. Schema simplificată este redată în Fig V-7.

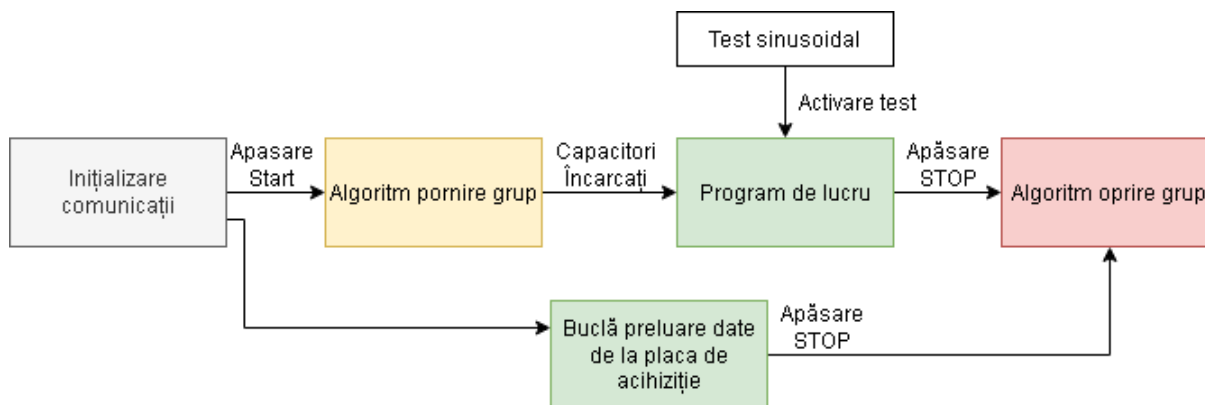


Fig V-7 Diagrama simplificată de proces

Programul realizat în software-ul LabView a permis obținerea unor rezultate experimentale pentru două forme ale semnalului generat: trapezoidal cu rampă configurabilă dar și sinusoidal.

Fig V-8 pune în evidență rezultatele obținute cu varianta trapezoidală a semnalului de intrare.

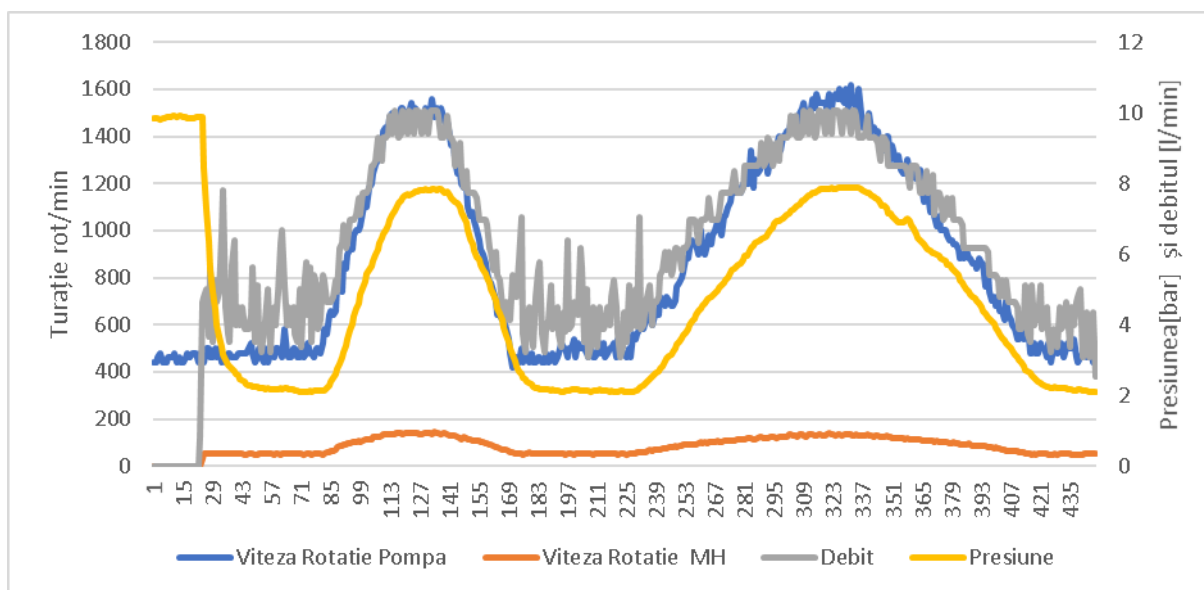


Fig V-8 Rezultat experimental test de tip rampă

Testele din această figură prezintă răspunsul parametrilor din sistem la o variație trapezoidală a frecvenței în două cicluri distincte. Primul are panta de 4Hz/s și al doilea de 2Hz/s. Frecvența variază în gama 15..50 Hz la fiecare ciclu și în graficul din Fig V-8 se poate observa variația în timp a parametrilor urmăriți, și anume:

- pentru presiune [2, 8] bar
- pentru debit [4, 10] l/min
- pentru turația arborelui pompei [450, 1480] rot/min
- pentru turația arborelui motorului hidraulic [50, 150] rot/min

Următoarea figură, Fig V-9, este generată din rezultatul testului cu comandă sinusoidală și arată liniaritatea foarte bună dintre frecvența de comandă dată și turația motorului hidraulic, indiferent de sensul de rotație comandat.

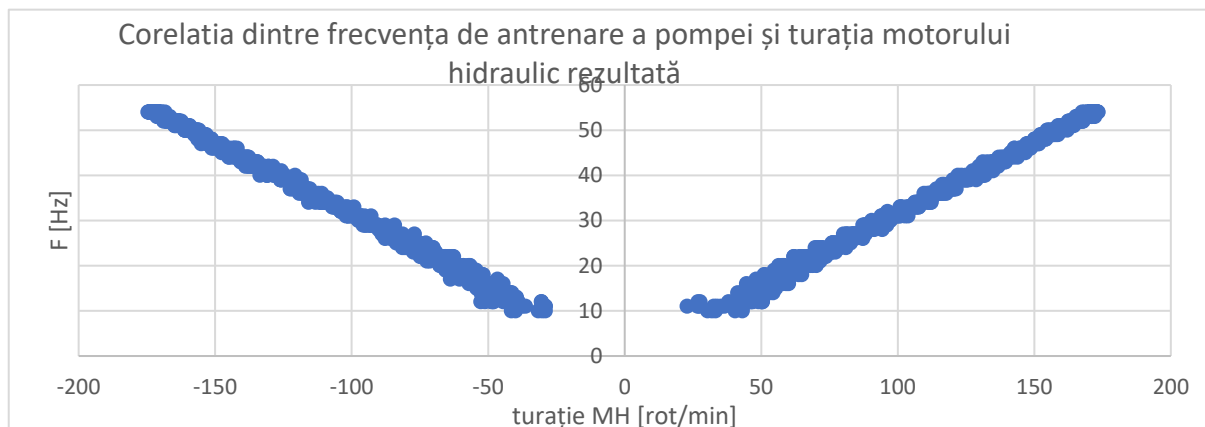


Fig V-9 Corelația dintre frecvența de antrenare a pompei și turația motorului hidraulic

În Fig V-10 se observă două grafice; în primul (a) se regăsesc turațiile celor două motoare din sistem: cel care antrenează pompa și cel hidraulic rotativ iar în al doilea grafic sunt parametrii funcționali ai sistemului. După fiecare ciclu în care inverterul primește comandă sub formă de frecvență în limitele 10-54 Hz cu variație sinusoidală, sensul de rotație al motorului hidraulic este inversat. Din acest motiv graficul acestuia are aspectul aproape perfect sinusoidal. Trebuie menționat faptul că deoarece pompa nu are voie să își schimbe sensul de rotație, inversarea sensului de rotație al motorului hidraulic s-a făcut prin comutarea distribuitorului la finalul fiecărui ciclu. Următorul grafic din aceeași figură are parametrii de lucru ai sistemului,

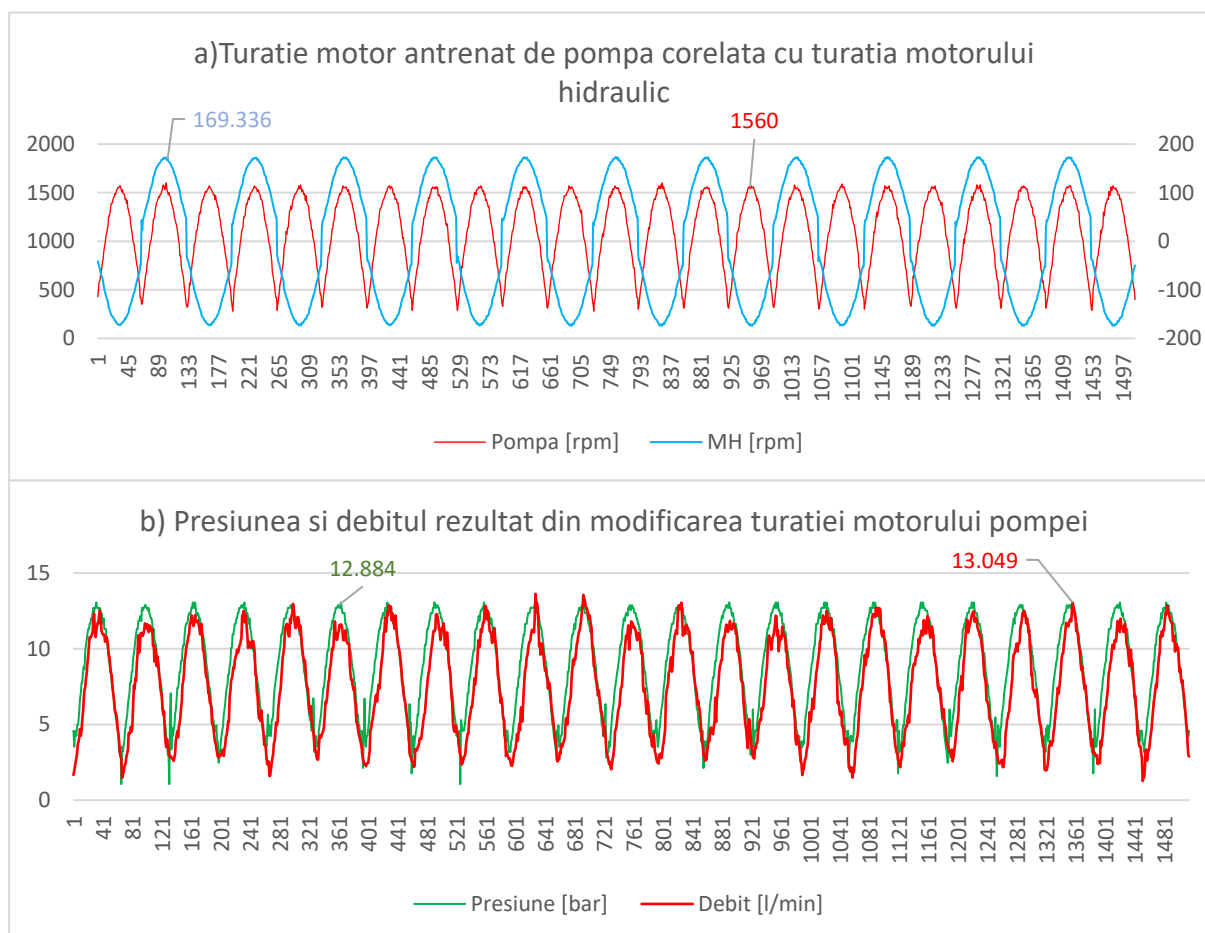


Fig V-10 a) Variația turațiilor cu frecvența, b) variația presiunii și a debitului cu frecvența

și anume debitul și presiunea. Acestea variază simultan de această dată fără a avea un mare defazaj. Presiunea atinge constant valoarea maximă de 12.8 bari și debitul depășind cel nominal de 12.4 l/min (obținut cu grupul nemodificat, pentru o turație constantă a arborelui motorului electric de antrenare de 1500 rot/min) la fiecare vârf al ciclului, frecvența maximă fiind de fapt 54Hz. În acest fel, prin folosirea inverterului, debitul nominal crește cu 8%.

V.1.3 Comparație între rezultatele teoretice și experimentale

Rezultatele testului sinusoidal obținute atât prin metoda teoretică cât și experimental au fost prelucrate pentru a putea fi comparate cu ușurință, fără a interveni asupra valorilor măsurate. În final s-au obținut rezultatele prezentate în Fig V-11. Datele obținute experimental au fost limitate la două cicluri complete, așa cum este și în simularea numerică; valorile măsurate au fost reprezentate pe aceeași scară iar elemente de măsură au fost adăugate pentru a putea evalua rezultatele și numeric.

Pe reprezentările din Fig V-11 a) s-au adăugat cursoarele (1) și (2) iar valorile de proces măsurate în acele poziții au fost adăugate în partea dreapta a figurii. Rezultatele experimentale sunt prelucrate în Excel iar punctele de interes (cele de vârf) sunt marcate pe aceste reprezentări.

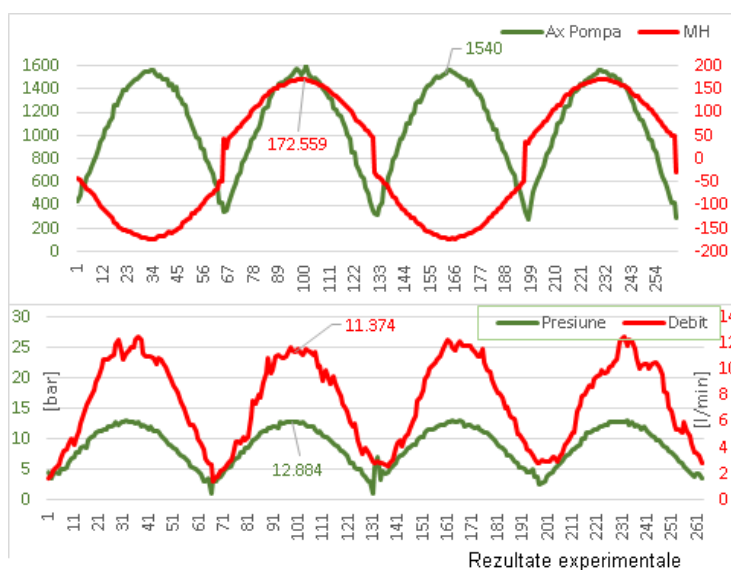
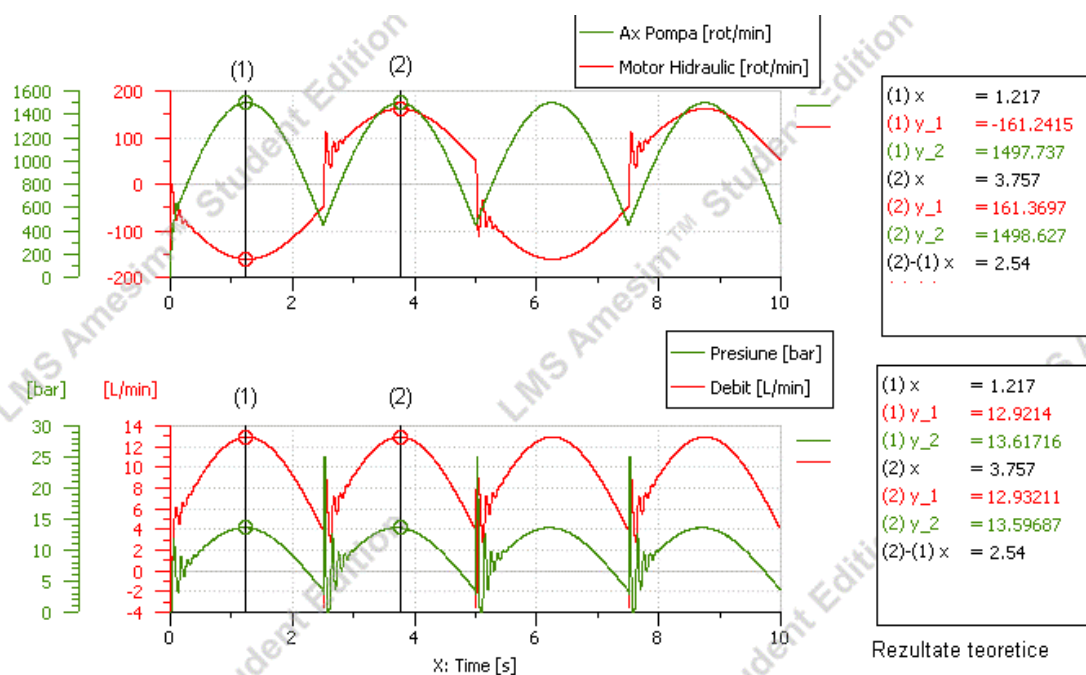


Fig V-11 Rezultate teoretice și experimentale prezentate succesiv

Valorile presiunii sunt similare având un vârf de 13.5 bar în cazul teoretic și 12.9 bar practic suficient de apropiate având în vedere momentul rezistiv și alte frecări interne greu de determinat în cazul motorului hidraulic.

Pentru pompa integrată în acest grup s-a considerat cilindrarea teoretică de valoare 8.6 cm³. Pe baza determinărilor experimentale (vezi paragraful IV.1.1), pentru o frecvență de 54 de Hz, s-a obținut debitul de 12.226 l/min iar turația arborelui pompei de 1540 rot/min. În acest caz se poate calcula cilindrarea determinată experimental împărțind debitul la turație și se obține valoarea de 0.00793 sau 7.93 cm³.

Se observă faptul că cele două valori ale cilindrării (teoretică și experimentală) sunt apropiate, cilindrarea teoretică fiind mai mare decât cea experimentală, lucru precizat și în literatura de specialitate.

Pentru forma de undă de tip rampă datele experimentale existente aveau o pantă negativă, iar în simulare s-a prevăzut o pantă pozitivă. Pentru a putea compara eficient rezultatele pentru acest tip de semnal de comandă s-a modificat simularea pentru a avea panta negativă și rezultatele sunt date spre comparație în Fig V-12, unde rezultatele experimentale sunt cele din dreapta iar cele teoretice în stânga.

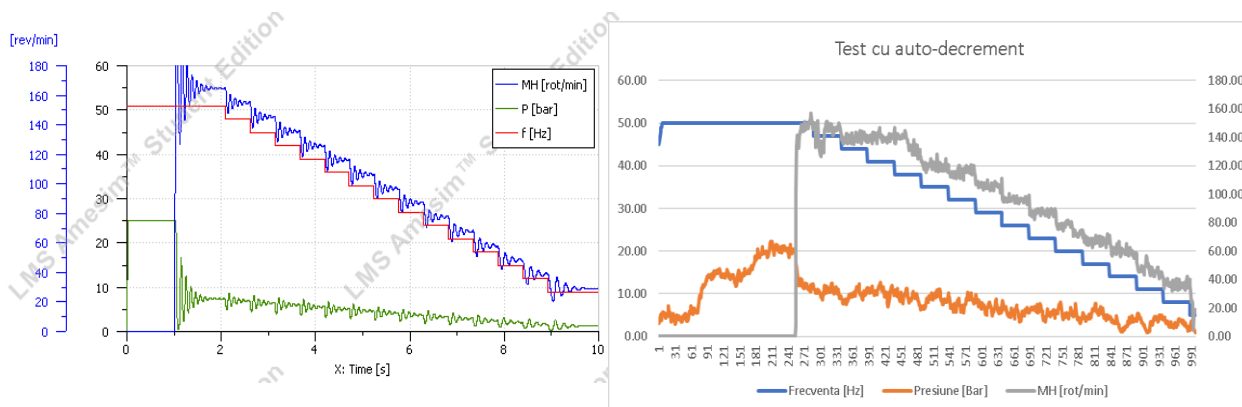


Fig V-12 Rezultate teoretice și experimentale pentru semnal de tip rampă

V.1.4 Concluzii

Rezultatele experimentale și teoretice sunt suficient de apropiate pentru a valida ambele sisteme. Turația motorului hidraulic și cea a motorului pompei variază liniar cu frecvența de comandă și previzibil așa cum se observă în Fig V-13. Între cele două turații se poate stabili ecuația $n_{MH} = 0.1115 \cdot n_{axPompă} - 2.1432$.

Grupul de generare a energiei hidraulice astfel dezvoltat poate fi integrat în sisteme hidraulice eficiente unde debitul este controlat prin metoda volumică. Performanțele dinamice au fost testate experimental cu rampă de accelerare de la turația minimă permisă de pompă până la cea maximă atinsă în 3 secunde, suficientă pentru procesele normale din hidraulică care sunt caracterizate prin forțe/cupluri mari oferite la viteze/turații mici. Din rezultate se observă și o funcție adițională deja testată a invertorului, posibilitatea de a depăși frecvența de 50 Hz cu un maxim de 5 Hz, obținând un debit aproximativ cu 10% mai mare față de sistemele convenționale alimentate direct la rețea.

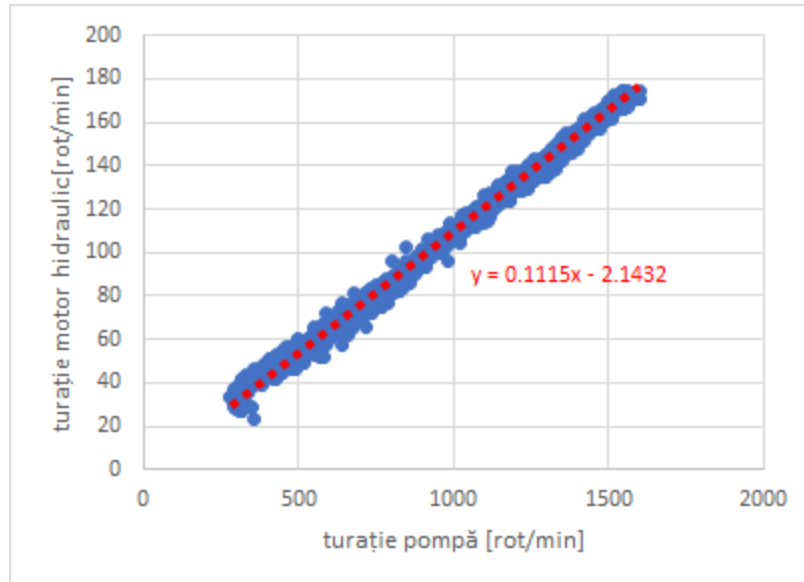


Fig V-13 Liniaritatea rezultatului experimental

V.2 Sistem de generare a energiei hidraulice cu regulator de presiune integrat

Grupul de generare a energiei hidraulice prezentat în paragraful II.4.2 a fost modernizat prin adăugarea plăcii de control și a unui invertor, așa cum s-a arătat și în paragraful III.2. Placa de control trebuie să preia rolul regulatorului de presiune pe care îl înlocuiește pentru a asigura energia necesară sistemelor hidraulice deservite listate în paragraful III.2.3.

Reglarea presiunii se face prin reglajul deschiderii unei supape de presiune proporționale cu comandă electrică sub formă de curent în limitele 0..1[A]. În lipsa comenzii, supapa trimite tot debitul generat de pompă înapoi la rezervor. Debitul care ajunge la sistemul deservit este astfel controlat de curentul ce parcurge electromagnetul proporțional al supapei și variază în funcție de presiune, temperatura mediului și turația axului pompei.

În continuare se va simula funcționarea acestui regulator în condițiile la care va fi supus în circuitele existente prin studiul răspunsului la semnal treaptă dar și răspunsul la un semnal tip scară.

V.2.1 Analiza teoretică

Prima simulare (Fig V-14) a fost realizată în software-ul Simster produs de firma Rexroth.

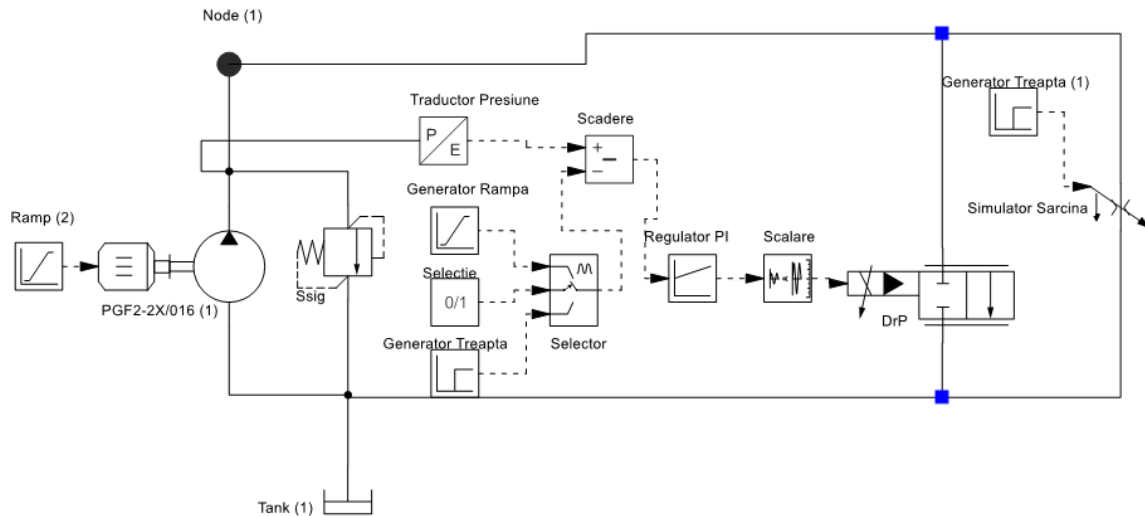


Fig V-14 Regulator de presiune simulat în Simster

Rezultatele acestei simulări sunt prezentate în Fig V-15 și respectă următorul scenariu: presiunea setată este de 10 bari în primele trei secunde și apoi este ridicată la 25 bari; aria orificiului de curgere al droselului este dublată la 5 secunde de la pornirea simulării.

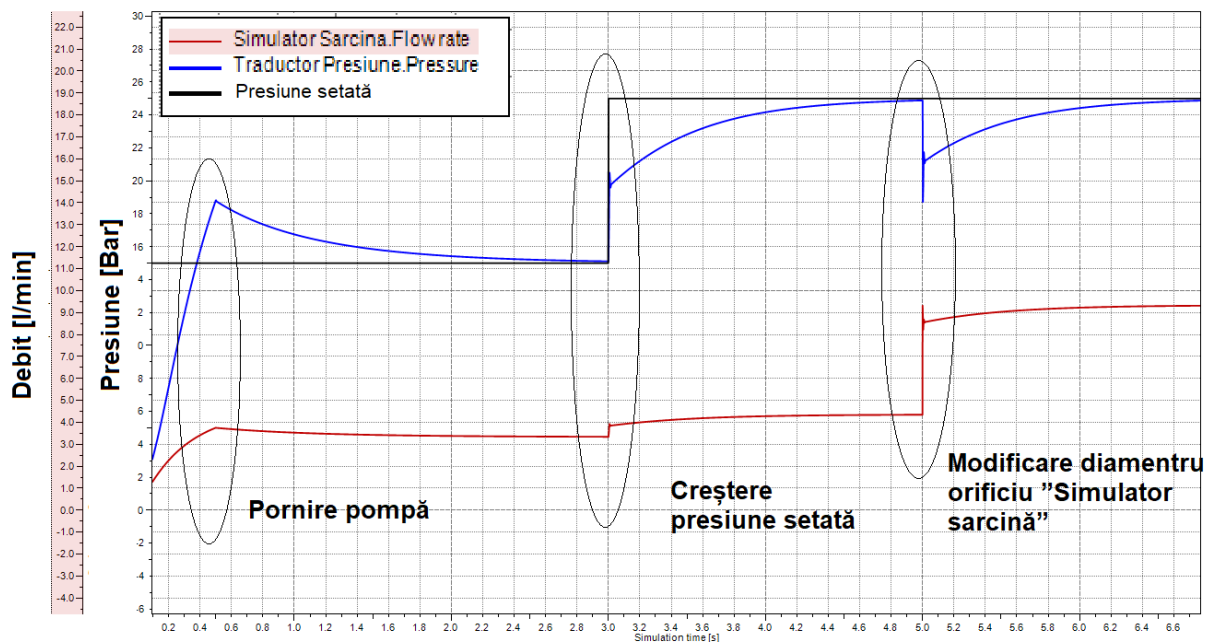


Fig V-15 Simulare regulator presiune în condiții dinamice – semnale treaptă

A doua simulare a fost realizată în LMS Amesim, produs de firma Siemens, software care fost descris deja în paragrafele anterioare.

Modelul matematic realizat în Fig V-16 completează rezultatele obținute în simularea cu Simster prin studierea comportamentului regulatorului de presiune pe baza algoritmului utilizat în cadrul standului de determinat densitatea mediului de lucru (paragraf V.4).

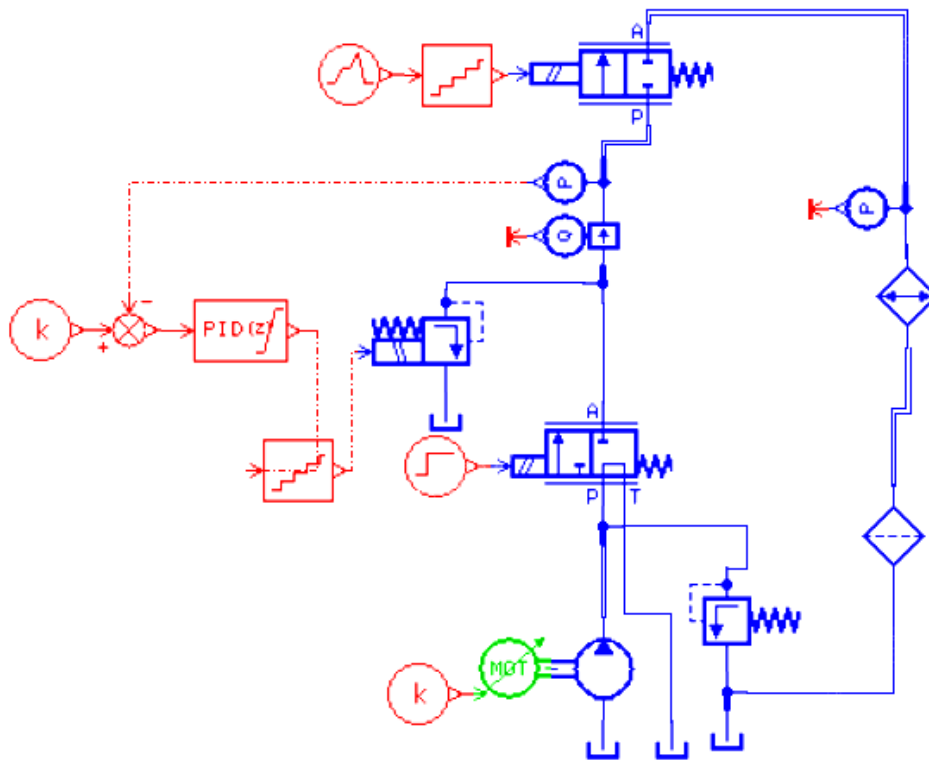


Fig V-16 Simulare regulator de presiune

Rezultatul acestei simulări este în Fig V-17, variabila de interes este presiunea din amonte, cu albastru, și aceasta este stabilă pe tot parcursul testului.

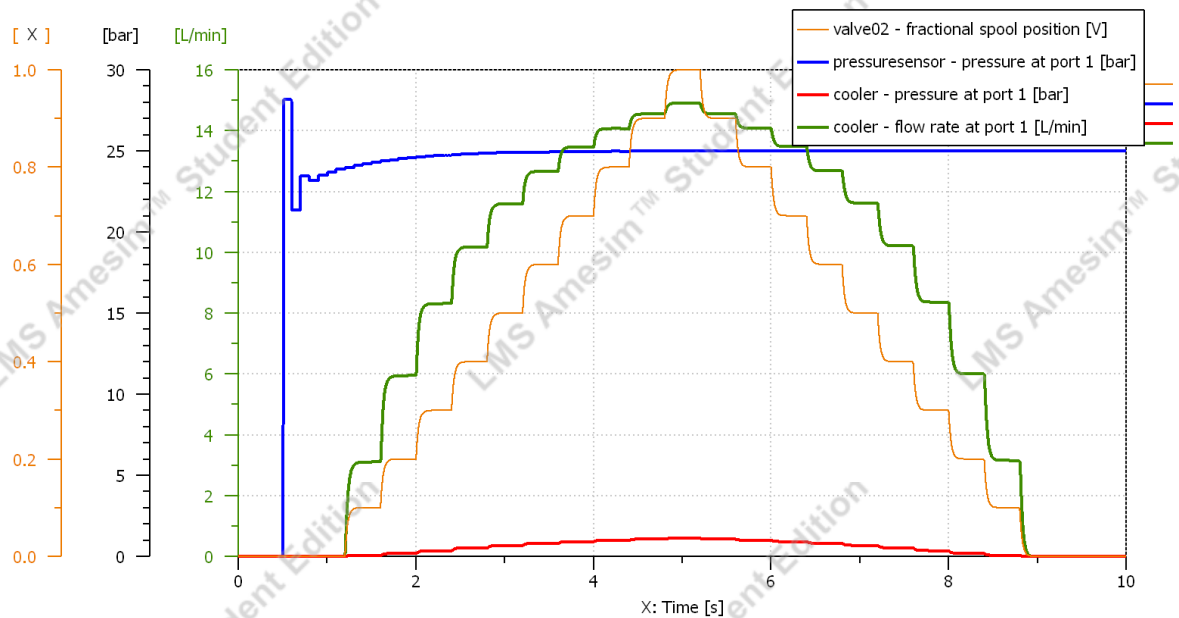


Fig V-17 Amesim Regulator presiune în timpul testelor de densitate

Regulatorul de presiune este activat la momentul de timp $t=0.5s$, moment în care presiunea urcă rapid la valoarea setată, temporar depășind-o și atingând valoarea de 28 bar unde oscilează puțin până se stabilizează în final la valoarea setată de 25 bar la momentul $t = 2 s$.

Pe tot parcursul ciclului de test definit pentru acest stand presiunea rămâne constantă în ciuda faptului că debitul variază între 0 și 15 l/min.

V.2.2 Analiza experimentală

Regulatorul proiectat a fost integrat într-un program complex ce va fi descris în paragraful V.4 în întregime dar secțiunea care se ocupă de generarea unei presiuni constante din cadrul aceluși program este prezentată în Fig V-18

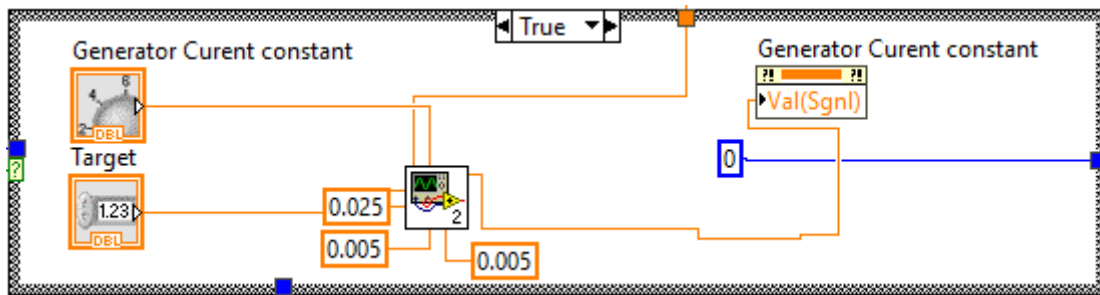


Fig V-18 Implementare în sistem

Acesta a fost realizat sub forma unui bloc în LabView (Fig V-18, icoana numerotată cu sufixul 2), iar conținutul său este pus în evidență în Fig V-19.

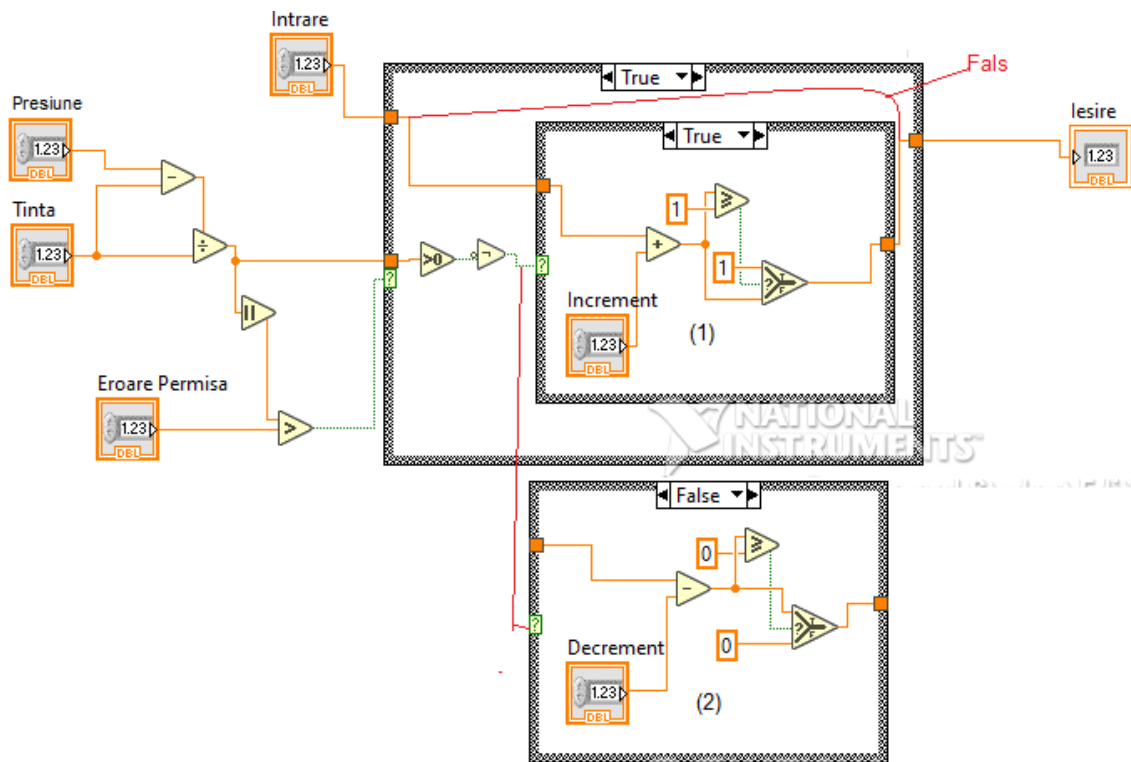


Fig V-19 Regulatorul de presiune din Labview

Regulatorul a fost testat pe un stand experimental ce avea în componență un motor hidraulic liniar. Acesta era programat să realizeze mișcări dintr-un capăt la celălalt cu viteză maximă pentru a verifica stabilitatea buclei de reglaj la o sarcină variabilă.

Rezultatul acestui experiment este prezentat în Fig V-20. Presiunea este setată la valoarea de 30 bar și în figură este trasată cu roșu. Se observă variații bruște ale presiunii, atât pozitive cât și negative, cauzate de oprirea bruscă a pistonului la capăt de cursă, staționarea un timp, urmată de continuarea mișcării în direcția opusă. Aceste vârfuri sunt mici, ating 35 bar pentru un termen foarte scurt și cele negative nu coboară sub 26 bar.

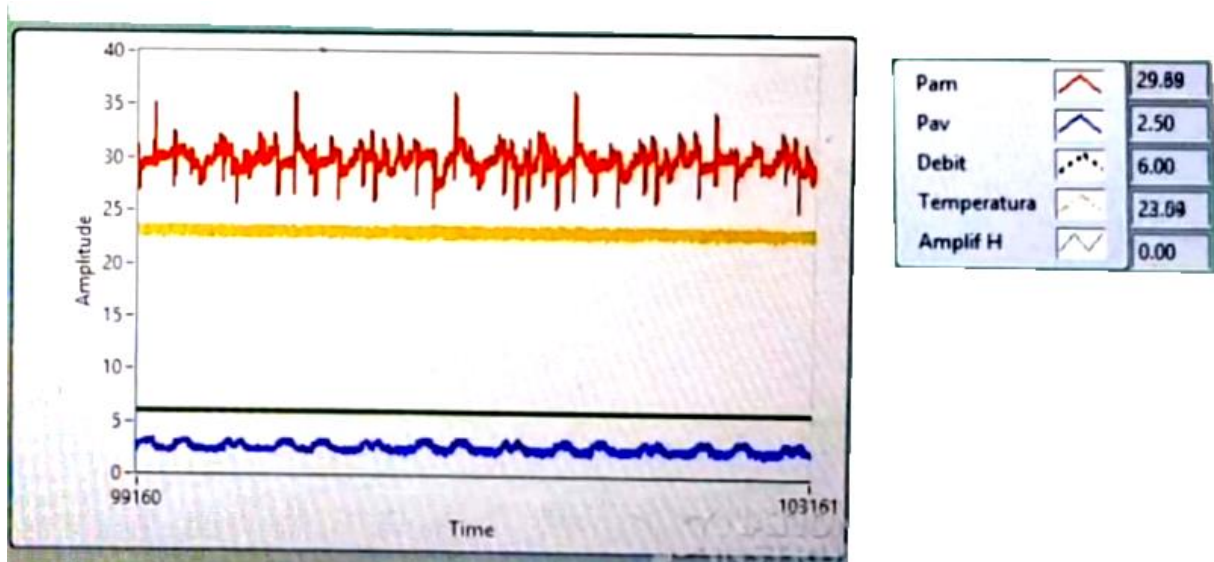


Fig V-20 Stabilitatea presiunii la sarcină tranzitorie

V.2.3 Concluzii

Regulatorul de presiune este simplu și eficient iar rezultatele teoretice și experimentale validează conceptul, siguranța și precizia algoritmului utilizat. Performanțele sunt suficiente pentru aplicațiile uzuale din acest domeniu iar următoarele standuri teoretice și experimentale depinde de funcționarea corectă a acestuia.

V.3 Sistem de poziționare hidraulic

Acest sistem a fost descris în paragraful III.2.3 ca structură dar și ca limbaj de programare. Fiind un sistem de poziționare s-a decis realizarea unui program de lucru care implică deplasarea pistonului pe capetele de cursă dar și la o poziție intermediară. Acesta a fost implementat și pe controlerul fizic, HNC100.

V.3.1 Analiza teoretică

Aproape toate componentele care alcătuiesc structura sistemului hidraulic sunt produse de firma Bosch-Rexroth. Prin urmare s-a decis utilizarea software-ului produs de aceștia pentru simulare.

În Fig V-21 este prezentat modelul realizat în Simster, model ce conține componentele utilizate în structura standului experimental realizat. Blocul numit "Programul NC" conține o listă de poziții sub formă de coordonate. "Simulator HNC100" este în fapt regulator PID similar cu cel existent în controlerul fizic.

În urma simulării s-a obținut graficul din Fig V-22. Poziția pistonului urmărește cu exactitate poziția setată; a trebuit să se modifice scara pentru a se putea distinge graficele celor două semnale a trebuit să se modifice scara pentru axa verticală. Traductorul de poziție utilizat convertește poziția pistonului în relație cu unul dintre capete din 0..140mm în 0..10V, blocul "Program NC" are pozițiile de referință memorate tot sub forma unor tensiuni 0..10V.

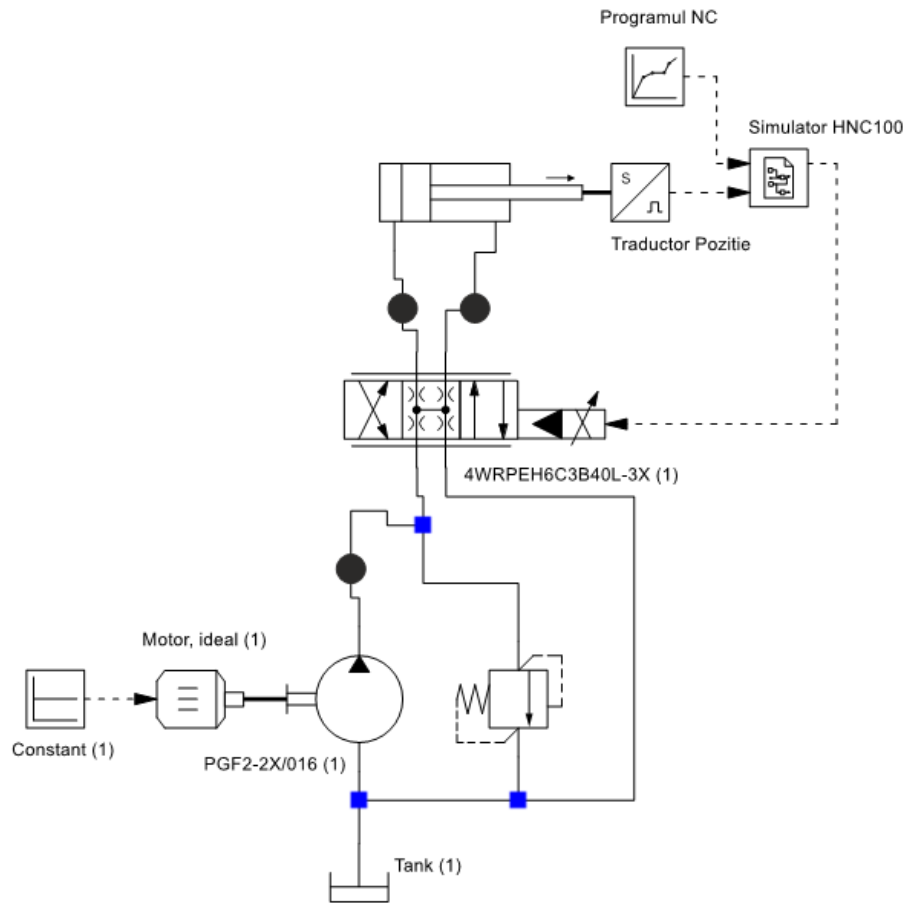


Fig V-21 Sistem de poziționare - Simster

Presiunea prezintă mici oscilații în timpul deplasării pistonului, cu o valoare de aproximativ 2 bar, de la poziția relativă de 0 la 10V și prezintă mici căderi de presiune de 1-2 bar pe durata ciclului de test rămasă, în special pe durata deplasărilor rapide.

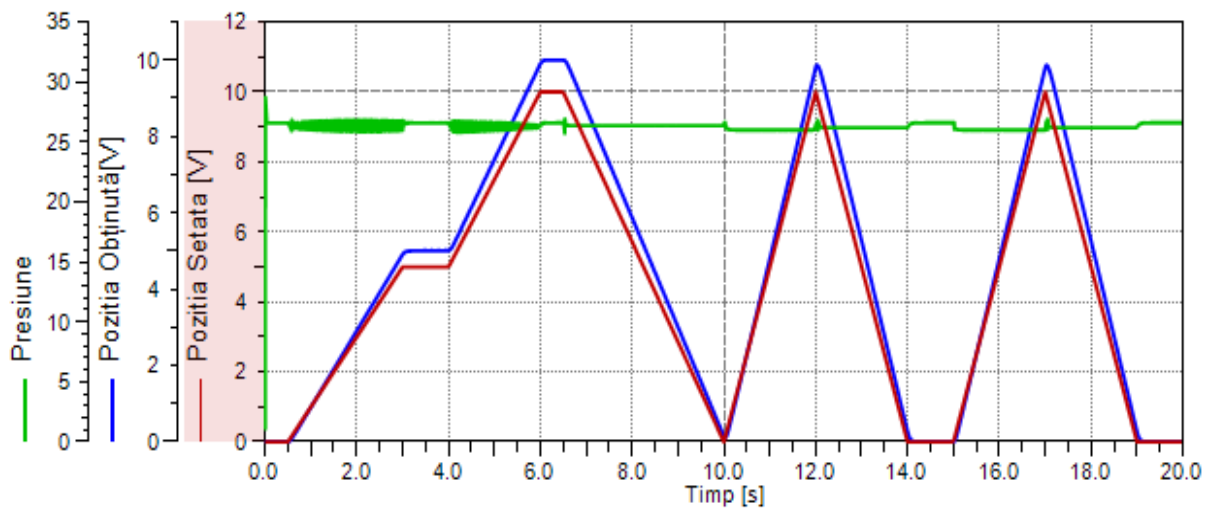


Fig V-22 Rezultate simulare

V.3.2 Analiza Experimentală

Programul realizat pentru controlerul HNC100 este prezentat mai jos.

```

; R200 = poziția țintă
; R201 = Accelerare
; R202 = Decelerare
; R203 = Viteza
; R204 = viteza traversare (0)
;=====
M33
G62
JMP L100

L100
G01 XR200 IR201 JR202 FR203 R204
G04 F1
G01 XR200-650 IR201 JR202 FR203 R204
G04 F1
G01 XR200-1300 IR201 JR202 FR203 R204
G04 F1
G01 XR200-650 IR201 JR202 FR203 R204
G04 F1
G01 XR200 IR201 JR202 FR203 R204
G04 F1
G01 XR200-1300 IR201 JR202 FR203 R204
G01 XR200 IR201 JR202 FR203 R204
G01 XR200-1300 IR201 JR202 FR203 R204
G04 F2
JMP L100 ;Sari inapoi la L100
M02 ; Sfârșit program

```

Rezultatele experimentale și teoretice sunt afișate pentru a fi comparate în figura V-23. Rezultatele au o formă de variație aproape identice. Performanțele sistemului de poziționare

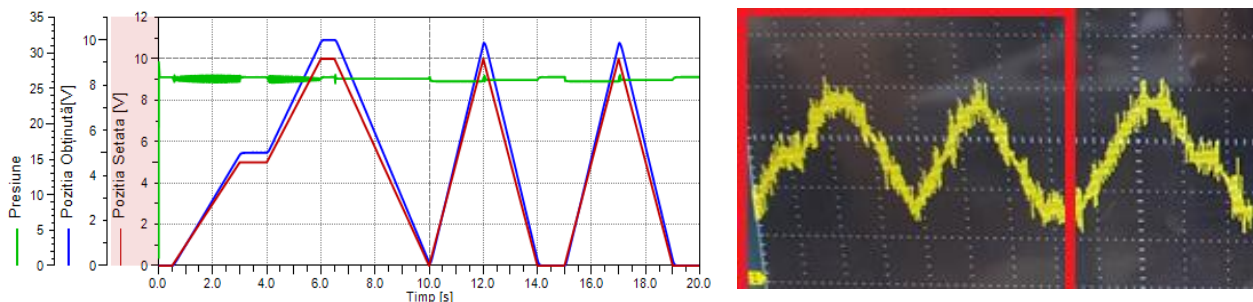


Fig V-23 Rezultatele teoretice și experimentale

precisă nu au fost afectate negativ în raport cu grupul inițial.

V.4 Stand pentru determinarea densității mediului hidraulic

Standul realizat este complet informatizat și permite atât controlul sistemului de acționare cât și achiziția și prelucrarea datelor de măsurare. În structura acestui stand elementul central îl reprezintă un microcontroler. Pentru măsurarea diferitelor mărimi fizice sunt folosite traductoare cu performanțe ridicate și care furnizează la ieșire semnale electrice.

Standul realizat a fost descris în paragraful III.2.3, la punctul 3 iar rezultatele experimentale și programele de lucru dezvoltate vor fi descrise în continuare.

V.4.1 Analiza teoretică

Pentru determinat densitatea mediului hidraulic software-ul Simster a fost util pentru a simula funcționarea standului și pentru a obține rezultate preliminare. În simulare (Fig V-24) motorul care acționează pompa are turația constantă, în consecință debitul furnizat de pompă este constant. Electromagnetul proporțional integrat în construcția distribuitorului proporțional 4/3 este comandat cu o formă specială de undă de tip scară. Semnalul urcă în trepte de 1V de la valoarea de 0V până se atinge limita maximă de 10V și apoi coboară cu același increment până atinge limita minimă de 0V. Acest protocol va fi urmărit și în etapa experimentală.

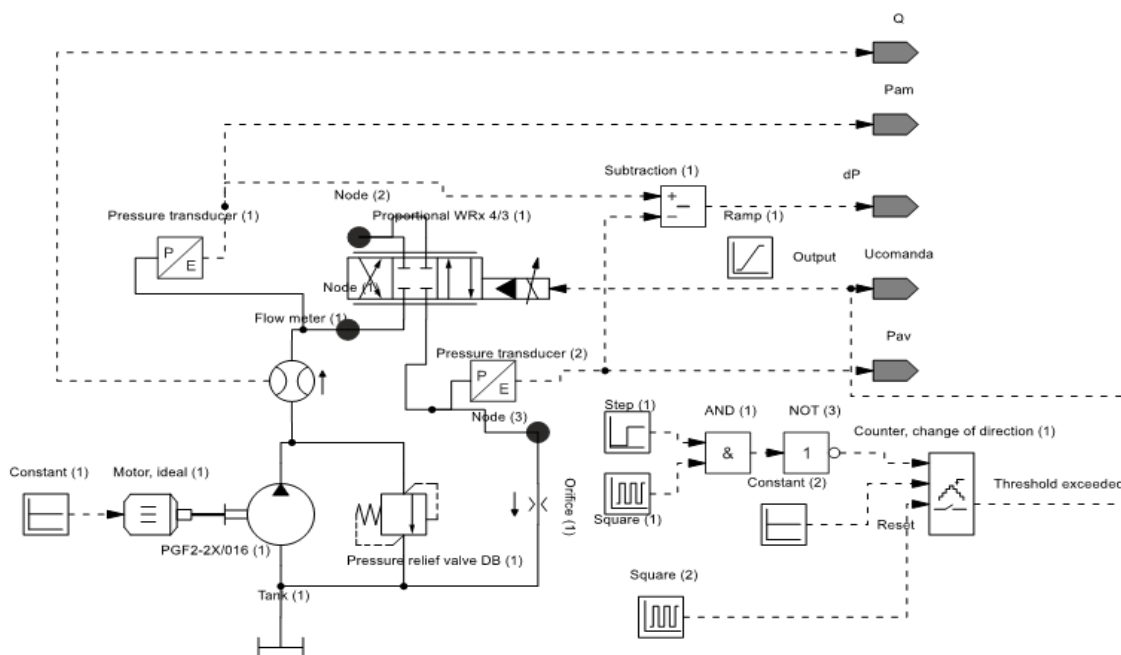


Fig V-24 Simulare cu Simster stand pentru determinare densitate mediu hidraulic

În Fig V-25 se regăsește rezultatul simulării cu algoritmul conceput. La aplicarea la intrarea sistemului a semnalului definit anterior, sertarul distribuitorului proporțional se deplasează în raport cu poziția de zero (semnalul X) și generează secțiunea de curgere prin distribuitor. Prin această secțiune va trece un debit, pus în evidență pe reprezentarea din figură (culoarea roșu); deoarece secțiunea de curgere variază neliniar cu poziția sertarului (datorită prelucrărilor existente pe sertar în zona de control) și debitul are o variație neliniară evidentă la începutul și sfârșitul intervalului de variație.

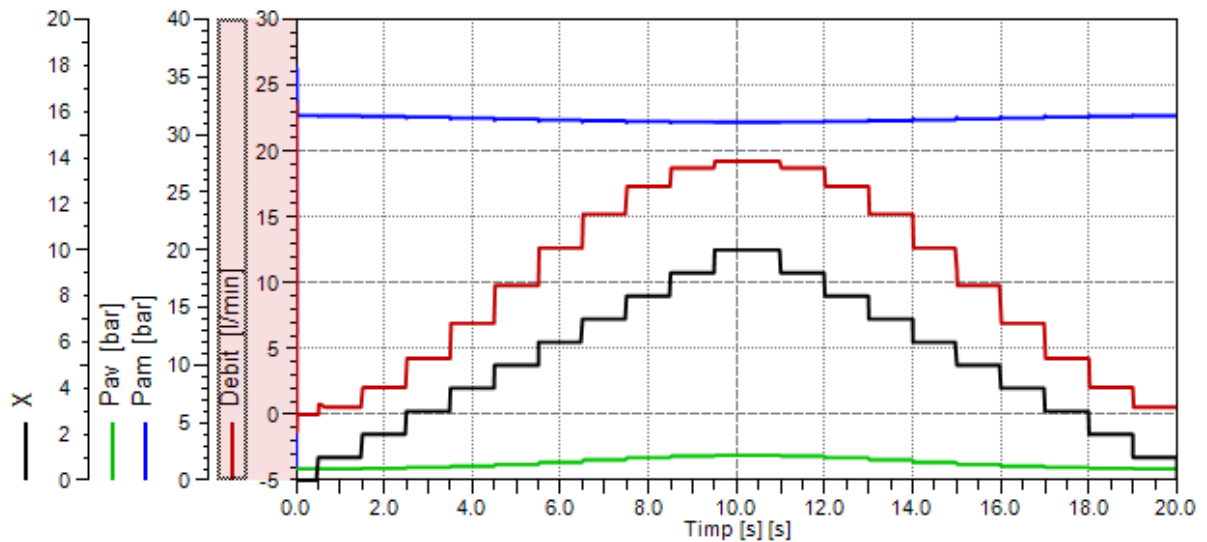


Fig V-25 Rezultat simulare stand pentru determinat densitatea mediului hidraulic

V.4.2 Programele de lucru dezvoltate

Pentru a controla toate dispozitivele atașate plăcii de control și pentru a salva și procesa datele de proces achiziționate din sistem s-a realizat un program în LabView.

Acest program are trei ecrane denumite: "Configurări", "Valori", "Salvare". Primul ecran este prezentat în Fig V-26 și oferă posibilitatea configurării și verificării întregului sistem. În acest ecran se poate selecta portul serial la care este atașată placa de control din "VISA resource name".

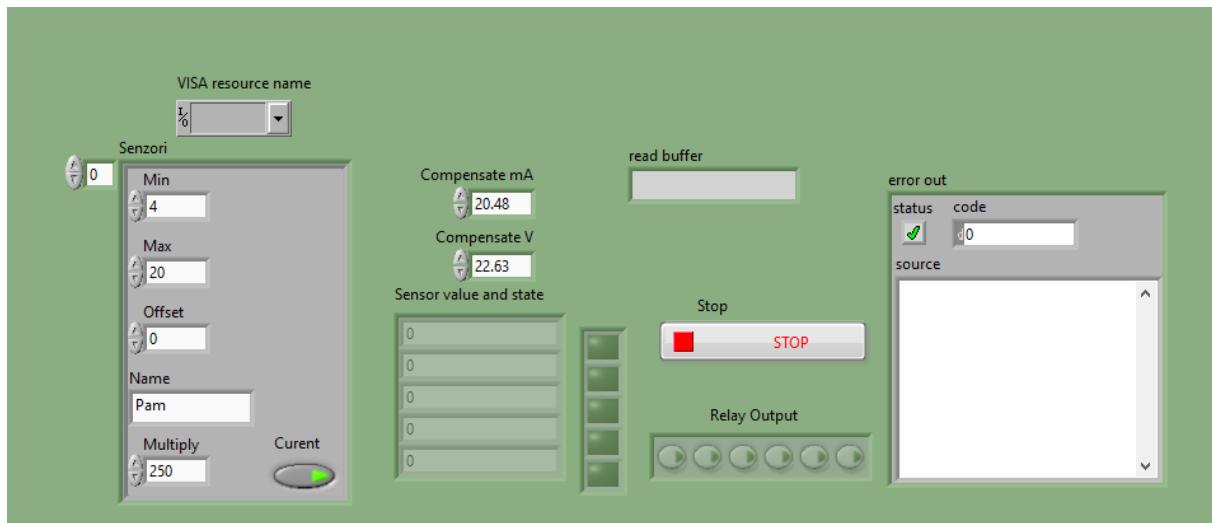


Fig V-26 Ecranul de configurări

În secțiunea "Senzori" se configurează tipul semnalului furnizat de un anumit sensor, domeniul de variație al acestuia și valoarea maximă a mărimii fizice măsurate. Această fereastră este deosebit de utilă la lansarea în execuție a programului. În zona "Sensor value and state" se pot vedea valorile furnizate de senzori și pentru senzorii în bucla de curent se poate stabili dacă aceștia sunt conectați fizic corect și dacă sunt funcționali. Tot aici (Relay Output), pentru testare, pot fi conectate sau deconectate relele existente fizic pe placă.

Eventualele erori sunt semnalizate în fereastra „error out”.

În al doilea ecran (Fig V-35) în partea de jos sunt toate afișajele valorilor de proces, astfel:

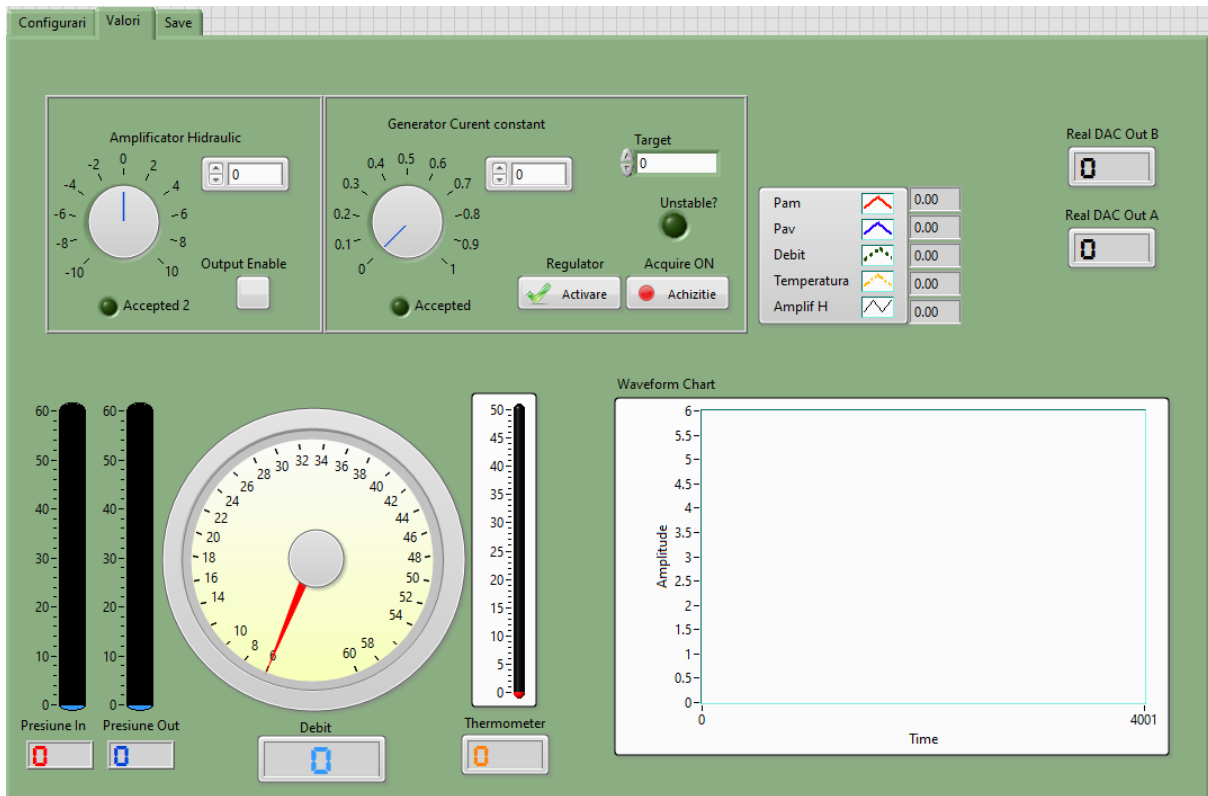


Fig V-27 Ecranul 2 – Valori

- Presiune In – presiunea din amonte de distribuitorul hidraulic proporțional DhP;
- Presiune Out – presiunea din aval de DhP;
- Debit – debitul prin sistem;
- Thermometer – temperatura mediului de lucru;
- Waveform Chart – grafic care include parametrii enumerați anterior, și în plus mai conține poziția sertarului "Amplif H".

În partea de sus se observă două secțiuni separate „Amplificator Hidraulic” și „Generator Curent constant”.

Bucła principală a programului realizat este afișată în Fig V-28;

V.4.3 Determinări experimentale

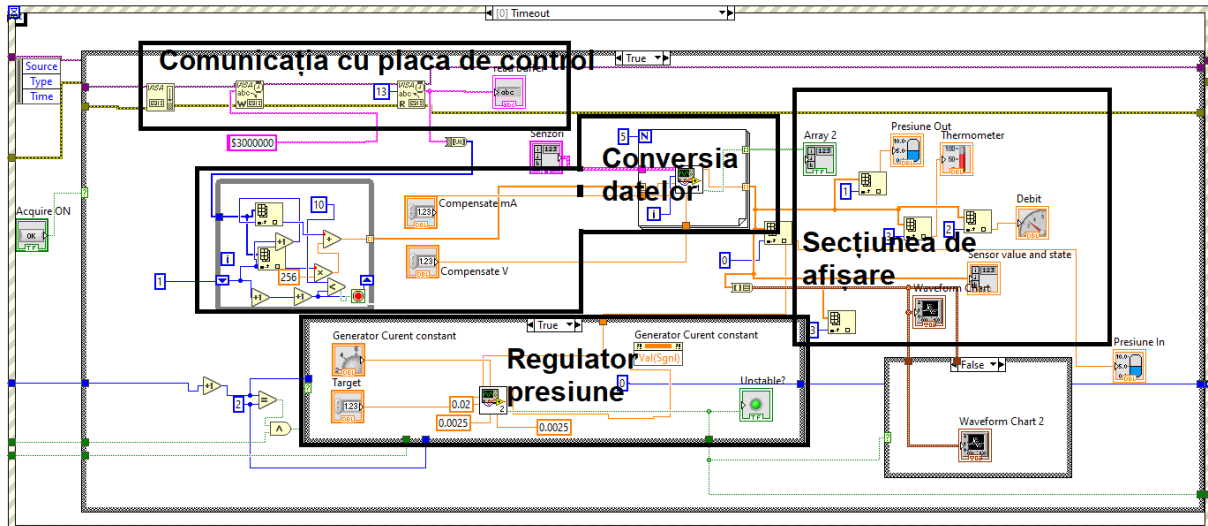


Fig V-28 Diagrama programului realizat

Poziția sertarului variază tip „scară” așa cum variază de altfel și semnalul de comandă existent la intrarea în amplificatorul electronic ce deservește distribuitorul proporțional DrP. În cele 4 figuri debitul măsurat atinge valori maxime în funcție de presiune de: 14.5 l/min la 15 bar, 18 l/min la 20 bar, 21 l/min la 25 bar respectiv 24 l/min la 30 bar.

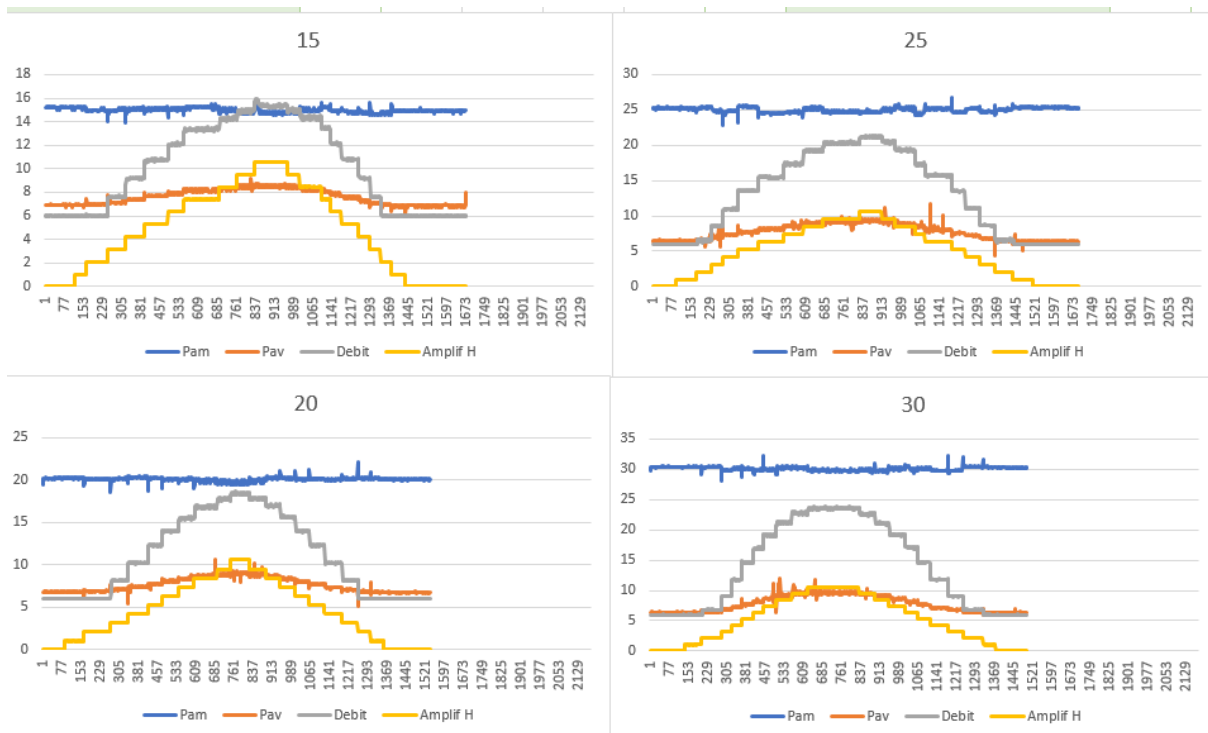


Fig V-29 Rezultate experimentale la 15 , 20 , 25, 30 bari

Volumul de date obținut în urma experimentărilor este foarte dificil de procesat, fiecare ciclu de test (la o singură presiune) poate avea în jur de 7000 de valori. Un program a fost scris în Matlab cu scopul de a prelua și prelucra valorile măsurate; apoi, pe baza formulei stabilite, programul calculează densitatea mediului de lucru.

Datele se prelucrează pentru a arăta variația densității relative măsurate în funcție de diferența de presiune. Această variație este prezentată în Fig V-30 domeniul de variație fiind $[0.94, 1]$, ceea ce înseamnă o variație de 6% a densității mediului hidraulic.

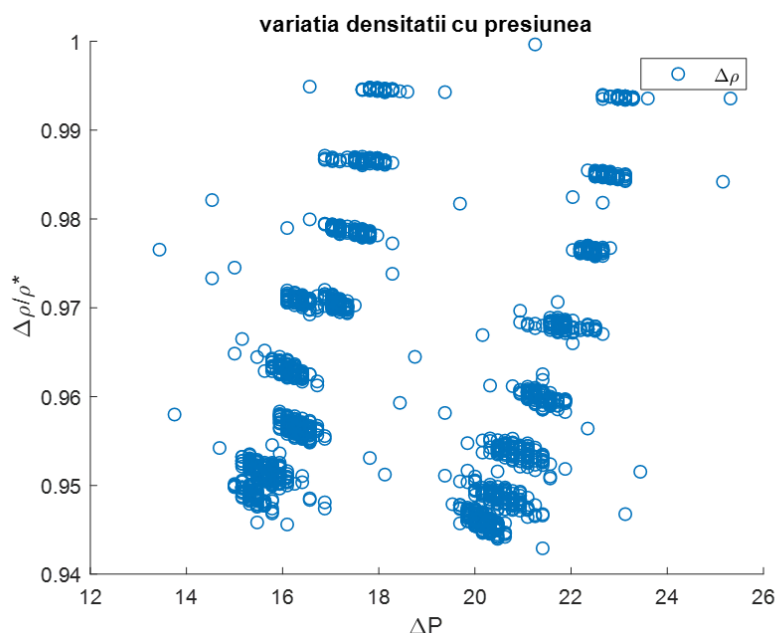


Fig V-30 Variația densității cu presiunea

V.4.4 Comparație între rezultatele teoretice și experimentale

Între rezultatele experimentale și cele obținute pe cale teoretică există diferențe care pot fi explicate fie prin prezența unei cantități de aer în instalație, fie unor erori de calcul sau de măsurare.

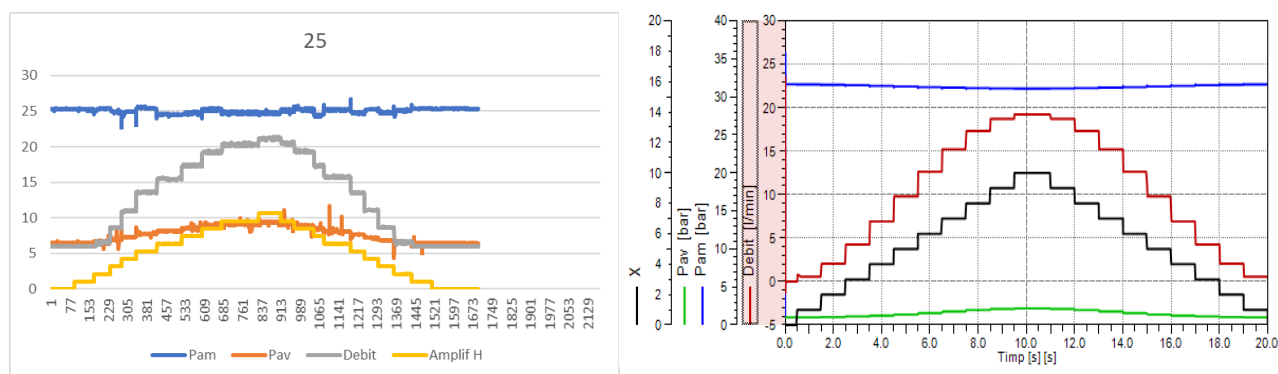


Fig V-31 Comparație între rezultatele experimentale și cele teoretice

În concluzie determinarea densității unui ulei mineral utilizat ca mediu de lucru într-un sistem hidraulic de acționare în anumite condiții concrete de lucru, precum și a dependenței densității cu temperatura și presiunea reprezintă, o problemă importantă pentru care încă se caută o rezolvare.

Standul experimental conceput și realizat reprezintă o soluție eficientă pentru rezolvarea problemelor enunțate mai sus. Acest stand reprezintă, prin structura sa hardware și software, un sistem complex de experimentare și testare, la care toate activitățile desfășurate sunt asistate de calculator.

Una dintre facilitățile sistemului constă în faptul că rezultatele experimentale obținute pot fi atât vizualizate direct, pe monitorul sistemului de calcul, chiar în timpul măsurării, ceea ce reprezintă un mare avantaj în cercetarea experimentală, cât și stocate în memorie sub formă de fișiere text, în vederea prelucrării ulterioare a datelor și a imprimării lor sub formă de buletine de testare / experimentare, fără intervenția operatorului uman.

V.5 Analiza termică a grupurilor inteligente de generare a energiei hidraulice propuse

Așa cum s-a menționat în paragraful III.1, o cameră termală a fost integrată pe grupul de generare a energiei hidraulice cu puterea de 1.5 kW pentru a monitoriza temperaturile în mai multe zone de pe grup.

Această cameră termală (Fig V-42) a fost concepută și realizată pornind de la modulul produs de firma Panasonic AMG8834 (Fig V-43) și este originală. Un microcontroler de tip SAM3S2 este utilizat pentru a citi informațiile de la cameră și a le transfera unui ecran LCD cu rezoluția de 320x240 pentru a afișa imaginea. Carcasa a fost proiectată și printată pe o imprimantă 3D.



Fig V-32 Camera termală realizată

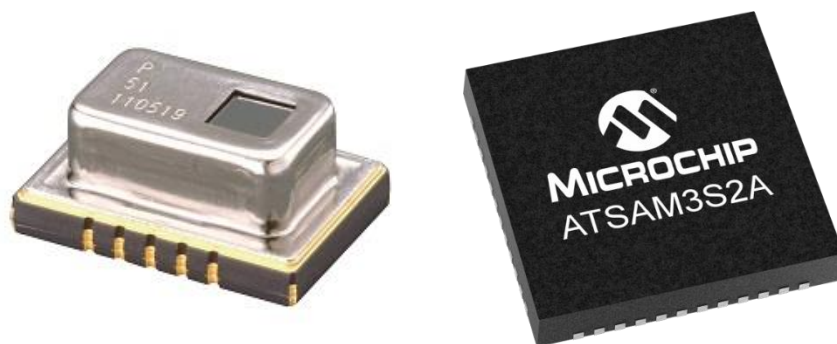


Fig V-33 Modulul AMG8834 [30] și Microcontroler ATSAM3S2A [29]

Conexiunea cu calculatorul este realizată prin portul USB iar datele sunt procesate cu ajutorul mediului LabView, scopul urmărit fiind de a genera alarme și de a declanșa oprirea sistemului în cazurile în care acest lucru se impune.

În memoria microcontrolerului există memorat programul de lucru, scris special pentru această aplicație, care realizează automat o interpolare a pixelilor citiți pentru a crește pe această cale rezoluția camerei și a afișa o imagine calitativ mai bună (Fig V-44). Informațiile transmise

prin USB sunt în stare brută, fiecare pachet trimis conține astfel 64 de valori, reprezentând fiecare pixel în parte.

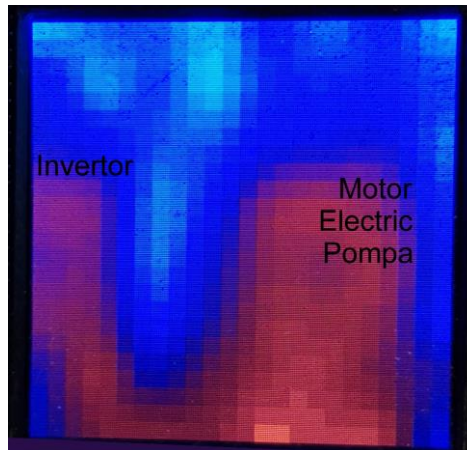


Fig V-34 Imagine obținută

Pentru cel de-al doilea grup, cel de 4kW, s-a realizat o analiză termică utilizând o camera termală cu rezoluție mult mai mare, de 206x156 pixeli, produsă de firma Seek (Fig V-45). Analiza a presupus realizarea mai multor capturi din zone diferite ale grupului în condiții concrete de funcționare. Într-o primă etapă s-au stabilit zonele de interes pe baza experienței acumulate în timp și a recomandărilor identificate în reviste de specialitate. Prin aceasta s-a urmărit identificarea principalelor surse ale pierderilor de energie existente în sistem în timpul funcționării.



Fig V-35 Camera Seek din seria Compact pentru telefoane mobile

În Fig V-46 imaginea din mijloc evidențiază cu claritate zonele din sistem care după un timp de funcționare s-au încălzit. Pentru a vizualiza mai bine acest fenomen în prima imagine este arătat grupul în stare nefuncțională (când temperatura sa este temperatura mediului ambiant indiferent de zona de interes). Cea de-a treia imagine (din dreapta) s-a obținut prin suprapunerea celor două imagini obținute în condițiile prezentate anterior (grupul nefuncțional și grupul după un timp de funcționare). Această imagine evidențiază faptul că înfășurările motorului și rotorul acestuia s-au încălzit destul de repede; acest fapt este cunoscut din literatură, la motoarele inductive dacă se reduce turația cu un invertor, motorul se încălzește și se impune ca sistemul de răcire să fie suplimentat [24].

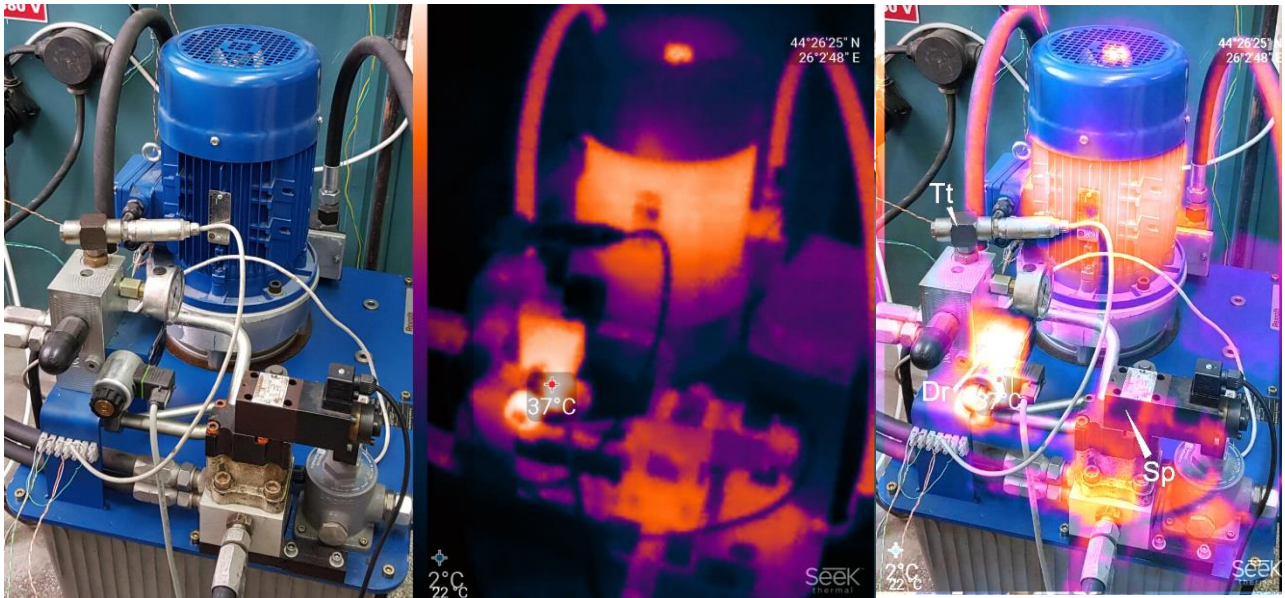


Fig V-36 Imagine termală pompă și vedere suprapusă

La nivelul grupului de generare a energiei se observă o creștere a temperaturii la nivelul distribuitorului convențional 4/2 în zona electromagnetului de acționare, electromagnet care în timpul funcționării este alimentat, consumul la nivelul acestui actuator fiind de 24W.

În Fig V-47 este prezentat un detaliu din zona distribuitorului amintit din dorința de a evidenția mai bine comportamentul termic al acestuia.

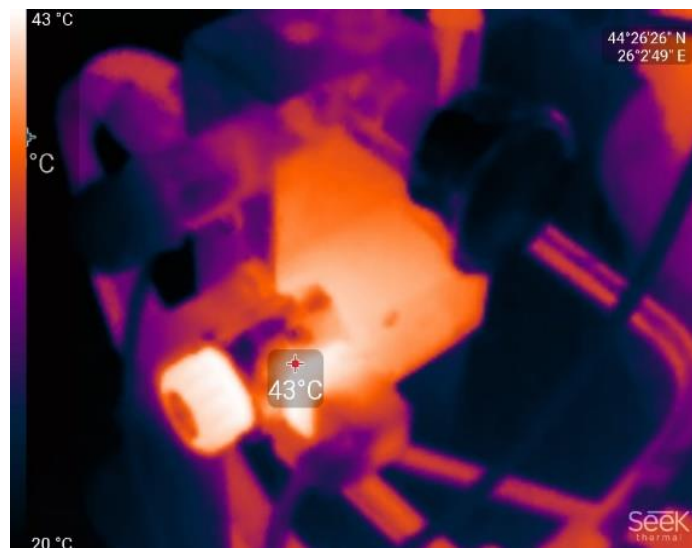


Fig V-37 Distribuitorul prezente în sistem

Supapa proporțională *Sp* are temperatura apropiată de temperatura mediului ambient, lucru explicabil prin faptul că ea este activată numai în situația în care presiunea din sistem depășește valoarea reglată, totodată faptul că rezervorul grupului a fost corect dimensionat favorizează răcirea mediului de lucru în timpul funcționării, temperatura de regim încadrându-se în domeniul 60-65°C. Pe de altă parte, timpul de funcționare nu a depășit 30 de minute lucru care a favorizat încadrarea în intervalul de temperatură precizat mai sus.

La nivelul distribuitorului proporțional *DrP*, secțiunile de curgere fiind mici apare o pierdere de presiune semnificativă, preluată de fluid sub formă de căldură. Aceasta explică imaginea din Fig V-48 care evidențiază o creștere locală a temperaturii fluidului.

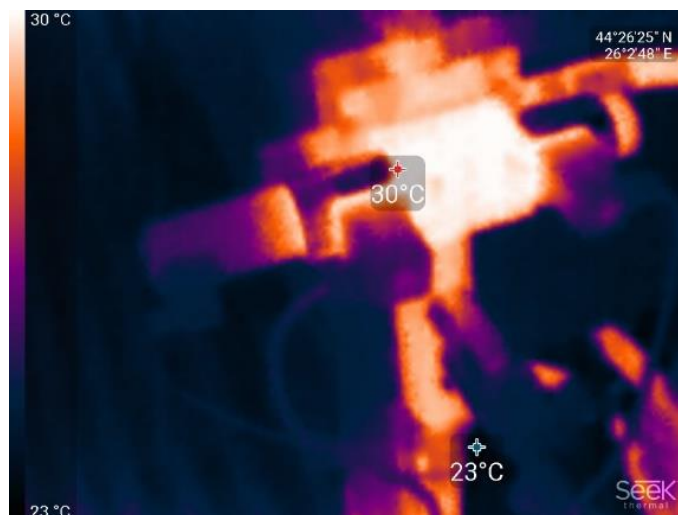


Fig V-38 Vedere camera termală DrP

V.6 Optimizarea constructiv-funcțională a modelelor propuse

Proiectarea unor sisteme inteligente este complexă și poate fi realizată cu numeroase arhitecturi, fiecare cu avantajele ei.

În cazul modelului realizat pentru grupul de pompare de 1.5kW optimizările se pot face în următoarele direcții:

- realizarea unei plăci unice care să conțină placa de putere, placa de control a invertorului și placa de achiziție; prin aceasta costul sistemului realizat cu plăci independente validat experimental va scădea;
- placa de achiziție poate fi transformată și în placă de control, conectând o linie de comunicații cu procesorul invertorului; se realizează astfel o legătură directă între sistemul informațional (format din traductoare) și cel de acționare; un alt avantaj constă în reducerea numărului de conexiuni externe necesare și în îmbunătățirea timpului de răspuns;
- reducerea numărului de conexiuni fizice prin adăugarea unui modul de WiFi / BlueTooth, în zona plăcii de achiziție pentru a înlocui conexiunea cu fir USB în una fără fir.

Standul conceput și realizat pentru a măsura densitatea mediului de lucru din sistem poate fi reproiectat și realizat modular astfel încât să poată fi integrat cu ușurință în orice sistem de acționare hidraulic. Cu ajutorul lui utilizatorul sistemului poate determina la anumite intervale de timp densitatea mediului de lucru existând în sistem. Pe baza acestor măsurători, poate decide dacă din punct de vedere calitativ acesta corespunde. De altfel, în sistemele de acționare hidraulice de precizie la care fiabilitatea este critică se utilizează dispozitive care măsoară parametrii mediului de lucru. Măsurătorile realizate pentru a determina densitatea mediului hidraulic la diferite valori de presiune și secțiuni de curgere ar putea fi astfel utilizate ca referință pentru un sistem care determină indirect existența de contaminanți în mediul hidraulic.

Aceste măsurători pot fi stocate în memoria calculatorului de proces sub forma de tabel bidimensional (Fig V-50) sau chiar a unei ecuații cu două necunoscute care oferă un rezultat apropiat. Comparând căderea de presiune sau debitul rezultat cu referința din memorie se pot detecta și preveni situații de avarie (exces de aer sau apă în mediul hidraulic) sau chiar se poate oferi o prognoză cu privire la următoarea schimbare necesară de fluid de lucru.

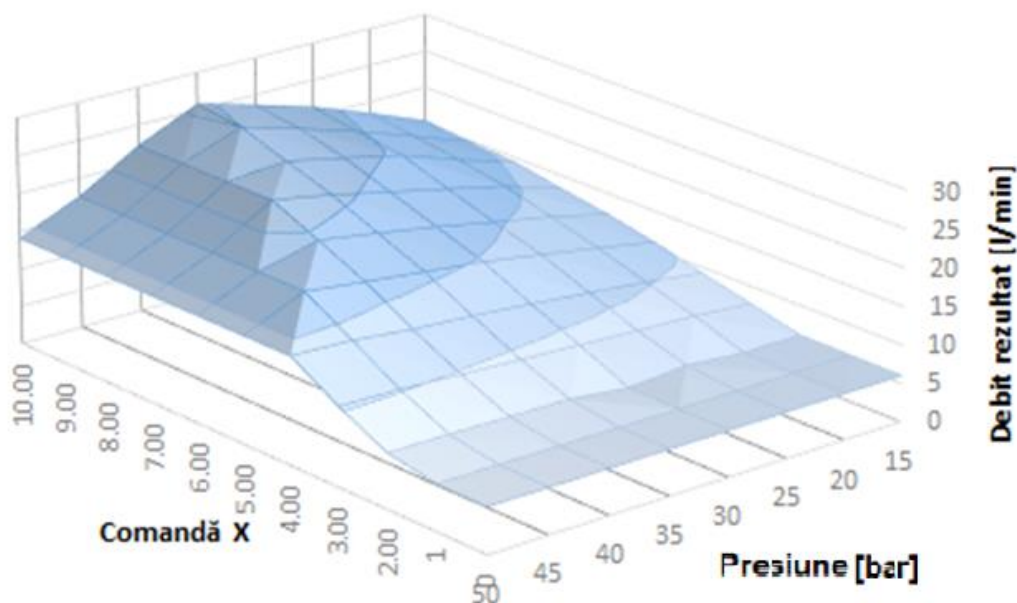


Fig V-39 Determinarea condiției mediului hidraulic

Testul acesta ar putea fi făcut la intervale fixe iar rezultatul salvat sub forma unei liste, pentru a urmări tendința de deteriorare a mediului de lucru. În Matlab se poate adăuga o linie de tendință și punctul de intersecție cu valoarea limită considerată de avarie poate să prezică timpul până la următoarea revizie.

VI. SISTEME REALIZATE CARE ADERĂ LA CONCEPTUL IOT

Acest capitol descrie modul în care s-a realizat conectarea la internet a grupurilor realizate pentru a putea comunica cu alte sisteme. Cea mai simplă și accesibilă platformă de IoT este ThingSpeak a companiei Mathworks. Această firmă este și proprietara software-ului Matlab, deci are integrare foarte bună cu acest limbaj de programare. Grupul de generare a energiei hidraulice de 4kW a fost reproiectat astfel încât acesta să poată fi utilizat independent de un calculator sau laptop; în acest fel grupul poate fi ușor accesat și monitorizat de la distanță.

Pentru aceasta s-a folosit un calculator mono-placă de tip Raspberry Pi. S-a optat pentru sistemul de operare Windows IoT pentru că oferă posibilitatea de a proiecta aplicația pe un calculator normal cu software-ul Visual Studio și este un mediu de programare foarte bine cunoscut de autor.

Informațiile primite de server sunt încărcate în pagina web corespunzătoare aplicației, pagină care a fost generată de aplicația web produsă de ThingSpeak în formatul dorit, cu elemente de afișare numerică instantanee, afișaje tip ceas analogic sau grafice în timp (Fig VI-2).

Interfața realizată este prezentată în Fig VI-1. Placa de control este singura componenta nestandardizată prezentă în sistemul IoT proiectat, restul componentelor sunt ușor de găsit la furnizorii de componente electronice și electrice.

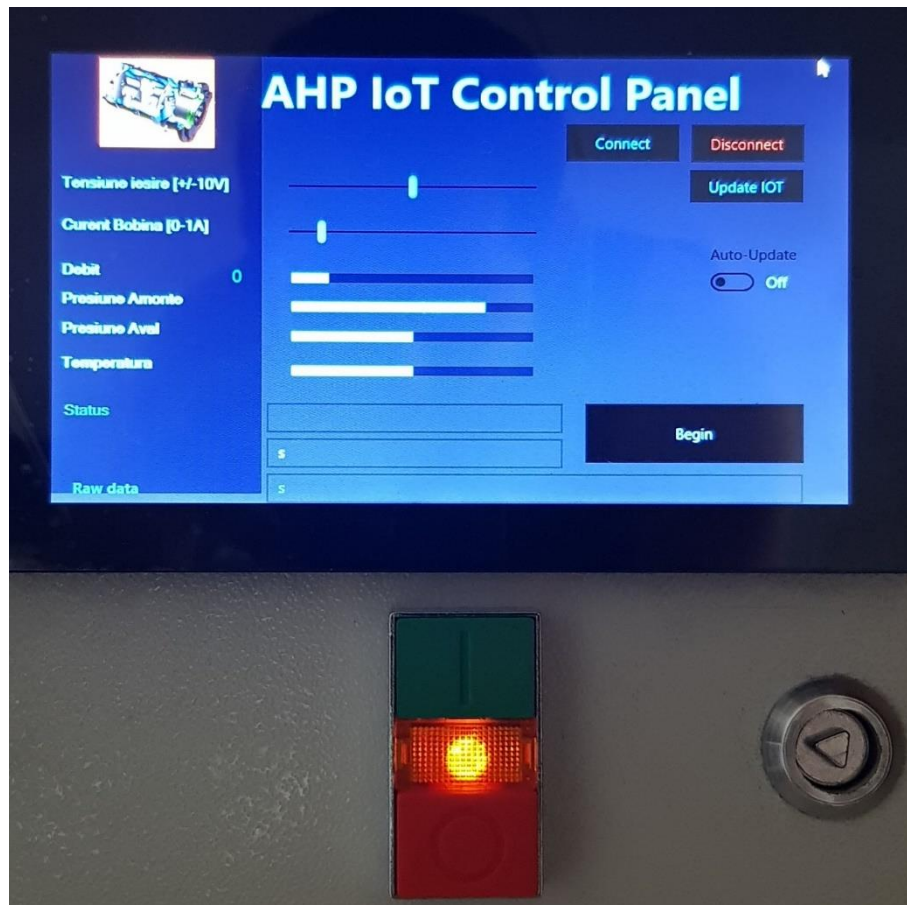


Fig VI-2 Interfața cu utilizatorul



Fig VI-1 Variabile proces disponibile online

Pentru conectarea studenților la platforma există trei variante: furnizarea acestora a numărului canalului sub forma unei adrese, a unui cod QR scanabil cu camera telefonului cu website-ul codat în acesta și nu în ultimul rând cea mai convenabilă soluție, un card NFC.

Cardurile NFC se cumpără neprogramate și urmează a fi programate cu ajutorul unui modul furnizat de firma NXP și anume PN7150 (Fig VI-4) .



Fig VI-3 Cititor / Programator de carduri NFC OM5578 / PN7150 [31]

VII. CONSIDERATII FINALE

Tema abordată în prezenta teză de doctorat face parte dintr-un domeniu de mare actualitate, acela al sistemelor inteligente destinate generării energiei hidraulice, integrate în aplicații specifice industriei de vârf, caracterizate printr-un înalt grad de tehnicitate și complexitate.

Gradul de noutate al abordării este dat în primul rând de îmbinarea experienței existente pe plan mondial în domeniul hidraulicii clasice cu facilitățile oferite de sistemele moderne de testare și experimentare realizate în concepție mecatronică, ce includ senzori și traductoare, circuite destinate prelucrării semnalelor, convertoare A/D și D/A, microcontrolere sau PC-uri și nu în ultimul rând software adecvat, sisteme promovate intens în ultimii ani.

Caracterul complex și gama largă a subiectelor abordabile au impus structurarea lucrării pe obiectivele propuse în paragraful II.2 și anume:

- analiza stadiului actual în domeniul grupurilor de generare a energiei hidraulice;
- identificarea tendințelor și perspectivelor în dezvoltarea grupurilor de generare a energiei hidraulice;
- stabilirea unei structuri originale pentru un grup de generare a energiei hidraulice în concepție mecatronică; identificarea unor metode de transformare a unor structuri clasice de grupuri de generare a energiei hidraulice în grupuri inteligente;
- concepția și realizarea unor sisteme de acționare inteligente în care sunt integrate grupurile propuse urmată de testarea și experimentarea acestora pentru determinarea performanțelor;
- concepția și realizare unor blocuri electronice destinate comenzilor specifice echipamentelor de automatizare hidraulice convenționale și proporționale, precum și achizițiilor de date de la traductoarele integrate în sistemele propuse;
- analiza teoretică a modelelor de grupuri de generare a energiei hidraulice propuse;

- elaborarea pachetelor de programe aferente destinate comenzii, achiziției, prelucrării și stocării datelor obținute în procesele de măsurare și de cercetare experimentală;
- conceperea și prezentarea unor metodologii de testare;
- testarea experimentală în vederea determinării comportării dinamice a sistemelor propuse;
- optimizarea constructiv-funcțională a sistemelor propuse.

Atât în cazul studiului teoretic, cât și al celui experimental, s-au analizat și interpretat rezultatele obținute.

Prin prisma obiectivelor propuse, contribuțiile autorului, în această lucrare, pot fi sintetizate după cum urmează:

- Contribuții la analiza stadiului actual de dezvoltare a grupurilor de generare a energiei
 - efectuarea unui studiu cuprinzător asupra grupurilor de generare a energiei, identificare unor structuri mecatronice de asemenea grupuri, cu evidențierea particularităților acestora;
 - analiza comparativă a grupurilor de generare a energiei hidraulice;
 - stabilirea structurii de bază a unui grup convențional de generare a energiei hidraulice;
 - prezentarea principalelor tendințe și perspective în dezvoltarea grupurilor de generare a energiei hidraulice;
 - stabilirea structurii unui grup de generare a energiei hidraulice în concepție mecatronică, identificarea caracteristicilor acestuia precum și a criteriilor de performanță și a principalelor surse de perturbații;
 - identificarea unor grupuri de generare a energiei convenționale ce urmează a fi transformate în grupuri inteligente, cu o structură mecatronică;
 - analiza stadiului actual în domeniul cercetării experimentale a grupurilor de generare a energiei hidraulice și stabilirea principiilor de realizare a unor sisteme inteligente de testare experimentală a acestora.
- Contribuții la identificarea unor modele constructive de grupuri de generare a energiei hidraulice în concepție mecatronică
 - stabilirea structurii modelelor de grupuri de generare a energiei, în concepție mecatronică, ce urmează a fi realizate și testate;
 - proiectarea invertorului, plăcii de achiziție și control și prezentarea principiului de funcționare;
 - integrarea unui invertor tipizat în structura unui grup de generare a energiei hidraulice clasic, proiectarea blocului electronic de achiziție și comandă și identificarea unui calculator de proces pentru comanda unei asemenea structuri;
 - proiectarea blocului electronic pentru alimentarea cu energie electrică dar și pentru funcții de protecție destinat grupului de 15kW;
 - implementarea modelelor de grupuri de generare a energiei hidraulice propuse în structura unor sisteme de acționare inteligente (sistem de poziționare hidraulic de precizie, sistem de reglare a turației unui motor hidraulic rotativ, sistem pentru determinarea experimentală a densității fluidului de lucru);
- Contribuții la analiza teoretică a unui grup de generare a energiei hidraulice
 - identificarea ecuațiilor de bază folosite la modelarea matematică a sistemelor hidraulice;
 - stabilirea influenței mediului de lucru asupra performanțelor sistemului;

- elaborarea modelului matematic pentru grupul de generare a energiei hidraulice (stabilirea schemei de principiu, dimensionarea pompei, calculul teoretic al cilindrului pe baza mai multor metode identificate în literatură, la care se adaugă o metodă originală, stabilirea ecuațiilor ce formează modelul matematic);
 - simularea numerică a funcționării sistemului bazată pe facilitățile mediilor de simulare Matlab Simulink, Amesim și a extensiei Simscape a mediului de programare Matlab-Simulink;
 - interpretarea rezultatelor obținute în urma simulării și formularea unor concluzii privind comportarea statică și dinamică a grupului analizat teoretic.
- Contribuții privind implementarea modelelor dezvoltate în sisteme de acționare hidraulice inteligente
- a. Pentru sistemul de reglare a turației unui motor hidraulic rotativ în care a fost integrată varianta de grup de generare a energiei cu puterea de 1.5kW:
 - realizarea unui program de simulare în mediul Amesim în scopul realizării analizei teoretice a sistemului;
 - realizarea unor programe de lucru în mediul LabView destinate analizei experimentale a sistemului real; aceste programe permit comanda inverterului, a distribuitorului precum și achiziția datelor de la traductoarele prezente în sistem;
 - analiza comparativă a rezultatelor teoretice și experimentale obținute;
 - realizarea unui sistem pentru monitorizarea simultană a temperaturii în puncte multiple, concepție proprie;
 - realizarea unui sistem pentru determinarea cilindrului unei pompe cu parametrii geometrici cunoscuți, prin procesare de imagine, algoritm propriu.
 - b. Pentru sistemul de reglare a presiunii integrat în varianta de grup de generare a energiei hidraulice cu puterea de 4kW:
 - studierea documentației regulatorului original scris în c++;
 - simularea funcționării regulatorului în scenarii diferite;
 - implementarea unui regulator ce realizează o funcție similară;
 - testarea și validarea acestuia.
 - c. Pentru sistemul de reglare a poziției
 - cercetări cu privire la modul de interfațare cu unitatea de poziționare alimentată de grup;
 - proiectarea și realizarea elementelor necesare interfațării controlerului HNC100 cu PC-ul de control;
 - calibrarea traductoarelor și implementarea unui program de lucru în cod mașină;
 - simularea compatibilității cu regulatorul de presiune;
 - efectuarea de teste și experimente;
 - validarea rezultatelor.
 - d. Pentru standul de măsurare a densității mediului
 - implementarea algoritmilor de test în LabView;
 - gestionarea și procesarea rezultatelor experimentale;
 - procesare inițială în Excel a rezultatelor pentru verificare;
 - implementarea unui program în Matlab care automatizează etapele de gestionare, prelucrare, generare rezultate;
 - interpretare rezultate.
- Contribuții privind conectarea sistemelor la internetul lucrurilor (IoT)
- cercetări privind posibilitatea de a utiliza serviciile Microsoft Azure pentru IoT;
 - identificarea unor soluții alternative: Amazon AWS, ThingSpeak, SparkFun.io;

- dezvoltare de aplicații IoT cu ThingSpeak, inițial pe calculator și apoi direct pe Raspberry Pi;
- modificarea programului grupului de 1.5kW pentru a fi conectat la propria platformă de monitorizare ThingSpeak.

Pe seama rezultatelor obținute cu echipamentele avute la dispoziție dar și cele proiectate se poate afirma că grupurile de generare a energiei hidraulice realizate au fost aduse la standardele de performanță ridicată, existente pe piață la momentul proiectării acestora, cu costuri mult reduse comparativ cu cele deja prezente pe piață și de asemenea într-o formă compactă.

VII.1 Direcții de continuare a cercetărilor deschise de teza de doctorat

Trăim într-o lume în care fiecare om are cel puțin un dispozitiv conectat la internet care generează și transmite constant date. Datele acestea sunt prelucrate pentru numeroase scopuri variind de la studiul somnului, monitorizarea pulsului și până la stocarea intereselor personale, obiceiurile cu privire la cumpărături, istoricul navigării pe internet, etc.

Și în rândul „lucrurilor” a apărut acest concept denumit „Internetul Lucrurilor” (IoT) dar cu un scop diferit, acela de a optimiza producția, crește eficiența, reduce efortul fizic realizat de persoane, gestiona mai bine mașinile unelte și chiar fabrici întregi. Informațiile preluate de la aceste „lucruri” depind de tipurile de senzori integrați în sisteme iar pentru o fabrică întreagă volumul de date generat este exorbitant. BigData este conceptul care se ocupa de stocarea acestuia iar algoritmi de inteligență artificială (Machine Learning) trebuie să studieze datele, să le gestioneze și prelucreze pentru a optimiza procesele în mod automat.

În cadrul acestei teze s-au studiat trei grupuri de generare a energiei hidraulice. Primele două au fost conectate la un *serviciu IoT* de monitorizare iar datele preluate de la acestea pot fi ulterior prelucrate pentru a extrage mai multe informații.

Mecanismul prin care se poate realiza controlul de la distanță lipsește, acest lucru fiind o limitare a platformei ThingSpeak care nu suportă *comunicație bidirecțională*. Fără acest mecanism datele obținute nu pot fi utilizate pentru a controla o acțiune anume iar comunicarea directă între două „lucruri” este imposibilă. Aceste limitări totuși sunt o oportunitate pentru viitoarele dezvoltări ale acestor grupuri, modificările realizate deja, fiind o fundație solidă la care lipsește doar un software adecvat.

Securitatea este o problemă importantă în aplicațiile IoT și chiar imperativ necesară în cazul implementării comunicației bidirecționale. Fabricile modernizate pentru a fi conectate sunt constant atacate atât din exteriorul rețelei (de pe internet) cât și din interior (chiar de angajați); algoritmi de protecție pentru utilizare improprie trebuie să fie foarte bine gândiți. Soluția pentru atacuri ce provin din exteriorul fabricii constă în utilizarea unei rețele de internet al lucrurilor industriale (IIoT); acest tip de rețea aduce îmbunătățiri securității în comparație cu standardele IoT prin utilizarea unor certificate pentru autentificare și parole dinamice [25]. Acest subiect trebuie să fie studiat și dezvoltat în continuare pentru a se putea implementa comunicarea bidirecțională în sistemele inteligente realizate în condiții de siguranță.

Standul pentru determinarea densității mediului de lucru este original și ar putea fi brevetat. Pentru ca acest lucru să fie posibil trebuie să fie validat din punct de vedere experimental, optimizat și miniaturizat; pe scurt, trebuie regândit pentru a fi un accesoriu ușor integrabil în orice structură. Informațiile obținute de la acesta trebuie să fie prezentate sub forma unui raport care este trimis automat operatorului la intervale fixe și rezultatele prelucrate trebuie să reprezinte în final caracteristicile mediului hidraulic.

Grupul de generare a energiei hidraulice cu puterea de 15kW ar trebui să fie realizat practic sub forma proiectată în paragraful III.3, și anume sistem de Pornit/Oprit cu câteva protecții implementate. Ulterior, structura trebuie să fie completată cu traductoare, sisteme de acționare și controler pentru a se alătura celor două grupuri deja informatizate în internetul lucrurilor (IoT). Placa de control realizată pentru grupul de generare a energiei hidraulice cu puterea de 4kW (descrisă în III.2.1) este un candidat excelent și pentru acest grup, având 6 rele

ce pot acționa contactoarele și suficiente intrări digitale (cu mici modificări) pentru a realiza logica necesară pornirii și funcționării în siguranță.

În cazul standului realizat pentru determinarea cilindrului unei pompe reale sau create la o imprimantă 3D (IV.1.1 Metoda 5) există numeroase oportunități de dezvoltare din acest punct. Se poate realiza un curs interactiv cu acest stand pentru a explica mai ușor funcționarea pompelor cu roți dințate; se mai pot studia pompe cu geometrii diferite, forme atipice ale dinților sau chiar număr diferit de dinți pe fiecare roată dințată. Algoritmii de prelucrare a imaginii poate fi îmbunătățit pentru a fi mai puțin sensibil la condițiile de iluminare.

Consider că teza a adus inovații semnificative în domeniul hidraulicii, dominat în mare parte de firme mari precum Bosch-Rexroth, Eaton, Festo, etc. Se demonstrează faptul că acest domeniu nu trebuie să fie neapărat costisitor, așa cum este considerat, dimpotrivă ar trebui să fie promovat ca un domeniu deschis pentru cercetare, dezvoltare și inovare pentru oricine are dorința, motivația și timpul necesar pentru aceasta.

VII.2 Lista de lucrări publicate

1. Avram, Mihai, **Valerian-Emanuel Sârbu**, Alina-Rodica Spânu, and Constantin Bucșan. "Intelligent hydraulic power generating group" International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, 2018(3), pp. 157-162 și Lecture Notes in Networks and Systems, 48, pp. 104-114, 2019, indexat SCOPUS;
2. Avram, Mihai, Spânu, Alina-Rodica., **Sârbu Valerian-Emanuel**, "Method for controlling the hydraulic pump flow following an imposed frequency law for AC motors", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 444(4),042009, 2018, indexat SCOPUS și ISI, WOS:000467443600045;
Citări:
Fu, S., Wang, L., Lin, T., Control of electric drive powertrain based on variable speed control in construction machinery, Automation in Construction 119,103281, 2020, indexat ISI, WOS:000579045500010, FI=6,121;
3. Avram, Mihai, Constantin Nițu, Lucian Bogatu, and **Valerian Sârbu**. " Theoretical analysis of an external gear pump-methods for determining the pumping capacity" International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics 2(6), pp. 182-190, 2019, indexat SCOPUS;
Citări:
Saleem, A.M., Alyas, B.H., Shaalan, Z.A., Numerical analysis of standard-unstandard gears for an external gear pumps, International Journal of Fluid Machinery and Systems, 14(1), pp. 25-33, indexat SCOPUS.
4. Avram, Mihai, Mariana-Florentina Ștefănescu, **Valerian-Emanuel Sârbu**, and Gabriel Năstase. " Theoretical analysis of a hydraulic drive system. The influence of the work environment on the performance of the system", International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics 1(7), pp. 152-157, 2020, indexat SCOPUS;
5. Avram, Mihai, **Valerian Sârbu**, Emil Ionuț Niță, and Lucian Bogatu. "Theoretical analysis of a hydraulic energy generation system equipped with a gear pump", Lecture Notes in Networks and Systems 143, pp. 231-241, 2020, indexat SCOPUS;
6. Avram, Mihai, and **Valerian-Emanuel Sârbu**. "Upgrading Obsolete Hydraulic Power Units to Become Remotely Monitored, Energy Efficient and Intelligent", Lecture Notes in Networks and Systems 143, pp. 221-230, 2020, indexat SCOPUS;

7. **Sârbu, Valerian**, and Mihai Avram. "A novel approach for assessing the instantaneous flow rate of an external gear pump using 3d printing and computer vision", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 997(1),012060, 2020, indexat SCOPUS;

VII.3 Lucrări acceptate pentru publicare

1. Mihai AVRAM, **Valerian-Emanuel SÂRBU**, Mariana-Florentina ȘTEFĂNESCU ” STUDY OF A TEST STAND FOR DETERMINING THE OIL DENSITY IN HYDRAULIC SYSTEMS” ICECCME 2021 The International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering.

VIII.REFERINȚE

- [1] „Free Dictionary Intelligent Machine,” Farlex Inc, [Interactiv]. Available: <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/intelligent+machine>.
- [2] D. Octavian și D. I. Grigore, TEHNOLOGII SI SISTEME INTEGRATE DE FABRICATIE PENTRU MECATRONICA, PRINTECH, 2009.
- [3] Rexroth, „Ready for Industry 4.0: Connected hydraulics,” Rexroth, Iulie 2017. [Interactiv]. Available: <https://m.boschrexroth.com/en/web/xc/trends-and-topics/directions/ready-for-industry-4-0-connected-hydraulics>. [Accesat Ianuarie 2018].
- [4] Electromechanical Team , „Is Industry 4.0 Driving the Need for Smarter Motion Control Products?,” Parker, Aug 2017. [Interactiv]. Available: <http://blog.parker.com/is-industry-40-driving-the-need-for-smarter-motion-control-products>.
- [5] <http://empoweringpumps.com/ac-induction-motors-versus-permanent-magnet-synchronous-motors-fuji/>, „ac-induction-motors-versus-permanent-magnet-synchronous-motors-fuji,” empoweringpumps, [Interactiv]. Available: <http://empoweringpumps.com/ac-induction-motors-versus-permanent-magnet-synchronous-motors-fuji/>.
- [6] Martin Endres, „Pump control: Which is the right one?,” Rexroth, 29 Nov 2017. [Interactiv]. Available: <http://blogs.boschrexroth.com/en/topics/decision-making-hydraulic-pump-control/>. [Accesat 03 Ianuarie 2018].
- [7] M. G. R. S. Arthur Akers, Hydraulic Power System Analysis, CRC Press, 2006.
- [8] „Mathematical Modeling and Experimental Research of Characteristic Parameters Hydrodynamic Processes of a Piston Axial Pump,” *Journal of Mechanical Engineering* , nr. Strojniški vestnik, p. 6, 2008.
- [9] D. S. Haack, „Hydraulic valves will benefit from connectivity,” BoschRexroth, 30 Aug 2017. [Interactiv]. Available: <http://blogs.boschrexroth.com/en/topics/hydraulic-valves-technology-will-benefit-from-networkability-interview-dr-steffen-haack/>.
- [10] C. Gonzalez, „IoT Empowers Control in Fluid Applications,” hydraulicspneumatics, 14 11 2017. [Interactiv]. Available: <http://www.hydraulicspneumatics.com/hydraulic-fluids/iot-empowers-control-fluid-applications>.
- [11] J. Joyce, „The Powerful Impact of Preventive Maintenance,” HydraulicsPneumatics, 6 Dec 2017. [Interactiv]. Available: <http://www.hydraulicspneumatics.com/hydraulic-fluids/powerful-impact-preventive-maintenance>.
- [12] [Interactiv]. Available: <https://conspecte.com/marketing/ciclul-de-viata-al-produsului.html>.
- [13] Martin Endres, „Pump control – simple or intelligent?,” Rexroth, 6 Dec 2017. [Interactiv]. Available: <http://blogs.boschrexroth.com/en/topics/hydraulic-pump-control-systems-simple-or-intelligent/>. [Accesat 01 Ianuarie 2018].
- [14] „AWS IoT Core,” Amazon, [Interactiv]. Available: <https://aws.amazon.com/iot-core/>.
- [15] R. A. Mammano, Fundamentals of POWER SUPPLY DESIGN, Texas Instruments, 2017.
- [16] B. Rexroth, „Datasheet PGF2x,” [Interactiv]. Available: https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/re10213_2015-

- 05.pdf?db=brmv2&lvid=1188621&mvid=13760&clid=20&sid=FA0A4812C9BBE797FCD1096A16DA FABA.borex-tc&sch=M&id=13760,20,1188621. [Accesat 02 1 2019].
- [17] „IE2 Electric Motor | 4,00 kW - 4P - Frame 112 - B5,” Hoyer Motors, [Interactiv]. Available: <https://hoyermotors.com/products/motors/ie2-industrial-motors/3141120200>. [Accesat 10 12 2018].
- [18] M. AVRAM, C. BUCȘAN, S. MIU, A. SPÂNU și M. TĂNASE, „incdmtm,” 2011. [Interactiv]. Available: <http://www.incmtm.ro/editura/documente/pag.%20311-314.Modular%20Intelligent.pdf>. [Accesat 11 2019].
- [19] G. Viorel, M. Avram, D. P. Duminiță și C. Udrea, Hidronica si pneutonica, Bucuresti: Editura Universitară, 2008.
- [20] C. N. L. B. V. S. Mihai Avram, „THEORETICAL ANALYSIS OF AN EXTERNAL GEAR PUMP-METHODS FOR DETERMINING THE PUMPING CAPACITY-,” *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, vol. 1, nr. 6, pp. 250-258, 2019.
- [21] V. a. M. A. Sarbu, „A novel approach for assessing the instantaneous flow rate of an external gear pump using 3d printing and computer vision,” în *OP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 997, no. 1, p. 012060., Bucharest, 2020.
- [22] M. Avram, Actionari hidraulice si pneumatice, Bucharest: Editura Universitara, 2005.
- [23] Wikipedia. [Interactiv]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Simcenter_Amesim.
- [24] A. Hughes și B. Drury, Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, 4th Edition, UK: Newnes, 2013.
- [25] W. C. W. M. Sadeghi AR, „ Security and privacy challenges in industrial internet of things,” *InDesign Automation Conference (DAC)*, nr. 52nd ACM/EDAC/IEEE 2015, 2015 .
- [26] M. Avram, D. Duminița, C. Udrea și V. Gheorghe, HIDRONICA SI PNEUTRONICA - Aplicatii -, Bucuresti: Editura Universitara, 2008.
- [27] Rexroth, „4WRE,” 11 2012. [Interactiv]. Available: https://dc-kr.resource.bosch.com/media/kr/products_9/data_sheet_8/4wree/re29061_2012-11_wree.pdf.
- [28] M. Avram, V.-E. Sârbu, A.-R. Spânu și C. Bucșan, „ijomam :INTELLIGENT HYDRAULIC POWER GENERATING GROUP,” 02 2017. [Interactiv]. Available: http://ijomam.com/wp-content/uploads/2017/02/pag.-157-162_INTELLIGENT-HYDRAULIC-POWER-GENERATING-GROUP.pdf. [Accesat 11 2019].
- [29] Microchip, „ATSAM3S2A,” [Interactiv]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATSAM3S2A>.
- [30] Panasonic, „AMG8834,” [Interactiv]. Available: <https://industrial.panasonic.com/ww/products/sensors/built-in-sensors/grid-eye/models/AMG8834>.
- [31] Element14, „NFC Development kit for Raspberry PI,” NXP, [Interactiv]. Available: <https://www.element14.com/community/docs/DOC-86578/1/nfc-development-kit-for-raspberry-pi>.
- [32] Moog, „RKP with Digital Control for High Performance Machines,” Moog, 2017. [Interactiv]. Available: <http://www.moog.com/products/radial-piston-pumps/rkp-with-digital-control-for-high-performance-machines.html>.
- [33] M. Avram, A. .. și a. V. Sârbu, „Method for controlling the hydraulic pump flow following an imposed frequency law for AC motors,” *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, nr. DOI: 10.1088/1757-899X/444/4/042009, p. 444(4):042009, 2018.