UNIVERSITATEA NAŢIONALĂ DE ŞTIINŢĂ ŞI TEHNOLOGIE

POLITEHNICA BUCUREŞTI

ŞCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE ELECTRICĂ

REZUMAT EXTINS
TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII PRIVIND AUTOMATIZAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE A STANDURILOR DE ÎNCERCARE PENTRU PROPULSIE NAVALĂ

Doctorand:

Ing. Drd. Mirela-Letiţia VASILE

Conducător ştiinţific:

Prof.Univ.Dr.-Ing. Valentin NĂVRĂPESCU

BUCUREŞTI
2025

Cuprins

Pag.

Notații și simboluri **5**

INTRODUCERE **6**

1. Obiectivele lucrării de doctorat **6**

CAPITOLUL 1

CERCETAREA ȘI DEZVOLTAREA SOLUȚIEI UNUI SISTEM DE COMANDĂ ȘI CONTROL PENTRU STAND DE LABORATOR PENTRU MOTOARE DIESEL NAVALE **7**

1.1. Obiectivele colectivului laboratorului de motoare diesel navale **7**

1.2. Descrierea instalației de propulsie **7**

1.3. Componenţa instalaţiei de propulsie **7**

1.4. Proiectarea sistemului de comandă şi control al ansamblului de propulsie **8**

1.4.1. Componentele electrice ale instalaţiei de propulsie **9**

1.4.1.1. Dulap de automatizare (DA) **10**

1.4.1.2. Dulap de forţă (DF) **10**

1.4.1.3. Consolă de comandă (CC) **11**

1.4.1.4. Senzori şi traductoare **11**

1.4.1.5. Cablaj şi cutii de conexiune **11**

1.4.2. Achiziţia parametrilor de intrare/ ieşire **12**

1.4.2.1 Parametrii de intrare/ieşire ai întregului sistem **12**

1.5. Testarea componentelor sistemelor de comandă şi control al standului de Laborator pentru motoare diesel navale **13**

1.5.1. Introducere **13**

1.5.2. Condiții tehnice privind testarea standului de laborator pentru motoare diesel navale **14**

1.5.3. Pregătirea instalațiilor pentru punerea în funcțiune a grupului de propulsie 15

1.5.4 Testarea IP a standului LMDN 15

1.6 Contribuţii privind optimizarea sistemului de comandă şi control 17

1.6.1. Optimizarea ecranelor de monitorizre a aplicaţiei 17

1.6.2. Comunicaţia motorului cu PLC-ul 18

1.7 Analiza rezultatelor experimentale obţinute în standul LMDN 20

1.7.1. Testarea şi verificarea performanţelor motorului 20

1.7.2. Compararea rezultatelor experimentale 21

CAPITOLUL 2

CONTRIBUŢII LA MODERNIZAREA ŞI ÎMBUNĂTĂŢIREA AUTOMATIZĂRII UNUI STAND DE PROBĂ PENTRU TESTAREA PROPULSIEI NAVALE CU TURBOMOTORU ST40M 23

2.1. Descriere turbomotor ST40M 23

2.2. Configurația standului de probă pentru testarea propulsiei navale bazate pe turbomotorul ST40M 23

2.3. Dinamometrele şi instalaţiile electrice auxiliare 23

2.3.1. Cutia electrică pompe ungere frâne 24

2.3.2. Automatizarea instalaţiei electrice a unei pompe racire cu apă pentru frâne 25

2.4. Echipamentele de achiziţie date – stand turbomotoare 26

2.4.1. Sistemul de comandă şi control al turbomotorului 26

2.4.2. Consola de achiziţie a parametriilor auxiliari 27

2.4.3. Sistemul de achiziţie CENCO 27

2.4.3.1. Instrumentarea instalaţiilor auxiliare 28

2.4.3.2. Logica achiziţiei de date pentru instalaţiile auxiliare 28

2.4.3.3. Logica program cu comandă şi control al instalaţiilor auxiliare 28

2.5. Calculul puterii şi cuplului – Stand turbomotoare 29

CAPITOLUL 3

CONTRIBUŢII LA AUTOMATIZAREA INSTALAŢIILOR ELECTRICE PENTRU STANDURI DE ANSAMBLE MECANICE PENTRU PROPULSIE NAVALĂ **33**

3.1. Automatizarea instalaţiei electrice pentru standul de încercare reductor-inversor AI **33**

3.1.1. Echipament testat **34**

3.1.2. Descriere funcţională software de automatizare **35**

3.2. Proiectarea şi automatizarea instalației electrice pentru standul de încercare a reductorului inversor **37**

3.2.1 Proiectarea dulapului de automatizare **37**

3.2.2 Componenţa dulapului de automatizare **38**

3.2.3 Proiectarea aplicaţiei software de comandă şi monitorizare a reductorului inversor **39**

3.2.4 Interfața grafică. Prezentare **39**

3.2.4.1. Ecran principal cu parametrii **39**

3.2.4.2. Ecran legendă şi avertizări **40**

3.2.4.3. Ecran Teste **40**

3.2.5. Program principal **41**

3.2.5.1. Definire variabile analogice şi scalare **41**

3.2.5.2. Definire variabile digitale **41**

3.2.5.3 Dezvoltarea aplicaţiei software **42**

CONCLUZII **43**

1. CONCLUZII GENERALE **43**

2. CONTRIBUȚII ORIGINALE **43**

3. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ **44**

BIBLIOGRAFIE **44**

ANEXE **45**

1. DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII **45**

Notații și simboluri

LMDN	**L**aborator **M**otoare **D**iesel **N**avale
CPU	**C**entral **P**rocessing **U**nit (Unitate de procesare centrală)
I/O	**I**nput/**O**utput (Intrare/Ieșire)
LCD	**L**iquid **C**rystal **D**isplay (Afișor cu cristale lichide)
LED	**L**ight **E**mitting **D**iode (Diodă electroluminiscentă)
PC	**P**ersonal **C**omputer (Calculator personal)
UPS	**U**ninterruptible **P**ower **S**upply (Sursă de alimentare cu acumulator)
LCP	**L**ocal **C**ontrol **P**anel (Panou de control local)
PLC	**P**rogammable **L**ogic **C**ontroller (Automat programabil)
DCS	**D**istributed **C**ontrol **S**ystem (Sistem distribuit de control)
SCADA	**S**upervisory **C**ontrol **a**nd **D**ata **A**cquisition (Sistem de control și achiziție de date)
HMI	**H**uman **M**achine **I**nterface (Interfață operator)
ITT	**I**nter **T**urbine **T**emperature (Temperatură gaze de evacuare între turbine)
JB	**J**unction **B**ox (Cutie de Joncțiune)
TPC	**T**ouch **P**anel **C**omputer (Calculator cu ecran senzitiv)
OP	**O**perator **P**anel (Panou operator)
NH	Turația compresorului de înaltă presiune
NL	Turația compresorului de joasă presiune
NTP	Turația turbinei de putere
IP	Instalaţie de propulsie
SAE	**S**ociety of **A**utomotive **E**ngineers (Societatea Inginerilor din Domeniul Auto)

INTRODUCERE

1. Obiectivele lucrării de doctorat

Scopul principal al tezei de doctorat este de a contribui la dezvoltarea şi optimizarea proceselor de automatizare a instalaţiilor electrice ale standurilor de încercare pentru propulsia navală, cu scopul de a îmbunatăţii eficienţa, siguranţa şi performanţa acestora. Aceste cercetări vor ajuta la o mai bună întelegere a acestor sisteme de automatizare, la utilizarea mai clară şi precisă, la o mai bună eficienţă a proceselor, la modalităţi de înţelege şi interpretare a altor sisteme asemanatoare, la modalităţi de procesare mai rapide şi verificarea instalaţiilor prin verificarea unor parametrii. Controlul şi comanda acestor sisteme ajută la reducerea consumului de combustibil, fiabilitate şi eficienţă.

CAPITOLUL 1

CERCETAREA ȘI DEZVOLTAREA SOLUȚIEI UNUI SISTEM DE COMANDĂ ȘI CONTROL PENTRU STAND DE LBORATOR PENTRU MOTOARE DIESEL NAVALE

1.1. **Obiectivele colectivului Laboratorului de Motoare Diesel Navale**

Acest stand de laborator pentru motoare diesel navale îşi propune dezvoltarea abilităţilor de operare şi mentenanţă a instalaţiei de propulsie. Aici studenţii învaţă componentele instalaţiei de propulsie, află mai multe despre construcţia de motoare cu ardere internă în patru timpi, învaţă cum să supravegheze corect parametrii de funcţionare a motorului diesel naval, cei de funcţionare a reductorului de turaţie şi parametrii de funcţionare a frânei hidraulice. Printre lucrările de laborator pe care le efectuează se numară şi exerciţii de încărcare succesivă cu sracină a motorului diesel naval şi interpretarea comportării acestuia, dar şi determinarea practică a presinii medii indicate şi a presiunii de ardere la motoarele în funcţiune.

1.2. **Descrierea instalaţiei de propulsie**

Instalaţia de propulsie este o instalaţie complexă destinată studenţilor. Unitatea de antrenare este un motor diesel Volvo Penta d16H, cu injecţie de combustibil antrenat de un demaror pneumatic. Ansamblul instalaţiei de propulsie are în componenţa sa un rezervor de combustibil, instalaţie de ungere, răcitor de ulei, filtre de ulei, vane de comandă şi de închidere, aparatură de măsură şi protecţie.

Ansamblul instalaţiei de propulsie este echipat cu sistem de comandă şi supraveghere pentru conducerea automată a proceselor de lucru şi pentru supravegherea continuă a parametrilor funcţionali. Sistemul de comandă asigură pornirea instalaţiei de propulsie, monitorizarea parametrilor de lucru şi adaptarea funcţionării la modificarea parametrilor de intrare şi de ieşire în limitele prescrise, protecţia şi oprirea funcţionării pentru prevenirea avariilor.

1.3. **Componenţa instalaţiei de propulsie**

Echipamentul de propulsie este dezvoltat pe baza unui motor naval Volvo Penta cu caracteristici funcționale capabile să asigure parametrii tehnologici impuși.

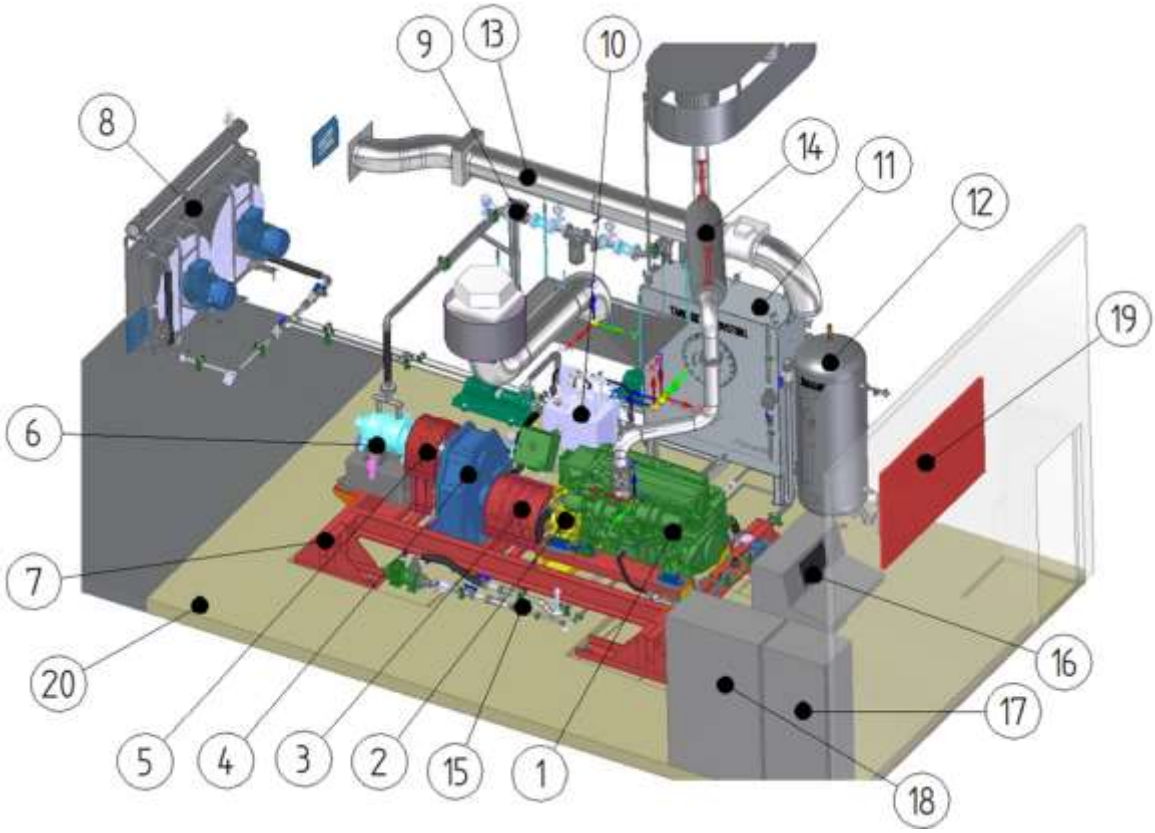


Fig. 1.1. Laborator motoare diesel navale.

Componența instalației de propulsie este prezentată în fig. 1.1 şi conţine: Motor termic Volvo Penta (1), Reductor-Inversor (2), Ax cardanic (3), Multiplicator (4), Cuplaj elastic (5), Frână hidraulică (6), Ansamblu batiu (7), Schimbător de căldură (8), Ansamblu circuit frână hidraulică (9), Ansamblu circuit ungere multiplicator (10), Ansamblu instalație alimentare combustibil (11), Ansamblu instalație aer comprimat (12), Ansamblu instalație ventilație (13), Ansamblu instalație de evacuare (14), Ansamblu instalație răcire motor (15), Panou de comandă (16), Dulap de automatizare (17), Dulap de forță (18), Panou-ecran repetitor (19), Ansamblu boxă , Ansamblu paiol (20).

1.4 Proiectarea sistemului de comandă şi control al ansamblului de propulsie

Proiectarea sistemului de comandă şi control al întregului ansamblu de propulsie a fost creată pe baza listei de parametri şi tinând cont de condiţiile de pornire şi funcţionare ale întregului ansamblu.

Sistemul de automatizare realizează pornirea, funcționarea și oprirea motorului diesel în cadrul standului de LMDN. El asigură achiziția parametrilor în regim tranzitoriu și în funcționare la regim, salvând datele pentru vizualizare și prelucrare. Sistemul de automatizare furnizează comenzile necesare testării și opririi în siguranță permițând efectuarea testelor.

Componența sistemului de automatizare este ilustrată în fig. 1.2:

Am contribuit la realizarea schemei bloc a sistemului de control al automatizării motorului Volvo Penta D16 ceea ce a ajutat la identificare şi definirea principalelor componente ale sistemului, stabilirea conexiunilor între echipamente şi vizualizarea generală a echipamentelor. Această schemă a ajutat la realizarea schemelor electrice detaliate, ținând cont de dimensiunile componentelor electrice, astfel încât ele să respecte caracteristicile tehnice şi spațiul disponibil. Schema bloc a permis o înțelegere clară a arhitecturii generale a sistemului şi o implementare eficientă în stand.

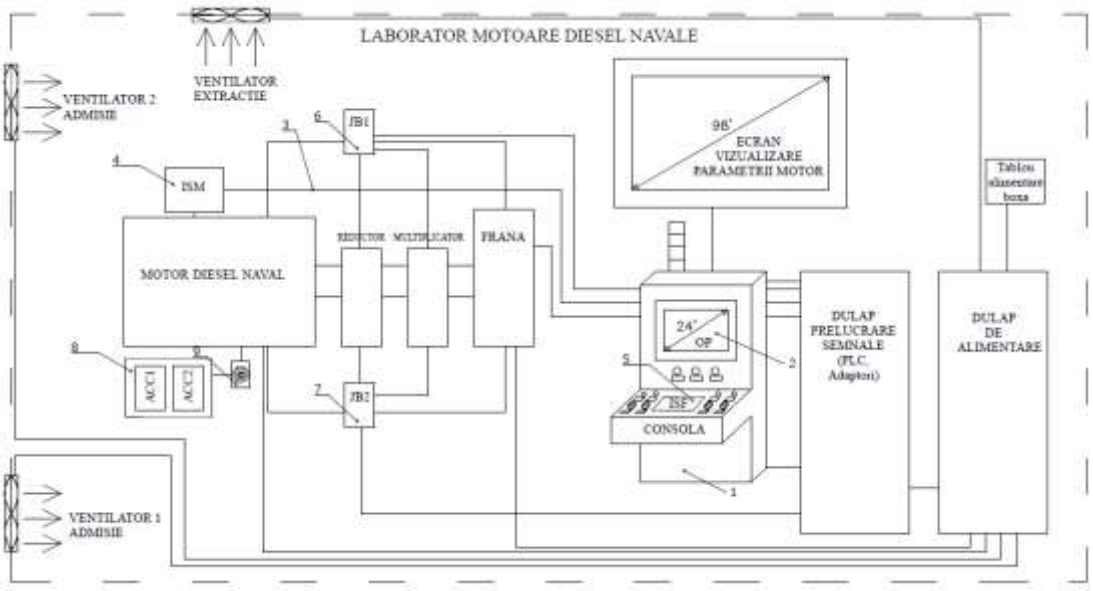


Fig. 1.2. Schema bloc a sistemului de control al automatizării motorului Volvo Penta D16.

1. Consolă;
2. OP – Panou operator;
3. Cabluri conexiune;
4. ISM – Instalație de supraveghere motor;
5. ISF – Instalație de supraveghere frână;
6. JB1 – Cutie de conexiuni semnale analogice;
7. JB2 – Cutie de conexiuni semnale digitale;
8. Acumulatori pornire motor;
9. Contact pornire motor.

1.4.1 Componentele electrice ale instalației de propulsie

Am contribuit la realizarea schemelor electrice detaliate, la alegerea echipamentelor electrice în funcție de caracteristicile tehnice, la întocmirea necesarului de materiale şi echipamente electrice, la realizarea achiziționării materialelor şi echipamentelor, la execuţia şi conexiunea componentelor electrice.

1.4.1.1 Dulapul de automatizare (DA)

Afişarea parametrilor şi operarea se realizează prin intermediul panoului operator, produs de firma Emerson Automation Solutions, programat de asemenea în concepție proprie COMOTI. Interfaţa automat programabil – proces, este realizată de echipamentele electrice aflate pe instalația de propulsie.

Dulapul electric mai conține şi circuitele de alimentare corespunzătoare atât pentru diferitele linii de măsură cât şi pentru comanda elementelor de execuție. Lista de parametri şi schemele electrice fac parte din documentația de execuţie a Dulapului de automatizare şi descriu componența sa.



Fig. 1.3. Dulapul de automatizare (DA).

1.4.1.2 Dulapul de forţă (DF)

Cuprinde trei convertizoare pentru motorul ventilatorului de răcire apă-frână, pentru pompa principală de apă-frână și pentru pompa secundară de apă-frână şi alte echipamente de protecţie circuite electrice.



Fig. 1.4. Dulap de forţă (DF).

1.4.1.3 Consola de comandă (CC)



Fig. 1.5. – Consola de comandă.

Consola cuprinde panoul operator pe care se regăsește interfața cu utilizatorul, maneta de comandă (MC) a motorului diesel, panoul operator al motorului, panoul operator al frânei, precum și alte echipamente de comandă și semnalizare.

1.4.1.4 Senzori si traductoare

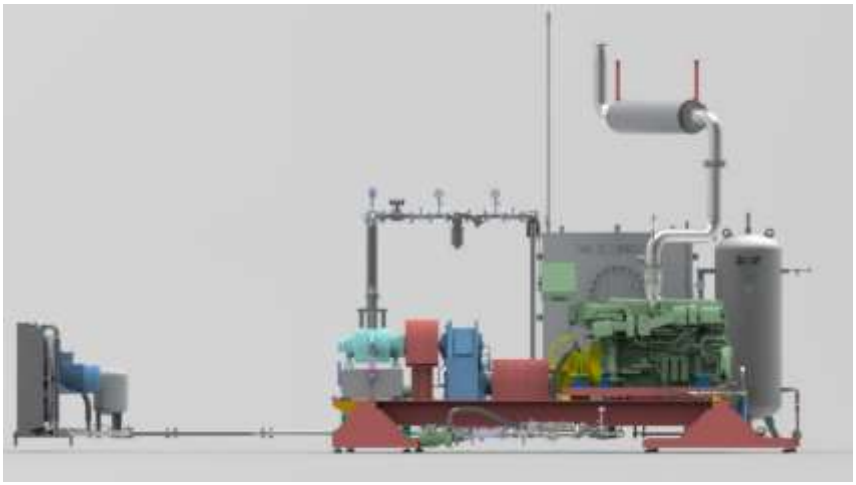


Fig. 1.6. – Ansamblul instalației de propulsie (vedere laterală).

Traductoarele (de temperatură, presiune, nivel și debit) sunt poziţionate pe ansamblul instalației de propulsie, în diverse puncte astfel încat să preia parametrii importanţi ai instalaţiei.

1.4.1.5 Cablaj şi cutii de conexiune

Cablajul şi cutiile de conexiuni sunt poziţionate pe ansamblul instalației de propulsie (vezi figura 1.7).

Cutiile de joncţiuni au următorul rol:

- JB1 conectează semnalele analogice;
- JB2 conectează semnalele digitale;

- JBM conectează semnalele dintre motor şi panoul de monitorizare.



Fig. 1.7. – Cutii de conexiune.

1.4.2 Achiziţia parametrilor de intrare ieşire

În urma analizări cerințelor și experienței acumulate prin proiectarea și execuția mai multor tipuri de standuri de proba de către INCDT COMOTI, am stabilit parametri analogici și digitali de intrare și de ieșire, care asigură funcționarea optimă a instalației, iar pe baza lor am ales echipamentele pentru monitorizarea și controlul motorului diesel, pentru a satisface toate cerințele impuse.

Pentru PLC am ales configurația care are la baza structura VersaMax produsă de Emerson care şi-a dovedit fiabilitatea şi în alte proiecte realizate pe baza ei. Raportul preț / fiabilitate este cel mai bun față de alte configurații bazate pe alte tipuri de procesoare. Modulele de intrare-ieșire le-am ales astfel încât să acopere numărul şi tipurile de semnale analogice şi digitale necesare proiectului.

Soluția pentru instalația de automatizare și comandă-control a standului de LMDN, rezultat al cercetării, se remarcă prin:

- dispunere optimizată a traductorilor, cutiilor de joncțiune și a dulapului local de control în încăperea de probă;
- control local modern prin panou operator cu touchscreen;
- lampă de semnalizare cu trei poziţii pentru o vizualizare rapidă,
- monitorizarea de la distanţă a parametrilor cu salvarea datelor esenţiale de funcţionare.

1.4.2.1. Parametrii de intrare/ieşire ai întregului sistem

Parametrii de intrare/ieșire ai sistemului sunt reprezentați de temperaturi, presiuni și alți parametrii importanți din instalație. Indiferent de secvenţa de funcţionare, este verificată integritatea liniilor de măsură. Linia de măsură care este în neregulă va fi semnalizată printr-un mesaj în stânga jos pe panoul operator.

1.5. Testarea componentelor sistemelor de comandă şi control al stamdului de LMDN

1.5.1. Introducere

Instalația de propulsie este dezvoltată pe baza unui motor Volvo Penta cu caracteristici funcționale capabile să asigure parametrii tehnologici impuși și are în componență ca principale elemente de test :

- Instalația de propulsie montată pe ansamblul batiu :
  - Motor diesel cu piston Volvo Penta/ D16 MH (600CP/1800 rpm);
  - Reductor-Inversor D-I.I./ DMT280H (i=2,06) ;
  - Multiplicator INCDT Comoti/ CHP220 (i=3,06) – necesar pentru creșterea turației și scăderea cuplului motor la arborele de intrare în frâna hidraulică;
  - Frână Hidraulică bidirecțională Horiba DT900-2 – necesară pentru asigurarea cuplului rezistiv (simularea elicei de propulsie de la bordul navei);
- Sistem de automatizare, comandă și supraveghere a IP a standului de LMDN ;
- Instalații auxiliare și de deservire a IP a standului de LMDN .

Prezentul program a fost elaborat specific pentru testarea instalației de propulsie a standului de LMDN și se aplică numai la testarea acestui tip de instalație de propulsie. În figura 1.8 este prezentată o parte a programului software dedicat dezvoltat în Proficy Machine Edition 10.4, pe baza căruia PLC-ul comandă secvențele de operare ale standului.

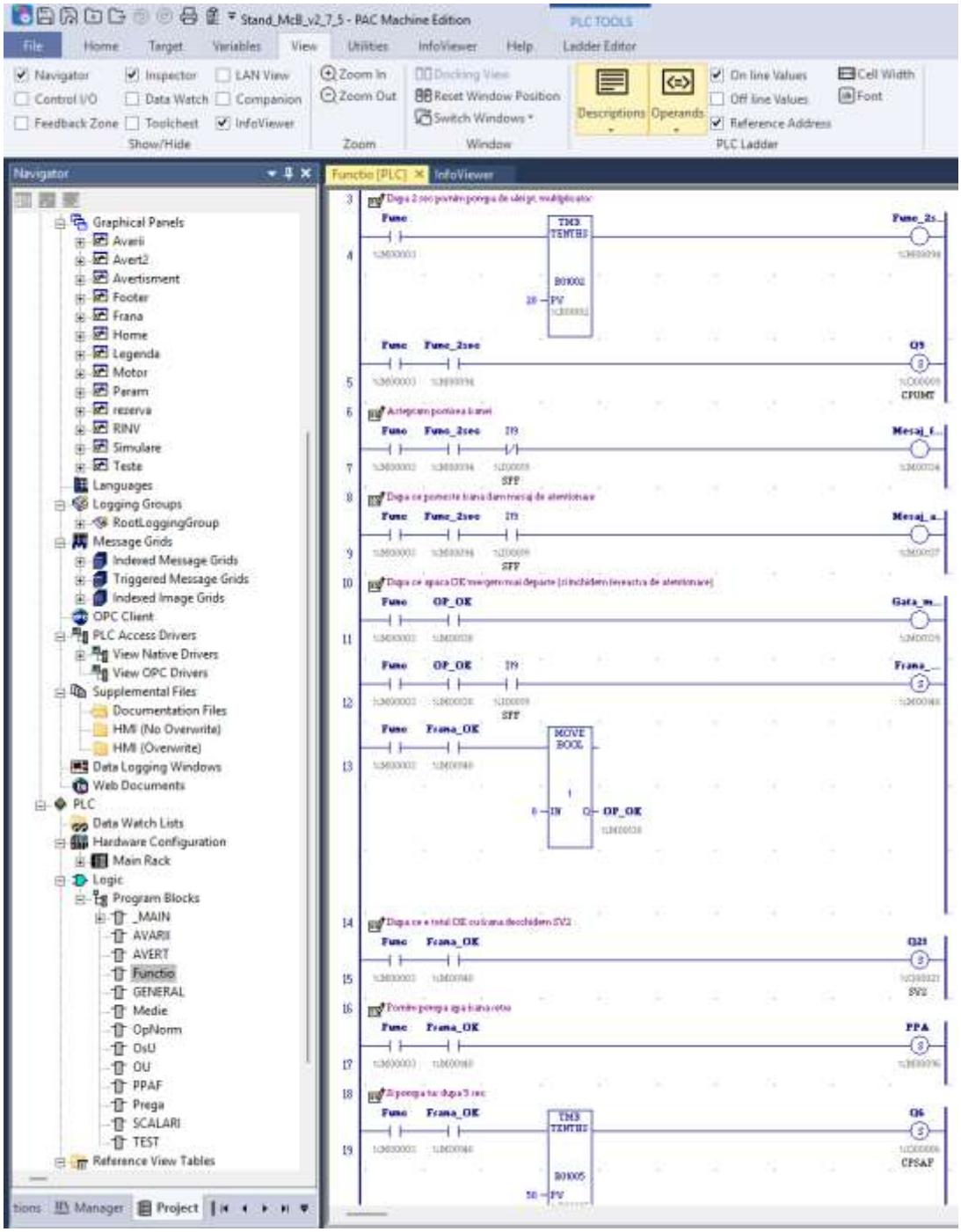


Fig. 1.8. – Secvenţe din programul de soft.

1.5.2. Condiții tehnice privind testarea laboratorului de motoare diesel navale

Fig. 1.9 prezintă o parte a software-ului implementat în PLC, programat în Proficy Machine Edition, reprezentând secvența normală de funcționare a standului de testare. Structura reflectă fluxul logic, respectând ordinea operațiilor și dependențele din cadrul procesului de control. Software-ul programat personalizat susține achiziția de date, procesarea datelor, analiza și observarea parametrilor de funcționare ai sistemului.

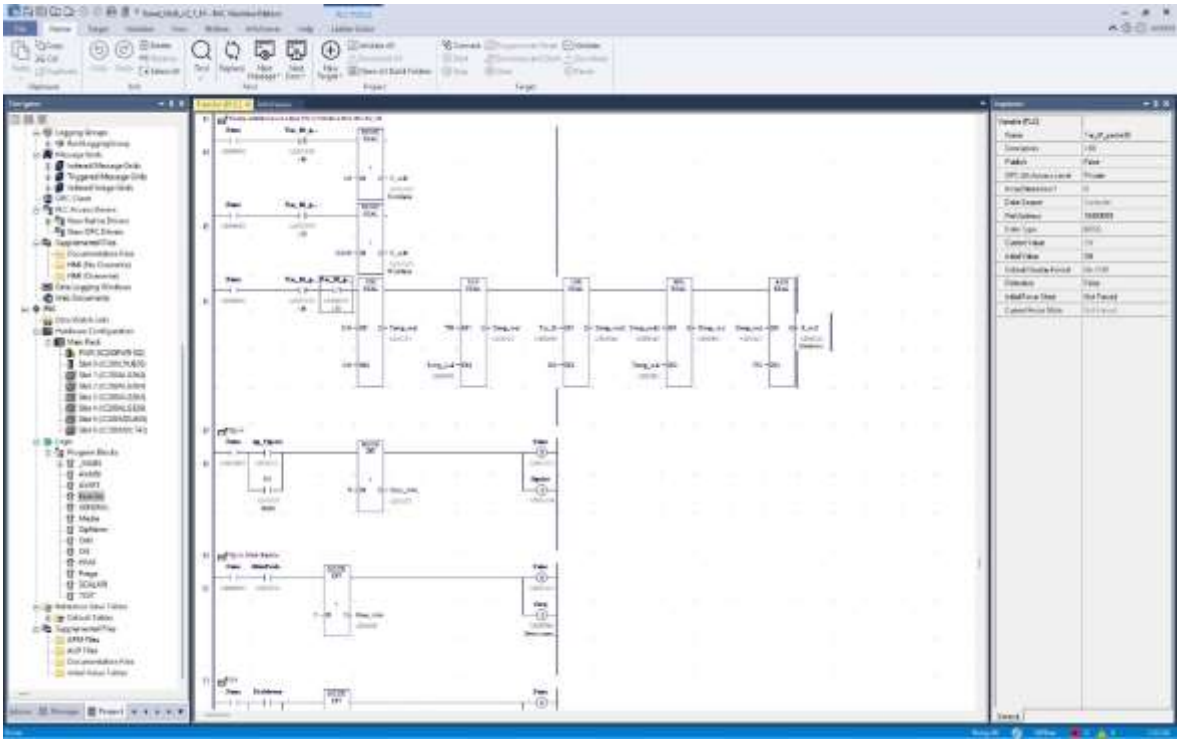


Fig. 1.9. – Reprezentare grafică implementată în soft.

1.5.3. Pregătirea instalațiilor pentru punerea în funcțiune a grupului de propulsie

Pregătirea instalațiilor pentru punerea în funcțiune a standului LMDN cuprinde trei etape :

- montarea și pregatirea echipamentelor/sistemelor instalației de propulsie ;
- testarea şi reglarea sistemelor/instalațiilor;
- verificarea sistemelor de control ale standului LMDN.

1.5.4. Testarea instalației de propulsie a standului LMDN

Testarea IP este realizată în principiu de sistemul de automatizare, care îndeplinește ca principale funcții :

- pornirea, asigurarea funcţionării şi oprirea în condiţii de siguranţă a instalației de propulsie ;
- comanda şi controlul instalației de propulsie în modul de funcţionare Simulare ;
- vizualizarea tuturor parametrilor pe panoul operator ;
- semnalizarea de avarie şi de protecţie ;
- modificarea limitelor pentru anumiţi parametri ;
- afișarea și memorarea cauzei opririi ;
- supraveghere parametri etc.

Din punct de vedere al sistemului de automatizare, funcţionarea instalației de propulsie este de tip secvenţial, având definite următoarele stări (fig. 1.10):

INIT	Stare inițială (repaus, se poate iniția pornirea)
TESTE	Teste manuale (se pot testa instalațiile)

FUNCTIONARE	Funcţionare (pornire, mers în gol, funcționare în sarcină)
OPRIRE NORMALĂ	Secvenţă oprire NORMALĂ
OPRIRE DE URGENTA	Secvenţă oprire de URGENȚĂ

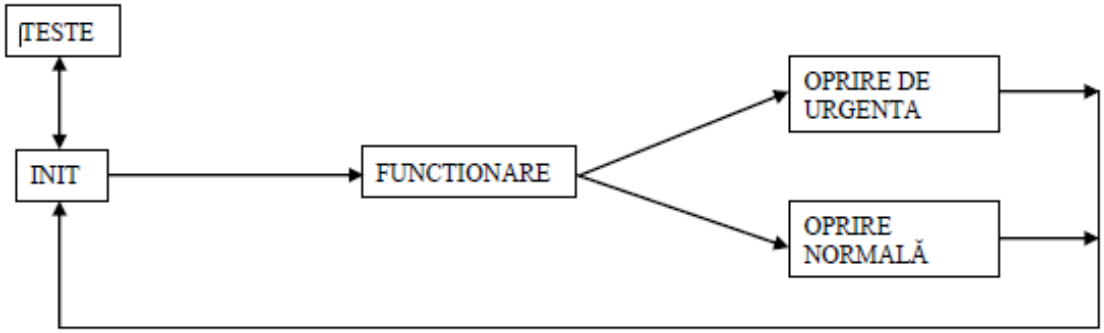


Fig. 1.10. – Stările de funcţionare ale instalației de propulsie.

La alimentarea panoului operator (PO) şi rularea normală a software-ului, pot fi afişate mai multe ecrane care sunt accesate prin butoanele din partea de jos a ecranului **PRINCIPAL** - reprezentat în fig. 1.11 sub formă de desen intuitiv am realizat o diagramă simplificată în care apar toate echipamentele principale ale standului, în care sunt prezentaţi parametrii urmăriţi şi schema tehnologică a instalaţiei de propulsie. În acest ecran am implementat butoane pentru toate celelalte ecrane.

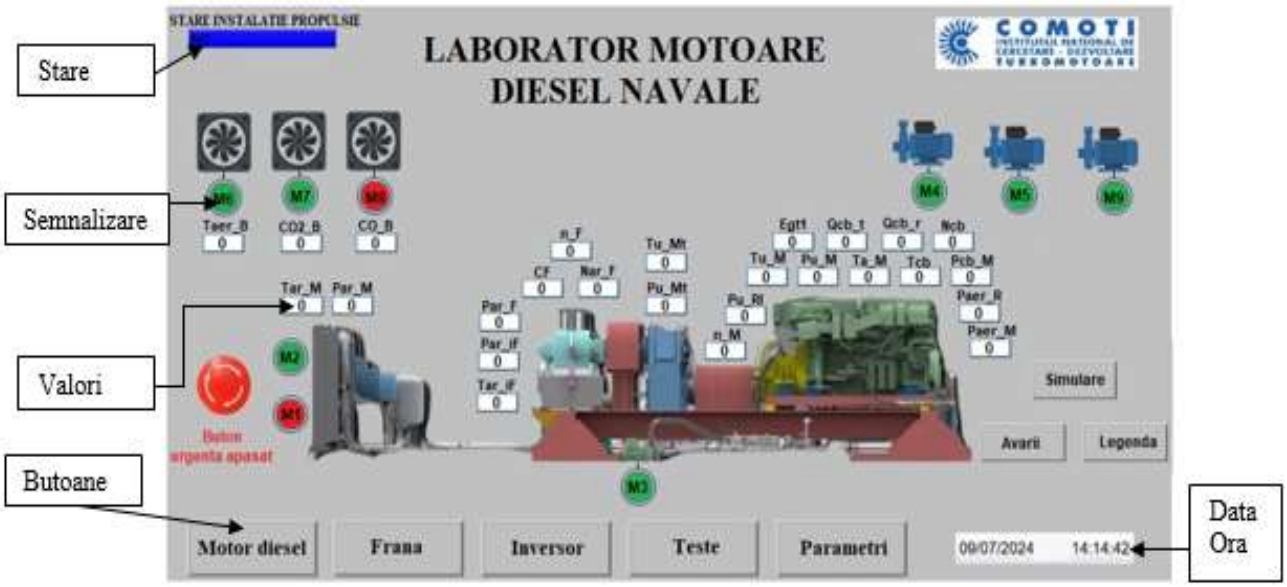


Fig. 1.11. - Ecran **PRINCIPAL.**

Pornirea și oprirea instalației de propulsie se realizează automat prin comenzi date de pe Panoul Operator (PO) din Postul de Comandă Maşini (PCM). După pornirea și încălzirea

motorului comenzile și reglarea regimului de funcționare, se poate realiza de pe Panoul de Operare și maneta de reglare din consola postului de comandă mașini (PCM).

Alegerea regimului de funcționare a instalației de propulsie se face prin prescrierea parametrilor dinamometrului/frânei hidraulice care simulează caracteristica elicei navei, având ca rezultat cuplul motor și puterea dezvoltată în funcție de regimul de turație.

În timpul funcționării echipamentului, PLC-ul supraveghează parametrii esențiali ai fiecărui echipament din componența standului. În cazul în care se detectează un defect, PLC-ul va activa automat secvența de oprire semi-urgenta (ESD02) şi oprire de urgenţă (ESD01) a standului și va afișa pe ecran un mesaj de eroare.

1.6 Contribuţii privind optimizarea sistemului de comandă şi control

1.6.1. Optimizarea ecranelor aplicaţiei

Ecranele le-am modificat şi optimizat astfel încât să fie uşor de folosit şi intuitive. După cum se poate vedea în fig. 1.16 am redus numărul butoanelor care prin acţionare fac trecerea în alt ecran al aplicaţiei. În noul ecran PRINCIPAL am grupat parametrii să fie mai uşor de vizualizat în funcţie de fluidul de lucru/amestecul de gaze sau în funcţie de fiecare echipament care alcatuieşte instalaţia de propulsie.

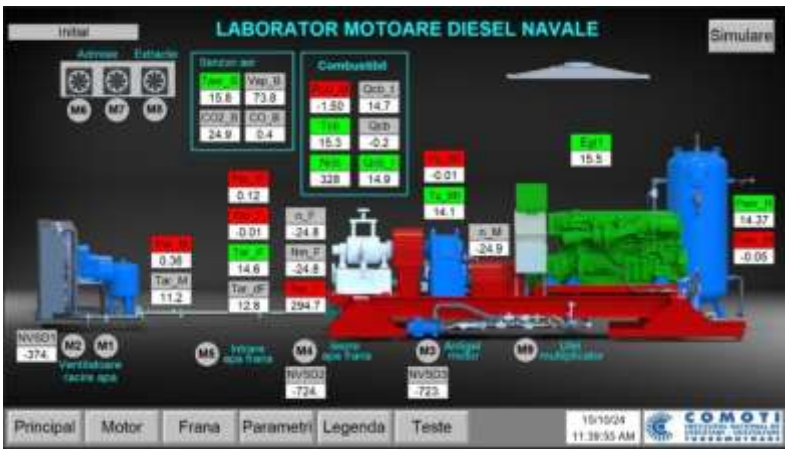


Fig. 1.16. – Noul ecran PRINCIPAL.

După cum se poate observa din figura 1.17, am integrat într-unul singur ecranul motorulului şi ecranul reductor-inversorului. Din cele două ecrane am obţinut unul mult mai colorat şi mai atractiv optimizând aplicaţia. Prin această transformare am redus numărul parametrilor urmăriţi în cazul motorului de la 11 la 9, la reductorul-inversor nemaiavând nici un parametru de urmărit.

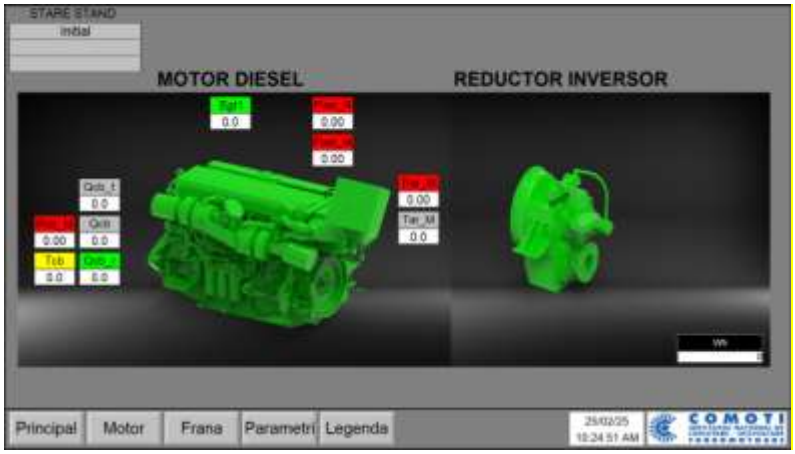


Fig. 1.17. – Ecran Motor şi Reductor Inversor.

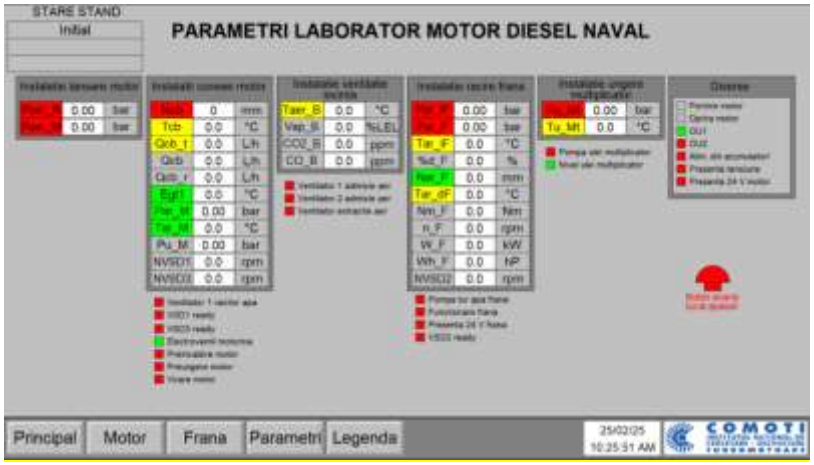


Fig. 1.18. – Ecran PARAMETRI.

Toţi parametrii instalației de propulsie pot fi vizualizați într-un singur ecran – PARAMETRI (fig. 1.18).

1.6.2. Comunicaţia motorului cu calculatorul sistemului de automatizare

Integrarea unitaţii de control a motorului (ECU) Volvo Penta D16 cu calculatorul de panou al sistemului de automatizare, s-a realizat prin utilizarea protocoalelor de comunicaţie SAE J1939(CAN) şi MODBUS TCP/IP. Calculatorul de panou folosit pentru sistemul de automatizare, produs de Emerson, nu suportă protocolul SAE J1939, acesta folosind ca şi protocol de comunicaţie MODBUS TCP/IP, astfel am recurs la căutarea unui modul adaptor cu ajutorul căruia să pot realiza comunicaţia cu unitatea de control a motorului.

Acest protocol SAE J1939, de nivel superior, este un standard adoptat de Volvo Penta pentru comunicația unitaţii de control a motorului cu alte dispozitive de calcul.
Structura unui mesaj J1939 :

- PGN (Parameter Group Number) – identifică tipul de date;
- Source Address (SA) – adresa dispozitivului care trimite mesajul;
- Data – conținutul transmis (ex: turație, temperatură).

Mai jos se regaseşte în tabelul 1.3 structura mesajului folosit în cazul citirii parametrului de turaţie de la adresa furnizată de ECU motorului :

Tabel 1.3. Structura mesajului de turaţie:

NR. CRT	PGN	DESCRIERE	DATE UTILE
1	61444	TURAŢIE	RPM,%

Arhitectura sistemului de comunicaţie (vezi figura 1.19.) este formată din: panel PC, adaptor Can-Modbus TCP/IP şi controler motor.

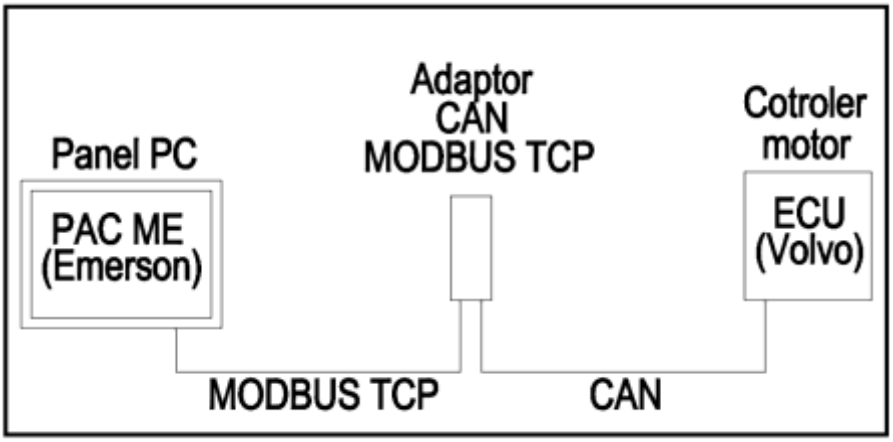


Fig. 1.19. – Arhitectura sistemului de comunicaţie.

Gateway-urile industriale MGate 5118 (fig.1.20) suportă protocolul SAE J1939, care este bazat pe CAN bus (Controller Area Network). SAE J1939 este folosit pentru a implementa comunicarea și diagnosticarea componentelor vehiculelor, generatoarelor de motoare diesel și motoarelor de compresie.



Fig. 1.20. Controler MGate 5118 MOXA [2].

Comunicaţia dintre calculatorul de panou şi ECU s-a desfaşurat fară probleme.

După efectuarea conexiunilor şi alimentarea echipamentelor am obţinut, ridicând motorul la diferite turaţii, datele ce se regăsesc în tabelul 1.4.

Tabel 1.4. Valorile citite prin interfaţa CANopen în cazul turaţiei:

N	x	0	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
Mbus	y	255	4863	5631	6655	7167	8191	8959	9727	10495	11519	12031	13055	13823	14335

Unde N reprezintă turaţia în rpm, afişată pa ecranul de monitorizare al motorului diesel, iar Mbus valorile furnizate de adaptorul de comunicaţie pentru fiecare nivel de turaţie în parte.

Reprezentând grafic aceste valori se obţine figura 1.21.

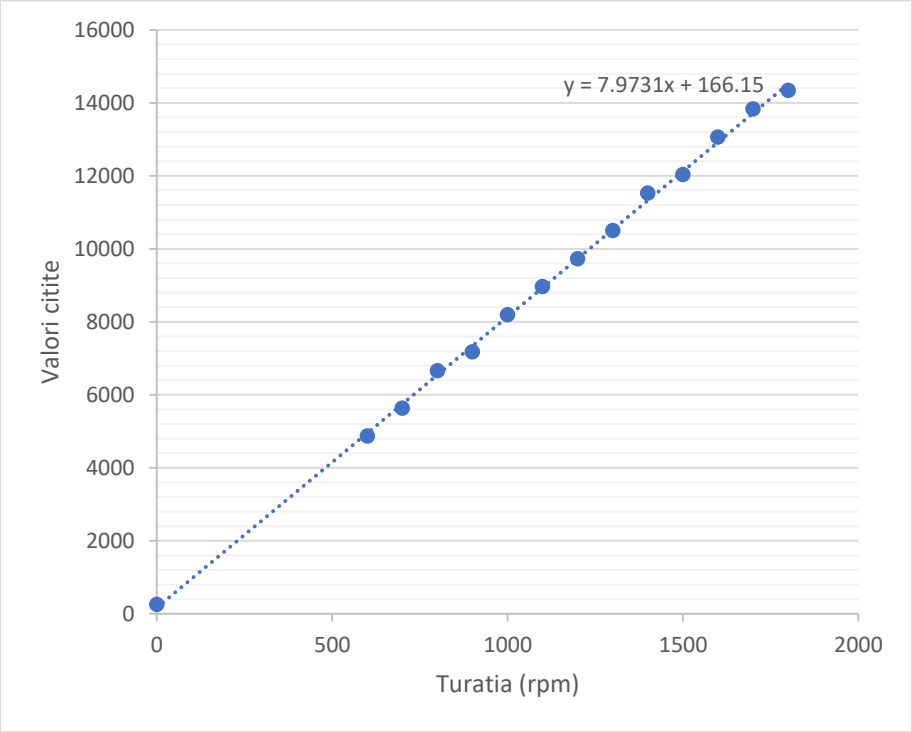


Fig. 1.21. Grafic turaţie motor.

Ecuaţia dreptei obţinută prin interpolarea punctelor este:

$$y = 7.9731x + 166.15 \qquad (1)$$

1.7. Analiza rezultatelor experimentale obţinute în standul LMDN

1.7.1. Testarea şi verificarea performanţelor motorului:

Pe baza datelor înregistrare în timpul probelor funcţionale au rezultat parametrii completaţi în tabelele cu performnţe de bază motor şi performanţe IP pentru intervalul de turaţie al motorului 600-1860 rpm.

Pentru testarea şi verificarea performanţelor motorului am realizat teste cu motorul pe durata a 3 zile. Din datele înregistrate am extras anumiţi parametrii care contribuie la performanţele motorului, iar alţi parametrii i-am folosit în formule pentru verificarea altor caracteristici de performanţă.

Tabel 1.5. Performanțe de bază motor:

Nr. crt.	**Denumire test/activitate**	**Cerinţe**	**Concluzii/ Date experimentale**	**Documente justificative**	**Obs.**
0	1	2	3	4	10
1.	Verificare caracteristici de performanță motor				
1.1	Putere nominală motor	400 - 600 kW	441 kW (600 CP)	Tabel parametri înregistraţi	*
1.2	Consum specific de carburant - la cuplu maxim	Max. 215 g/kWh - 100% sarcină	217,5 – 199,2 g/kWh	Tabel parametri înregistraţi	*
1.3	Funcţionare în regim suprasarcină	Min. 10 % - cumulat 15 min. / 12 h	15 min. / 12 h	Tabel parametri înregistraţi	*

1.7.2. Compararea rezultatelor experimentale

Parametrii motorului, frânei şi a celorlalte componente ale instalaţiei de propulsie sunt înregistraţi în vederea analizei comportării acesteia în timpul probelor.

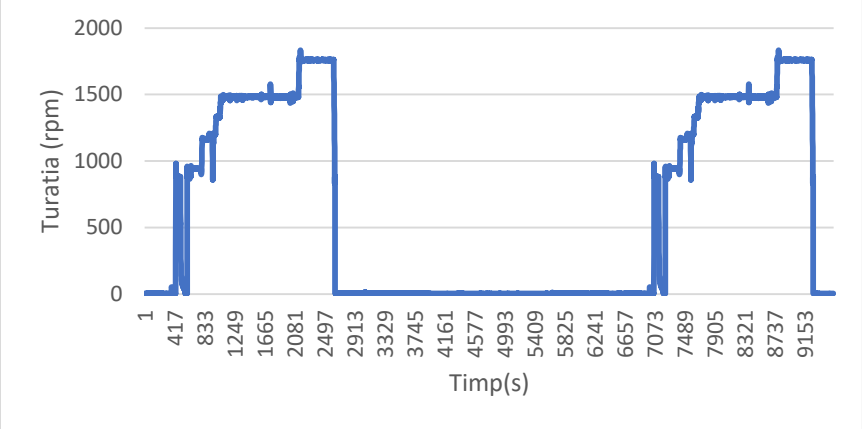


Fig. 1.23. Evoluţia turaţiei frânei.

Din evoluţia turaţiei frânei, redată în fig.1.23, se poate observa că în intervalul de timp ales, s-au efectuat două porniri cu ansamblul motor-reductor-frană, pentru fiecare pornire regimul variind între zero şi turaţia de 1800 rpm. Analizând modul în care frâna raspunde la

cele două porniri succesive, se poate observa că sistemul frânează eficient la oprire şi că nu există întârzieri sau oscilaţii în procesul de frânare.

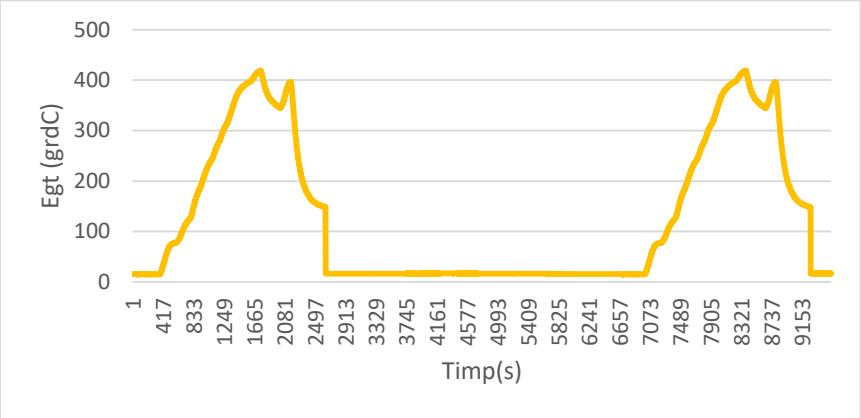


Fig. 1.24. Evoluţia temperaturii gazelor de evacuare.

Temperatura maximă a gazelor de evacuare, masurată pe tronsonul de ieşire gaze conectat între motor şi exteriorul standului de încercare, a atins valoarea maximă de 419.4°C, ceea ce corespunde funcţionării normale a motorului la regimul testat.

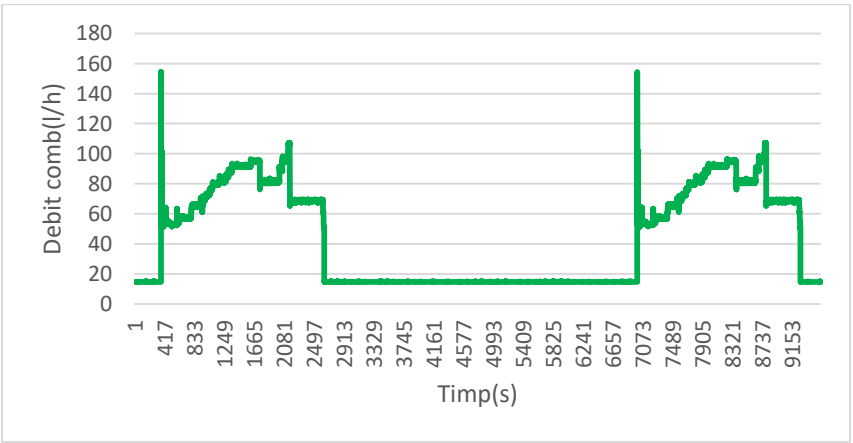


Fig. 1.25. Evoluţia debitului de combustibil.

Debitul de combustibil este controlat de unitatea de control electronică a motorului (ECU) şi variază cu regimul de funcţionare, remarcându-se un vârf la pornirea motorului. Evoluţia temperaturii gazelor de evacuare şi a debitului de combustibil este foarte importantă ajutând la diagnosticarea performanţelor, eficienţei şi defecţiunilor.

CAPITOLUL 2

CONTRIBUȚII LA MODERNIZAREA AUTOMATIZĂRII UNUI STAND DE PROBĂ PENTRU TESTAREA PROPULSIEI NAVALE CU TURBOMOTORUL ST40M

2.1. Descriere turbomotor ST40M

ST40M este un turbomotor care poate utiliza combustibil diesel, folosit pe scară largă în transporturile navale. Este produs de firma Pratt&Whitney Canada şi este derivat dintr-un motor de aviaţie PW150A.

2.2. Configuraţia standului de probă pentru testarea propulsiei navale bazate pe turbomotorul ST40M

Acest stand dispune de echipamentele necesare testării unei propulsii folosite pe navele civile sau militare din cadrul marinei române. Echipamentele principale folosite în cadrul testelor sunt:

- Demaror, electric sau pneumatic;
- Rezervor de combustibil;
- Rezervor de aer;
- Instalație ungere;
- Admisie aer;
- Evacuare gaze de ardere;
- Dinamometre, pentru încărcarea turbomotorului;
- Sistem de control și achiziție date (SCADA) [3].

2.3. Dinamometrele şi instalaţiile electrice auxiliare

Dinamometrele sunt de tip Froude în care energia mecanică dezvoltată de turbomotorul aflat în test este transformată în caldură prin frecarea în interiorul unor cavităţi a apei sub presiune. Aceste dinamometre în număr de două pot funcţiona atât separat cât şi în tandem dezvoltând o putere totală de 5200 CP suficientă pentru încărcarea la maxim a turbomotorului naval cu puterea de 4000 kW. Pentru supravegherea, celula de testare are implementat un sistem video cu circuit închis format din mai multe camere video mobile și fixe.



Fig. 2.1. Dinamometre Froude – Stand turbomotoare.

Echipamentele electrice auxiliare necesare pentru funcţionarea dinamometrelor, proiectate şi realizate în cadrul INCDT Comoti sunt cutia de comandă pentru pompele de ungere şi dulapul de comandă împreună cu pompele necesare instalaţiei de apă de răcire.

2.3.1. Cutia electrică pompe ungere frâne

Această cutie electrică are rolul de a porni cele 3 pompe de ulei necesare fiecărei frâne într-o ordine impusă de producătorul frânei. Este prevazută cu elemente de comandă şi protecţie pentru fiecare pompă de ulei, cât şi cu o protecţie generală.



Fig. 2.2. Cutie electrică instalaţie de ungere – dinamometre.

Schema electrică implementată permite atât comanda locală a pornirii/opririi pompelor cât şi comanda de la distanţă prin intermediul ieşirilor digitale ale unui automat programabil.

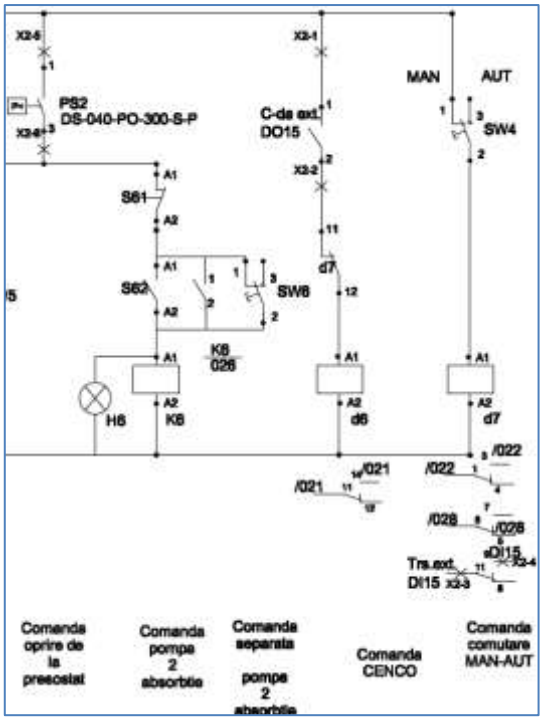


Fig. 2.3. Schema de comutare **Manual – Automat** comandă pompe ungere frâne.

2.3.2. Automatizare instalaţie electrică pompe răcire apa frâne

Instalaţia de alimentare cu apă frâne are rolul de a furniza apa necesară frânelor pentru a realiza cuplul rezistent de încărcare a turbomotorului în timpul testelor pe stand. Frânele au o vană de intrare şi o vană de ieşire prin care trece apa şi în funcţie de poziţia acestora se generează rezistenţa la rotirea axului frânei. După ce trece prin frâne, apa se încălzeşte proportional cu energia preluată de la turbomotor şi trebuie răcită prin cădere gravitaţională într-un turn de răcire.



Fig. 2.4. Dulap de comandă pompe de apă frâne.

Dulapul permite de la un comutator Manual – Automat comanda pompelor şi a ventilatoarelor din componenţa turnului de răcire apă, fie de la butoanele de pe uşa dulapului,

fie automat prin intermediul aplicaţiei programate în PLC. Prin intermediul dulapului de comandă pompe apă frâne se controlează cele 3 pompe care trebuie să furnizeze apa la o anumită presiune la intrare în cele două dinamometre, pompele de recirculare şi pompa de răcire ulei frâne. Debitul de apă variază cu puterea dezvoltată de dinamometre, dar presiunea trebuie sa rămână constantă.

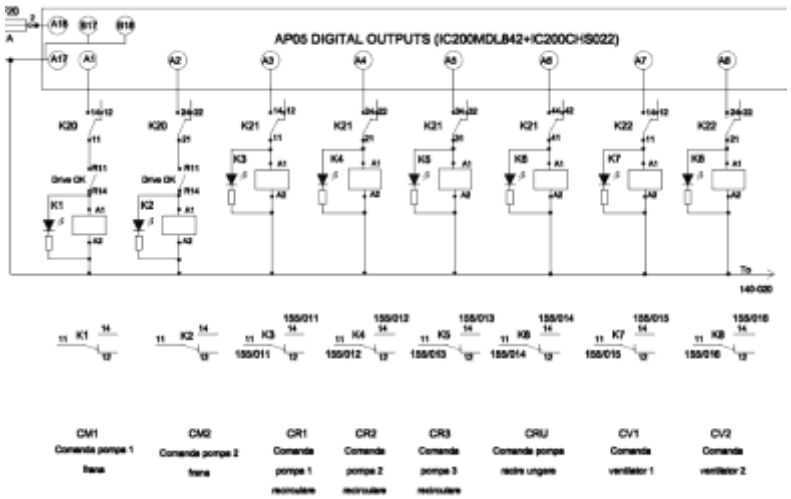


Fig. 2.5. Comenzi digitale pompe de apă frâne.

2.4. Echipamentele de achiziție date – Stand turbomotoare

Echipamentele de achiziție, prelucrare a datelor şi control de care dispune standul de probă turbomotoare navale sunt reprezentate de mai multe sisteme, fiecare cu rolul său bine stabilit. Acestea sunt:

- Sistemul de comandă şi control al turbomotorului;
- Consolă achiziţie parametrii auxiliari;
- Sistemul de achiziţie Cenco.

2.4.1. Sistemul de comandă și control al turbomotorului

Schema bloc a sistemului de comandă și control al turbomotorului este prezentată în figura 2.6.

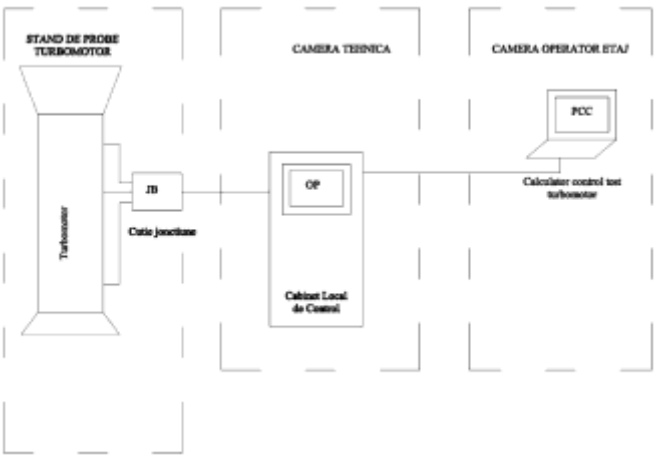


Fig. 2.6. Sistemul de achiziţie și control al turbomotorului ST40M în stand - schemă bloc.

2.4.2. Consola de achiziţie parametrii auxiliari

Consola de achiziţie a parametrilor auxiliari are rolul de a prelua, adapta, afişa şi încărca în sistemul CENCO al standului parametrii de stand care se referă la restul instalaţiilor standului, în afară de turbomotor şi de cele două dinamometre.



Fig. 2.7. Consola de achiziţie parametri auxiliari stand.

Parametrii achizitonaţi sunt temperaturi şi presiuni conductă evacuare gaze, temperaturi şi presiuni galeria de admisie aer, vibraţii ax transmisie sau reductoare folosite de propulsia navală încercată.

2.4.3. Sistemul de achiziţie Cenco

Sistemul de achiziţie şi control furnizat de firma CENCO pentru standul de turbomotoare navale este un sistem integrat de achiziţie, prelucrare şi operare pentru parametrii instalaţiilor standului, cum ar fi instalaţia de combustibil.

Sistemul lucrează cu un mediu de programare propriu Cyres. Acesta permite crearea unor aplicaţii multiuser folosind obiecte grafice pentru a accesa datele şi modelele de motoare din baza de date (fig.2.8).

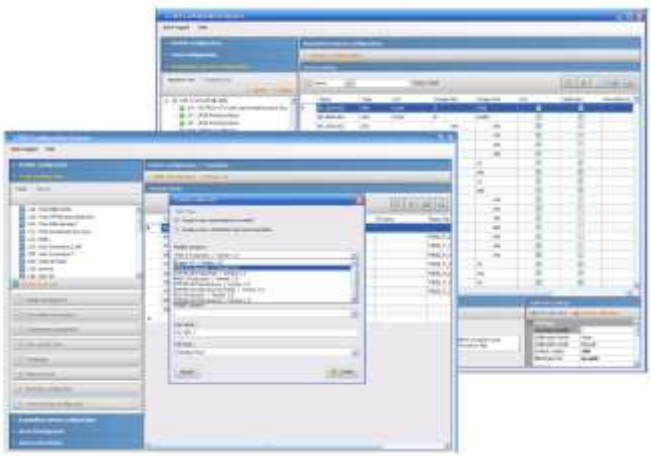


Fig. 2.8. Ecrane aplicaţie CENCO.

Mediul de programare Cyres permite crearea urmatoarelor configuraţii salvate în baza de date din server:

- **Modele**: crearea/ modificarea/ salvarea unor configuraţii de motoare;
- **Teste**: crearea/ modificarea/ salvarea unor configuraţii de test;
- **Achiziţie**: modificarea/ salvarea parametrilor de achiziţie;
- **Utilizatori**: crearea/ modificare/ salvarea unor utilizatori cu acces la Cyres.

În cazul configuraţiei de testare, în celula de experimentare pentru turbomotoare cu putere la ax, grupul de propulsie GPN NPRM-ST40M, în configuraţia tehnică Marş Tribord, va fi conectat la cele 2 dinamometre HS2600, montate în varianta tandem.

2.4.3.1.Instrumentarea instalaţiilor auxiliare

Stabilirea instrumentării instalaţiilor auxiliare se realizează pe baza schemei tehnice a instalaţiei. În funcţie de echipamentele electro-mecanice şi hidro-mecanice, precum pompe, dozatoare, supape stop din componenţa instalaţiei, şi de agregatul (motor, reductor, multiplicator, starter) pe care instalaţia îl deserveşte, se stabilesc tipurile de parametrii şi de comenzi care necesită instrumentare şi se efectuează o analiză a soluţiilor tehnice de execuţie şi montaj a sondelor şi senzorilor de măsurare.

2.4.3.2.Logica de achiziţie de date pentru instalaţiile auxiliare

Achiziţia de date pentru comanda şi controlul instalaţiilor auxiliare în vederea asigurării funcţionării gruplui de propulsie GPN NPRM-ST40M Marş Tirbord pentru testarea sa în celula de turbomotoare cu putere la ax presupune achiziţie de date de tip:

- Digital Output (DO);
- Digital Input (DI);
- Analog Output (AO);
- Analog Input (AI).

2.4.3.3.Logica de program comandă şi control al instalaţiilor auxiliare

Programul de comandă şi control al instalaţiilor auxiliare se execută în programul CYRES 8.2, care este componenţa software a sistemului de achiziţie de date, comandă şi control (DACS). Precum este menţionat anterior, pentu comanda şi controlul instalaţiilor auxiliare programul CYRES 8.2 comunică cu cabinetul mobil de achiziţie MAC şi cu consola fixă de achiziţie PLC, pentru achiziţia parametrilor şi pentru trimiterea semnalului de comandă la echipamentele electro-mecanice şi hidro-mecanice al instalaţiilor auxiliare.

Programul de comandă şi control al instalaţiilor auxiliare în software-ul CYRES 8.2 presupune:

- execuţia unui model în care se introduc parametrii şi comenzile care sunt instrumentate, prezentat în Fig.2.9;
- execuţia unei interfeţe cu operatorul pentru pentru acţionarea comenzilor fie în mod manual sau fie în mod automat şi pentru afişarea valorilor măsurate ale parameterilor, prezentat Fig.2.10;

- excuţia unui program logic prin care se execută diverse secvenţe logice de comandă, control, avertizări şi protecţii.

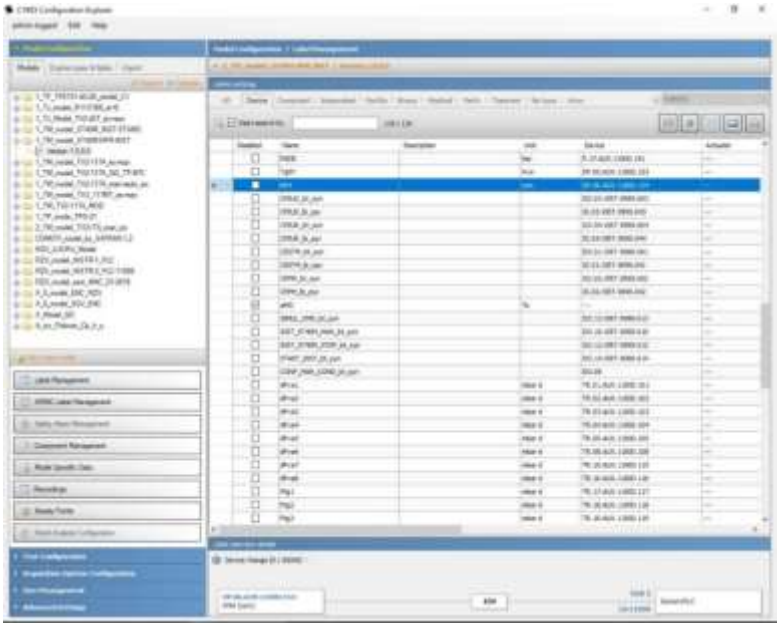


Fig. 2.9. Modelul din softw-ul Cyres cu paramterii şi comenzi.



Fig. 2.10. Interfaţa cu operatorul.

2.5. Calculul puterii şi cuplului – Stand turbomotoare

Ecuaţiile folosite în determinarea cuplului şi a puterii, sunt cele folosite la calculul cuplului şi puterii unui turbomotor, particularizate pentru ST40M.

1. **Calculul turaţiilor corectate:**

$$NHC = \text{NH} \times \sqrt{\frac{\mathbf{288}}{\boldsymbol{T_1}+\mathbf{273}}}[rpm]$$

(2.1)

$$NLC = \text{NL} \times \sqrt{\frac{\mathbf{288}}{\boldsymbol{T_1}+\mathbf{273}}}[rpm]$$

(2.2)

2. **Calculul temperaturii între turbine în grade Kelvin şi în grade Celsius ITTk şi ITTc:**

$$ITT_k = RT_{ITT} \times (T_1 + 273)[°K]$$

(2.3)

$$ITT_c = ITT_k - 273\ [°C]$$

(2.4)

3. **Calculul debitului de aer Ga :**

- $G_a = \frac{P_0}{1032.5} \times \sqrt{\frac{288}{T_1+273}} \times G_{ac}$[kg/s]

  (2.7)

- $P_0 = P_1 + PDA/10[bar]$

  (2.8)

4. **Calculul debitului de combustibil corectat Gc :**

$$\boldsymbol{G_c} = \frac{\boldsymbol{P_0}}{\mathbf{1032.5}} \times \sqrt{\frac{\mathbf{288}}{\boldsymbol{T_1}+\mathbf{273}}} \times \boldsymbol{G_{cc}}\text{[kg/s]}$$

(2.12)

5. **Calculul parametrilor Gaca şi ALFA :**

$$G_{aca} = 0.9935 \times RG_g \times G_a\text{[kg/s]}$$

(2.15)

$$ALFA = \frac{G_{aca}}{14.5 \times G_c}$$

(2.16)

6. **Calculul entalpiilor H :**

$$HITT_g = 0.6889 + 0.2354\ \times\ ITT_k + 3.21 \times 10^{-5} \times {ITT_k}^2\text{[kcal/kg]}$$

(2.20)

$$HITT_a = 4.089 + 0.2181 \times ITT_k + 2.765 \times 10^{-5} \times {ITT_k}^2 \text{[kcal/kg]}$$
(2.21)

$$HITT_{am} = \frac{15.5 \times HITT_g + 14.5 \times (ALFA - 1) \times HITT_a}{1 + 14.5 \times ALFA} \text{[kcal/kg]}$$
(2.22)

$$HT6M_g = 0.6889 + 0.2354 \times (\text{T6M} + 273) + 3.21 \times 10^{-5} \times (T6M + 273)^2$$
[kcal/kg]
(2.23)

$$HT6M_a = 4.089 + 0.2181 \times (\text{T6M} + 273) + 2.765 \times 10^{-5} \times (\text{T6M} + 273)^2 \text{[kcal/kg]}$$
(2.24)

$$HT6M_{am} = \frac{15.5 \times HT6M_g + 14.5 \times (ALFA - 1) \times HT6M_a}{1 + 14.5 \times ALFA} \text{[kcal/kg]}$$
(2.25)

7. Calculul puterii şi cuplului :

$$G_g = G_{aca} + G_c \text{[kg/s]}$$
(2.26)

$$WTP_c = 4.185 \times 1.03 \times G_g \times (HITT_{am} - HT6M_{am}) \text{[kW] [1]}$$
(2.27)

$$MTP_c = 9549.6 \times WTP_c / NTP \text{[Nm]}$$
(2.28)

Implementarea formulelor în programul de monitorizare şi control

Valorile obţinute prin calcul sunt afişate în ecranul de pornire caldă a turbomotorului. Acest ecran l-am modificat pentru a afişa simultan cuplul MTPc şi puterea calculată WTPc în colţul stânga jos, simultan cu cuplul măsurat Cuplu şi puterea masurată Pkw afişate în partea de sus a ecranului (figura 2.11).

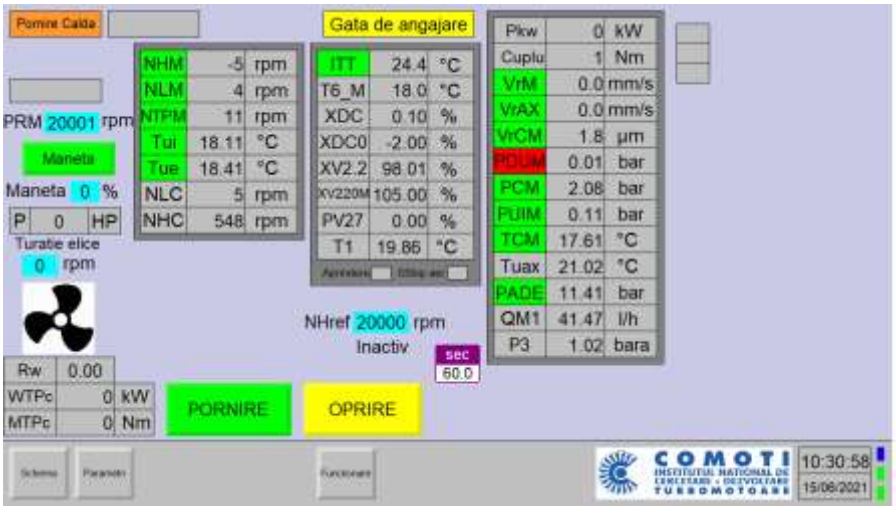


Fig. 2.11. Ecranul „**Pornire caldă**” final.

Pe langă cei doi parametrii calculaţi mai este afişat raportul dintre puterea calculată şi puterea reală, **Rw**. Aceste date le-am înregistrat în fişierul cu date ale fiecărei probe de stand.

$$Rw = \frac{WTP_c}{WTP} \tag{2.29}$$

Implementarea ecuaţiilor în aplicaţia software a panoului de comandă şi control am făcut-o în Proficy Machine Edition sub forma unei subrutine SXWM . Un exemplu de implementare a ecuaţiilor cu ajutorul componentelor software din mediul de programare menţionat sunt prezentate în figura 2.12.

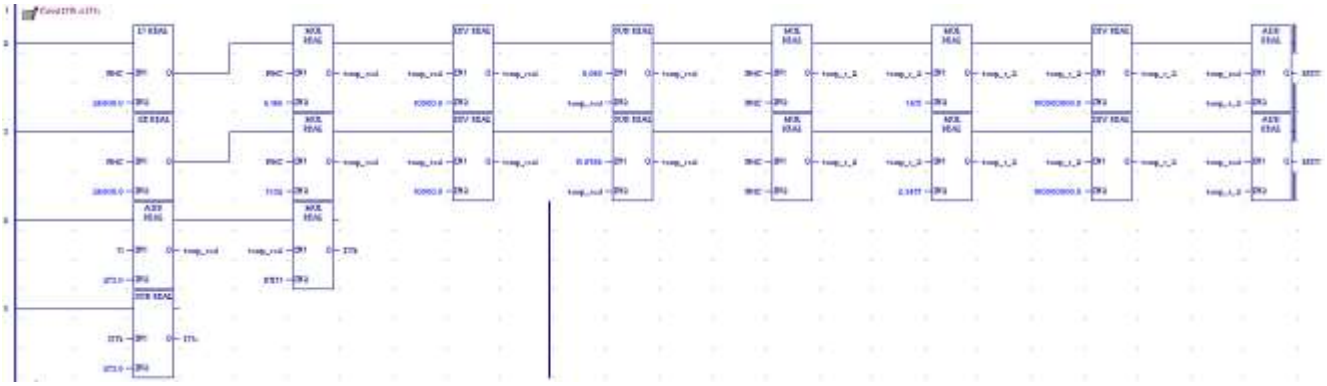


Fig. 2.12. Subrutina SXWM – calcul ITTk şi ITTc.

CAPITOLUL 3

CONTRIBUȚII LA AUTOMATIZAREA INSTALAŢIILOR ELECTRICE PENTRU STANDURI DE ANSAMBLE MECANICE PENTRU PROPULSIE NAVALĂ

3.1. **Automatizarea instalaţiei electrice pentru standul de încercare reductor inversor AI**

Standul de încercare reductor inversor a fost creat pentru testarea acestui echipament la regimuri de turaţie şi cuplu definite de constructor, înainte de a fi instalat pe navă (fig.3.1).

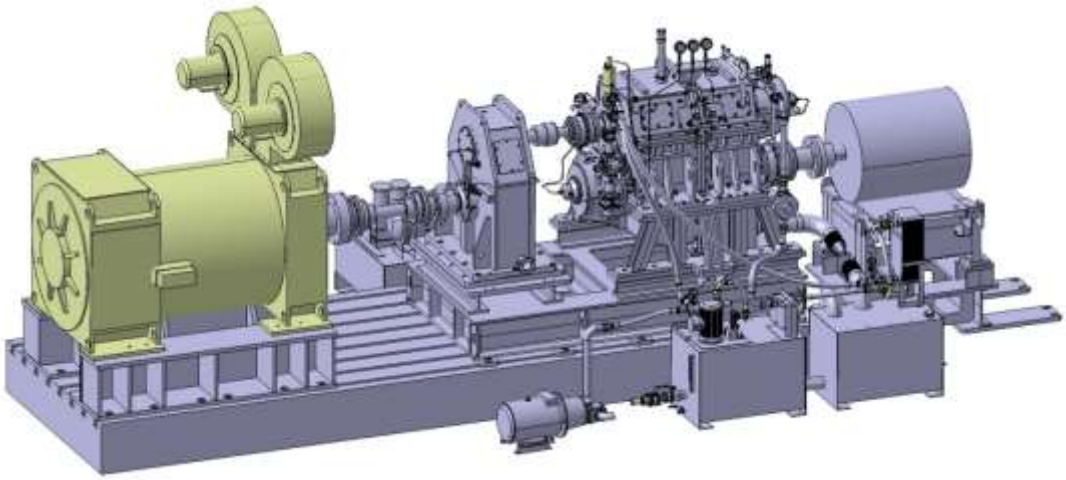


Fig. 3.1. Stand încercare reductor-inversor.

Standul de inversor este compus dintr-un motor de curent continuu cu turaţia maximă de 1200 rpm, puterea de 1.3MW, acţionat dintr-un convertizor. Motorul pune în mişcare un multiplicator cu raportul de 5.77, iar turaţia obţinută este transmisă mai departe reductorului testat. Sarcina care acţionează asupra reductorului este simulată prin intermediul unui generator asincron.

Schema bloc a procesului de testare este prezentată în figura 3.2

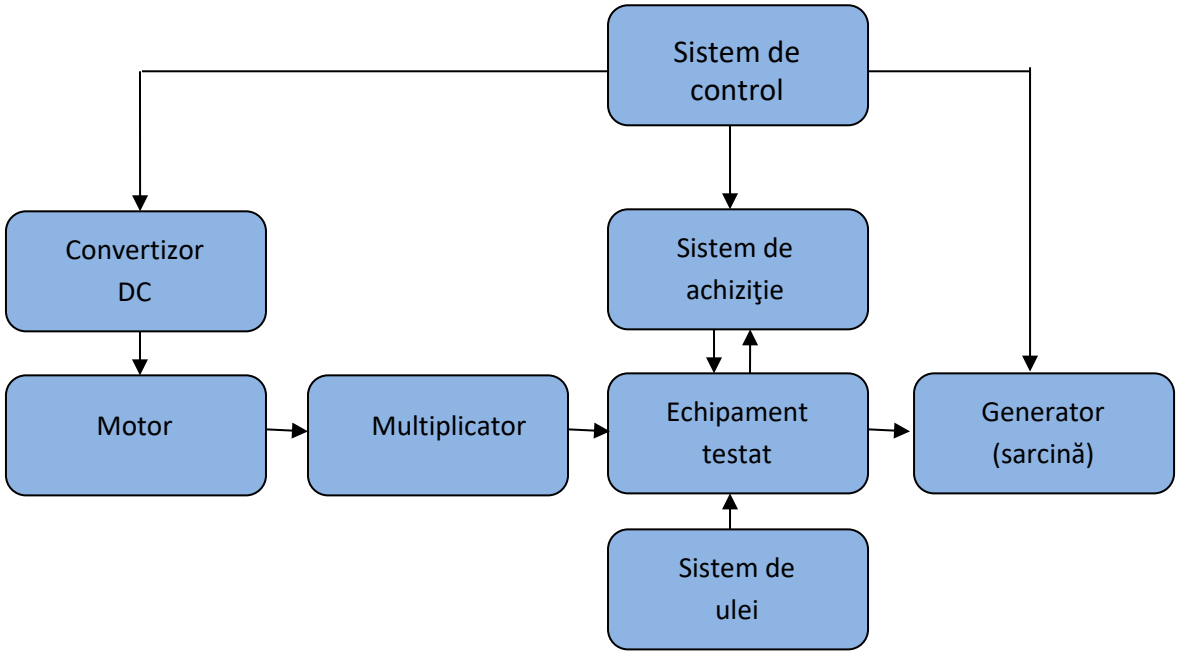


Fig. 3.2. Schemă bloc stand de încercare redactor-inversor.

3.1.1. Echipamentul testat

Echipamentul testat este principalul obiectiv pentru realizarea standului. Acesta este reprezentat de un reductor inversor care trebuie să îndeplinească toate testele de funcționare în diverse regimuri și trebuie să fie funcțional din punct de vedere mecanic la sfârșitul testelor (să nu apară diverse defecte precum: fisuri, griparea arborelui, ruperea paletelor turbinei etc.)

Pe acest stand se pot testa în diferite combinaţii, angrenaje mecanice, într-o gamă de turaţie de până la 1200 rpm şi la o încărcare în sarcină de până la 400kW. Pe stand (fig.3.4), a fost testat în locul reductorului inversor, un reductor folosit în aplicaţii aeronautice. Restul componenţei standului a rămas acelaşi.



Fig. 3.4. Standul gata de test.

Datele de testare sunt înregistrate şi prelucrate în mod continuu pentru o informare instantanee sau pentru o analiză ulterioară a comportării angrenajului testat. Echipamentul testat este destinat în special testării reductoarelor care vor fi montate pe navele echipate cu turbinele ST40M.

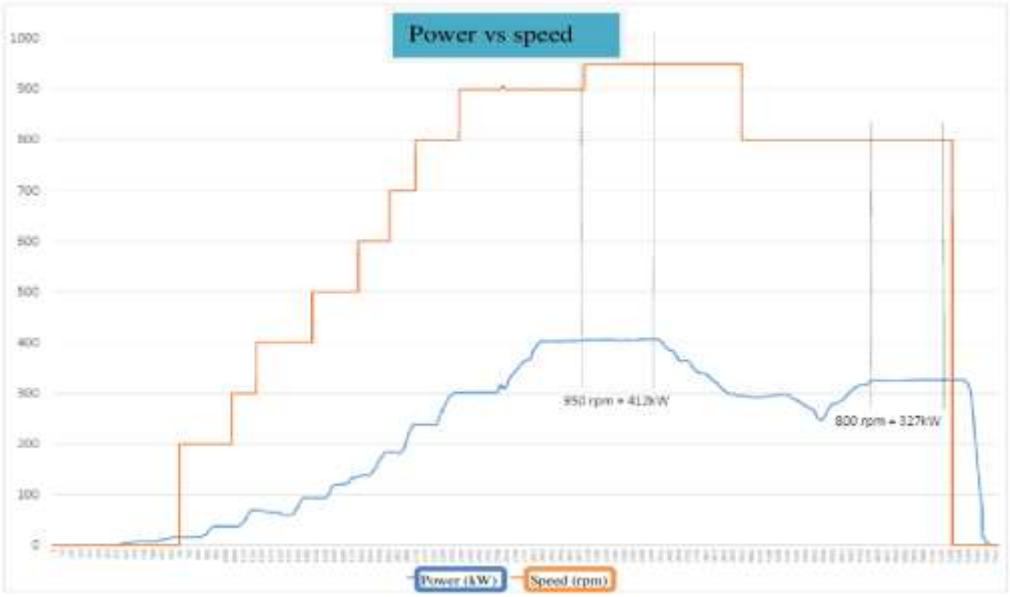


Fig. 3.5. Grafic turaţie putere dezvoltată la încercarea reductorului pe stand [4].

Din analiza datelor, graficul (fig.3.5), se poate trage conluzia că încărcarea reductorului creşte cu mărirea turaţiei de antrenare a motorului principal. De asemenea, se poate observa o coborâre a puterii generatorului la o turaţie constantă ceea ce a fost determinată de o micşorare a curentului din excitaţia generatorului.

Graficul din figura 3.5 și concluziile rezultate în urma testării reductorului pe stand au fost publicate în lucrarea **“ Test Bench for Naval Propulsion Gearbox”,** având ca autori pe ***M.L.Vasile,*** *F.Niculescu, D. Lale,* prezentată la conferința **Advanced Structures , Materials and Electrical Systems ASMES** din 09-12 Mai 2024, ținută la Tulcea, Romania

3.1.2. Descrierea funcţională a software-ului de automatizare

La standul de testare pentru reductorul AI am realizat pe partea de automatizare un soft pentru un PLC care conduce procesul şi un soft pentru un PC HMI care are rolul de a monitoriza procesul.

Softul pentru PLC, conţine 7 rutine în care sunt programate toate secvenţele software necesare bunei funcţionări a standului. Cele 7 rutine se regăsesc în figura 3.6 si sunt urmatoarele:

- ✓ MAIN;
- ✓ SCALARE;
- ✓ INIT;
- ✓ FUNCTIONARE;
- ✓ OPRIRE;
- ✓ AVARII;
- ✓ TESTE.

În rutina principală MAIN, a softului de PLC se execută celelalte rutine.

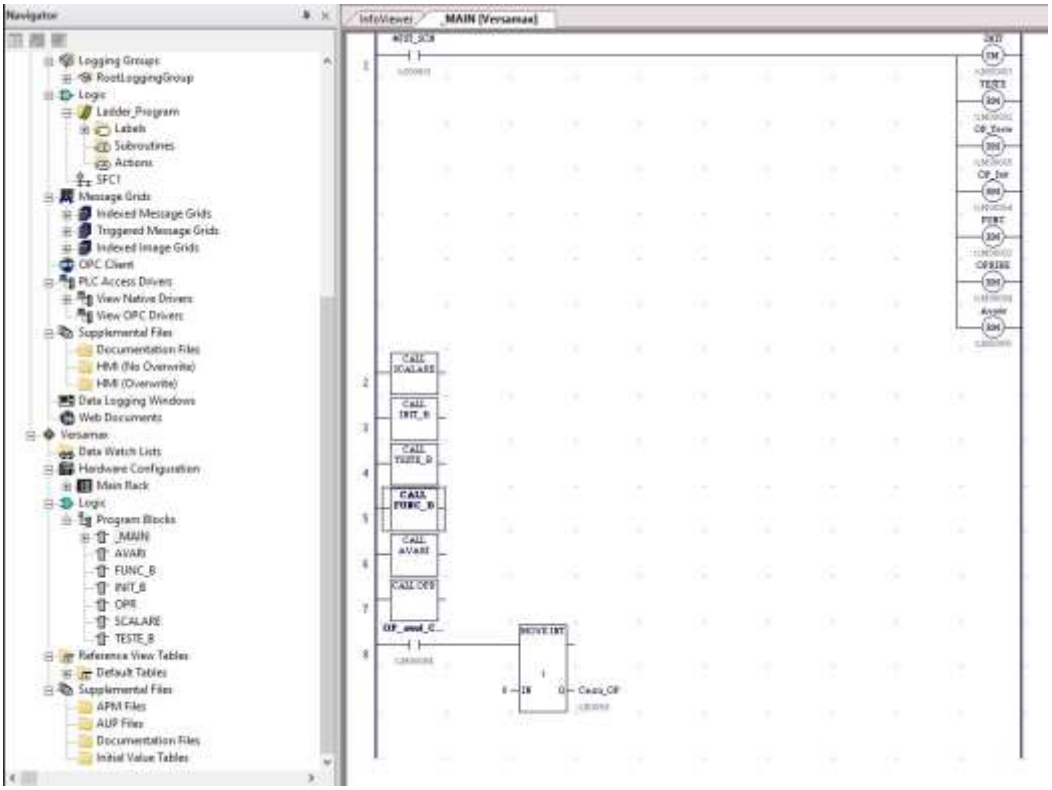


Fig. 3.6. Cele 7 rutine ale softului.

Secvenţa în care standul este staţionar este denumită INIT. În secvenţa INIT se comandă revenirea la 0 a tuturor elementelor de execuţie ale standului, precum şi a prescriselor de turaţie a motorului principal, de curent de excitaţie a motorului principal şi de curent de excitaţie a generatorului.

Secvenţa de SCALARE conţine toţi parametrii de intrare analogici ai standului având formule individuale de scalare. La finalul aplicării acestor formule individuale de scalare se obţine o adresă individuală pentru fiecare parametru de stand care exprimă valoarea în timp real a parametrului respectiv.

În fig.3.9 este prezentat ecranul Schemă existent în cadrul softului de urmărire instalat pe PC HMI pe care l-am gandit proiectat si realizat.

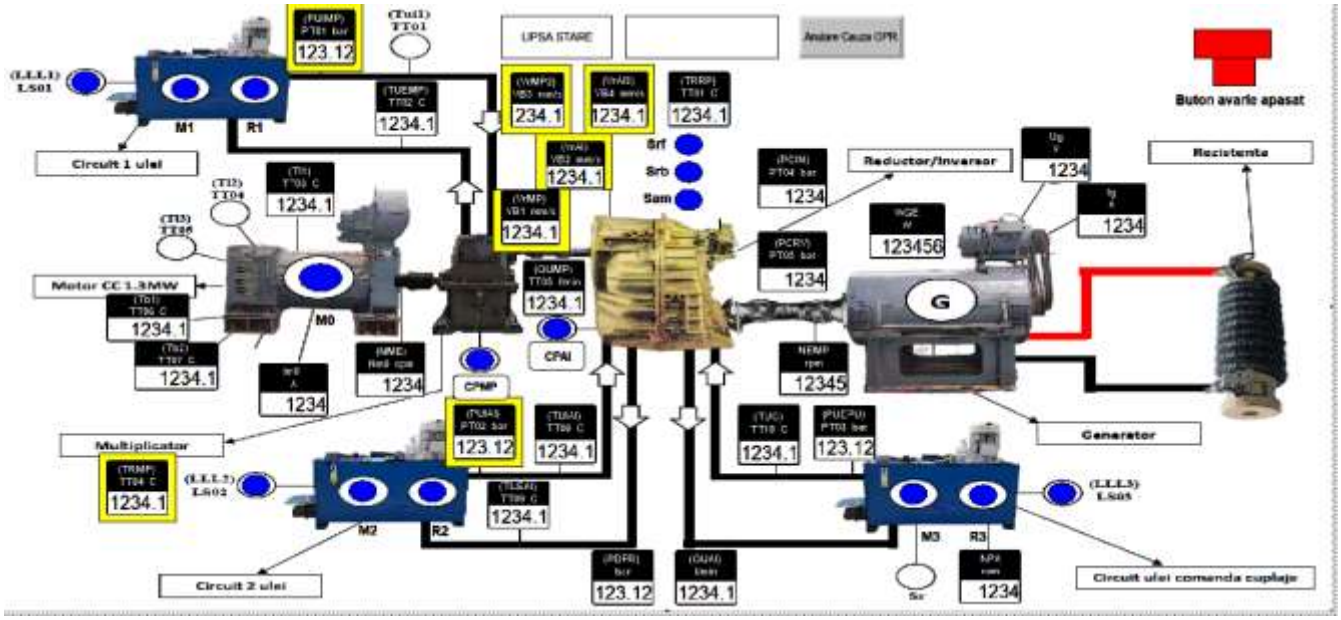


Fig. 3.9. – Ecranul Schemă al standului.

Standul se poate opri voluntar de la butonul STOP sau de la butonul fizic roşu aflat pe dulap. De asemenea, standul se poate opri automat prin îndeplinirea unei condiţii de avarie programată în secvenţa AVARII. În această situaţie, standul trece din secvenţa de funcţionare FUNC în secvenţa de oprire OPR.

3.2. Proiectarea şi automatizarea instalației electrice pentru standul de încercare a reductorului inversor

Lucrarea urmărește cercetarea şi proiectarea sistemului de comandă şi control a demonstratorului tehnologic cu reductor inversor în stand. Această cercetare are la bază stabilirea schemei de comandă şi control pentru efectuarea condiţiilor de cuplare : sens normal stânga-maşină înainte, sens normal dreapta-maşină înapoi şi decuplat maşină stop la probele de test din standul de probă. Raportul de transmisie a reductorului-inversor va asigura o turaţie a liniei axiale cât mai apropiată de turaţia actuală a liniei axiale (294 rot/min) de pe nava.

3.2.1 Proiectarea dulapului de automatizare

Am proiectat un dulap de automatizare pentru reductorul inversor care ajută la interacțiunea operatorului cu maşina. El este integrat în instalaţia electrică generală şi va asigura alimentarea componentelor electrice la diferite tensiuni din interiorul lui şi automatizarea standului pentru testarea reductorului inversor. În figura 3.10 se regăsește schema electrică pentru forță din dulapul de automatizare.

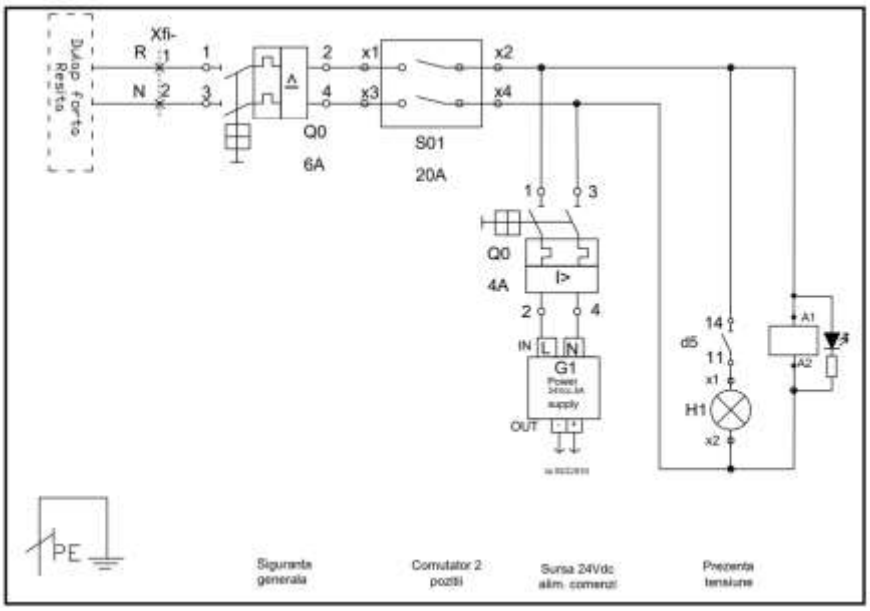


Fig. 3.10. Schema electrică de forţă.

3.2.2 Componenţa dulapului de automatizare

Dulapul de automatizare prezentat în figura 3.12 are la bază un automat programabil tip Easy-E4-UC-12RC1 [5], produs al firmei Eaton, care rulează un program de aplicaţie în concepţie proprie, realizat în scopul realizării funcţiilor impuse.

Afişarea parametrilor şi operarea se realizează prin intermediul panoului operator.

Interfaţa automat programabil – proces este realizată de echipamentele electrice instalate pe standul de încercare a reductorului-inversor.

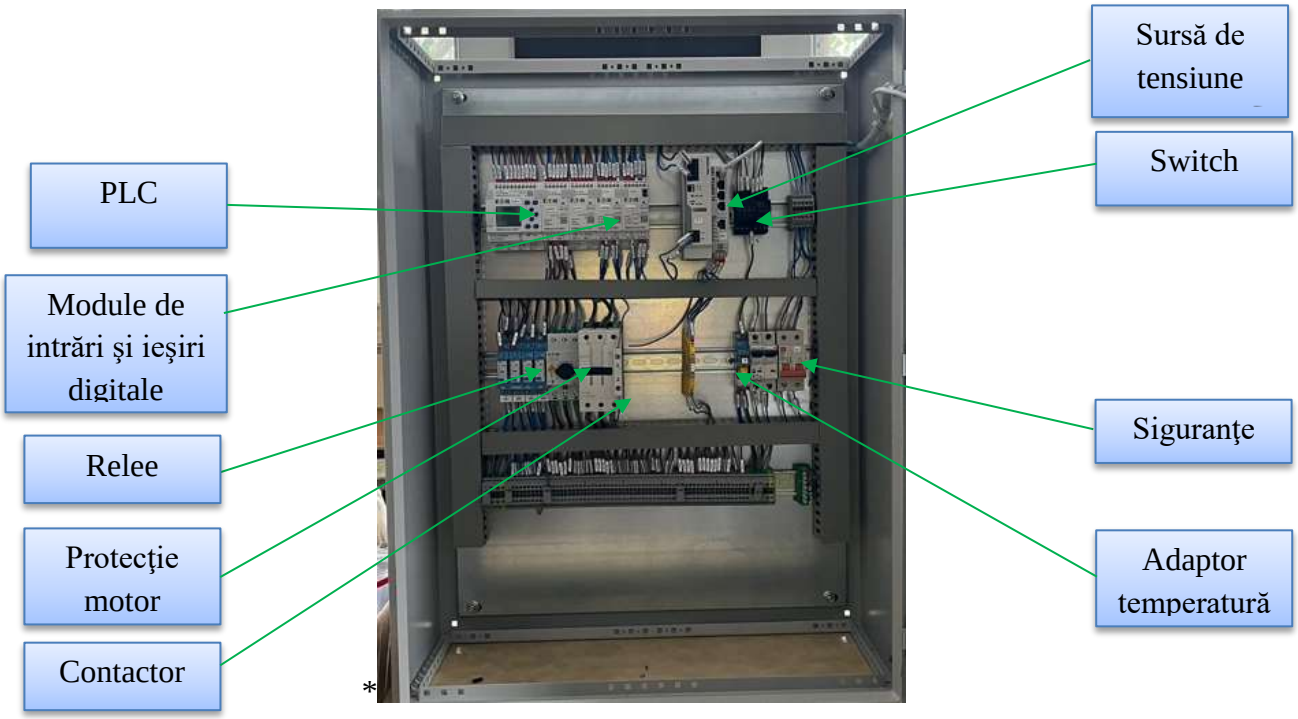


Fig. 3.12. Dulapul de automatizare pentru standul de reductor.

Elementele de pe dulapul de automatizare sunt prezentate în figura 3.13.

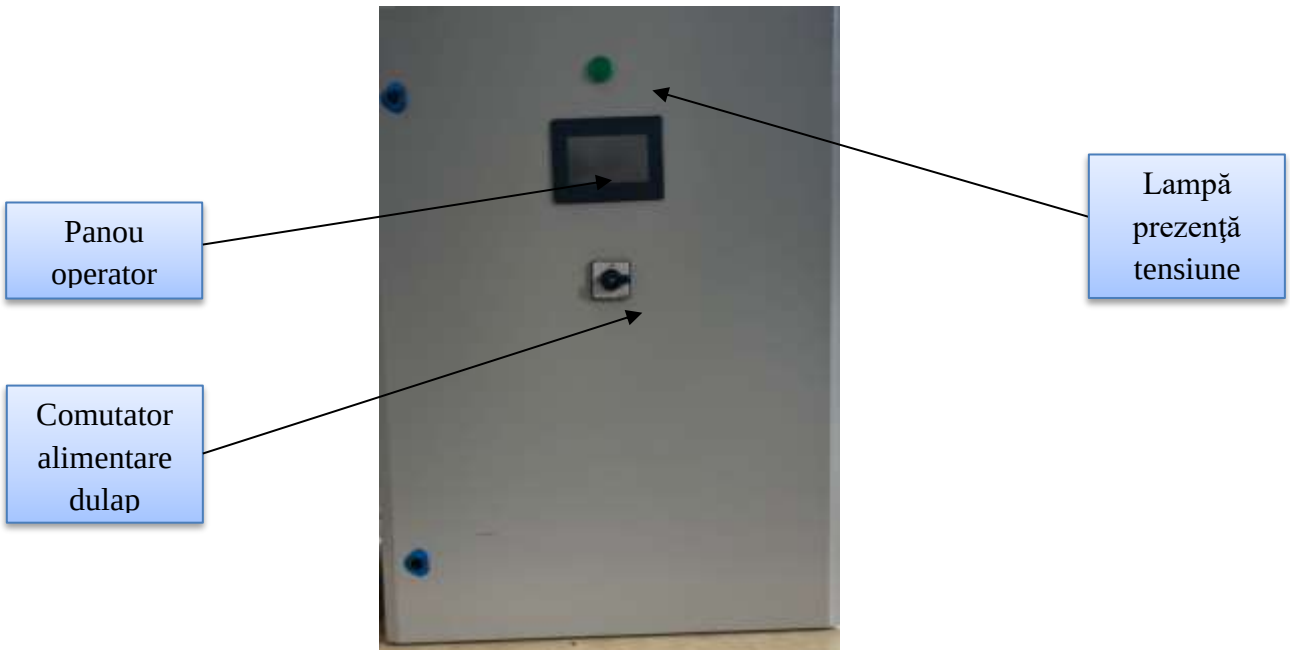


Fig. 3.13. Elementele de pe dulapul de automatizare.

3.2.3 Proiectarea aplicaţiei software de comandă şi monitorizare a reductorului inversor

Aplicaţia software de comandă şi monitorizare a fost creată pe baza listei de parametri şi tinând cont de condiţiile de pornire şi funcţionare ale reductorului inversor.

3.2.4. Interfața grafică. Prezentare

La alimentarea panoului operator şi rularea normală a software-ului, sunt afişate mai multe ecrane selectabile prin butoanele din partea de jos a ecranului.

3.2.4.1. Ecran principal cu parametrii:

În figurile 3.14 şi 3.15 este prezentat ecranul principal cu parametrii şi cu elementele de execuţie ale instalaţiei în care apare modul de acţionare al cuplajului, dacă este cuplat sau nu.

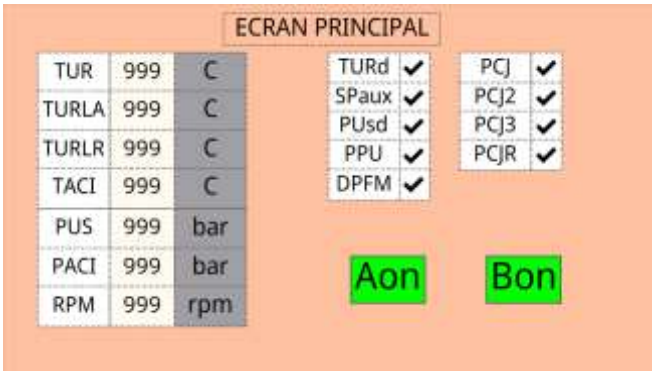


Fig. 3.14. Ecran “Principal cu parametrii” în care cuplajul este “ON”.

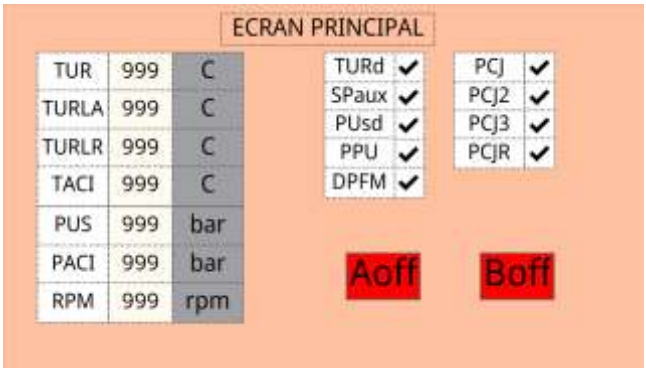


Fig. 3.15. Ecran "Principal cu parametrii" în care cuplajul este "OFF".

3.2.4.2. Ecran legendă şi avertizări:

În Fig. 3.16 este prezentat ecranul „**Legendă şi avertizări**" în care, sub formă de tabel, sunt prezentaţi parametrii, unitățile lor de măsură, precum şi condițiile de avertizare.



Fig. 3.16. Ecran " Legendă şi avertizări"

3.2.4.3. Ecran Teste:

Ecranul „**Teste**" (Fig. 3.17) afișează, sub formă de tabel, elementele de execuţie ale instalaţiei cu posibilitatea testării funcţionării lor. Acest lucru este util pentru punerea în funcţiune sau în cadrul lucrărilor de mentenanţă. În acest ecran se realizează verificarea funcţionării pompei auxiliare şi a cuplajului ON/OFF.

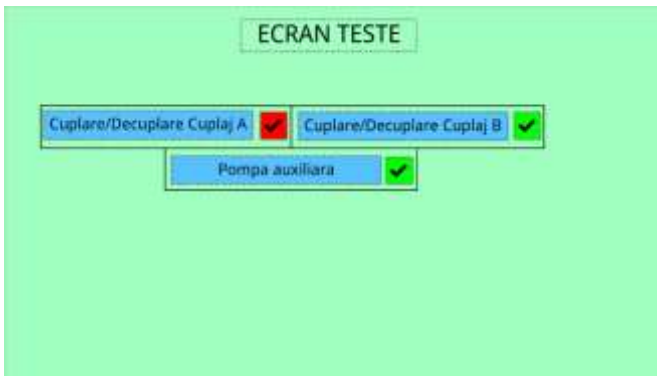


Fig. 3.17. Ecran "Teste".

3.2.5. Program principal

Programul principal are rolul de a realiza comanda şi controlul reductorului inversor, de a asigura protecţia reductorului prin monitorizarea parametrilor (turaţie, temperturi şi presiuni), controlul pompei auxiliare, controlul automat al cuplării şi decuplării şi declanşarea alarmelor vizuale în caz de defecţiuni sau a parametrilor în afara limitelor admise.

3.2.5.1. Definire variabile analogice şi scalare (4000-20000)

a) Temperaturi:

1. *Temperatură ulei ungere ridicata-**F15** (MBT9110) = **MD1-TUR(IA05)**;*
2. *Temperatură ridicată lagăr radial axial-**F9** (MBT9110) = **MD2-TURLA(IA06)**;*
3. *Temperatură ridicată lagăr radial-**F10**(MBT9110) = **MD3-TURLR(IA07)**;*
4. *Temperatură apă circuit închis= **MD4-TACI(IA09)**.*

b) Presiuni:

1. *Presiune de ungere scazută-**F16** (Danfoss MBS3100-1811 6AB04 4-20 mA) = **MD5-PUS(IA08)**;*
2. *Presiune = **MD6-PACI(IA10)**.*

c) Turație:

1. *Turație = **MD7-RPM(IA11)**.*

3.2.5.2. Definire variabile digitale

Intrări

a) Temperatură:

1. *Temperatură ulei ungere ridicată-F1(Danfoss MBC 8100) = **I01(TURd)**.*

b) Presiuni:

1. *Presiune de ungere scazută-**F3**(Danfoss MBC 5100) = **I02(SPaux)**;*
2. *Presiune de ungere scazută-**F4** (Danfoss MBC 5100) = **I03(PUSd)**;*
3. *Presiune de ungere minimă-**F14**(Danfoss MBC 5100) = **I04(PPU)**;*
4. *Diferența de presiune mare pe filtru ulei-**F17**(Internormen OE1.2,0.G.1) = **I05(DPFM)**;*
5. *Cuplaj A cuplat-**F5** (Danfoss MBC 5100) = **I06(Aon)**;*
6. *Cuplaj A decuplat-**F13** (Danfoss MBC 5100) = **I07(Aoff)**;*
7. *Cuplaj B cuplat-**F22** (Danfoss MBC 5100) = **I08(Bon)**;*
8. *Cuplaj B decuplat-**F21** (Danfoss MBC 5100) = **I17(Boff)**;*
9. *Presiune de cuplare joasă-**F8**(Danfoss MBC 5100) = **I18(PCJ)**;*
10. *Presiune de cuplare joasă-**F7** (Danfoss MBC 5100) = **I19(PCJ2)**;*
11. *Presiune de cuplare joasă-**F11** (Danfoss MBC 5100) = **I20(PCJ3)**;*
12. *Presiune de cuplare ridicată-**F12** (Danfoss MBC 5100) = **I21(PCJR)**.*

Ieșiri

1. *Cuplare A (Y1) = **Q01**;*
2. *Cuplare B (Y1) = **Q02**.*

3.2.5.3 Dezvoltarea aplicaţiei software

Automatul care rulează aplicaţia este de tip Easy-E4-UC-12RC1 şi are module specializate de intrare ieşire. Dezvoltarea aplicaţiei software a PLC-ului şi a panoului de comandă şi control am făcut-o în Easy.Soft.V8.31 sub forma unei subrutine (fig.3.18).

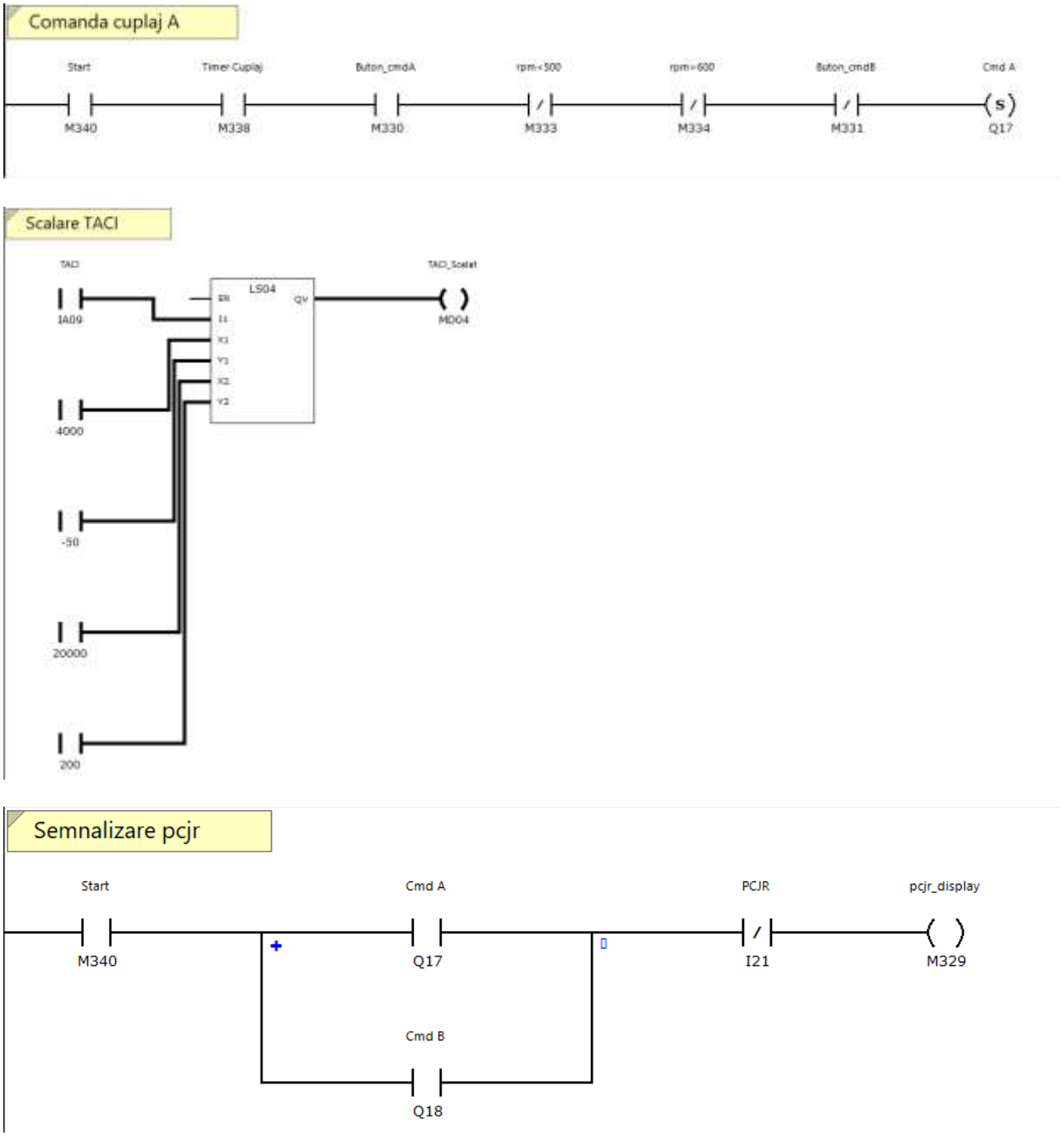


Fig. 3.18. Parte din programul de soft.

CONCLUZII

1. CONCLUZII GENERALE

Domeniul studiat de autorul lucrării are o importanță deosebită pentru realizarea unor propulsii navale moderne perfect adaptate caracteristicilor navelor maritime pe care vor fi integrate. Totul începe de la cerințele privind puterea mecanică necesară, se aleg cele mai eficiente și ușor de întreținut soluții tehnice, se proiectează sistemele de control și se testează echipamentele în condiții cât mai apropiate de realitate. În acest proces automatizarea instalațiilor electrice ale standurilor de încercare pentru propulsiile navale are un rol foarte important.

Autorul tezei de doctorat are contribuții importante în cadrul automatizării unor standuri de încercare turbomotoare, reductoare-inversoare, reductoare sau multiplicatoare, adică toate componentele din care sunt alcătuite în general propulsiile navale.

Aceste contribuții se referă atât la realizarea echipamentelor de automatizare cât și la dezvoltarea aplicațiilor software, esențiale în controlul și monitorizarea standurilor de probă.

2. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Teza de doctorat și-a propus să aducă contribuții privind automatizarea instalaţiilor electrice a standurilor de încercare pentru propulsia navală.

În continuare sunt prezentate pe scurt contribuțiile originale pe care le aduce teza în domeniul studiat:

a) **Studiul privind stadiul actual şi tendinţele în construcţia şi automatizarea standurilor destinate încercării propulsiilor navale în funcţie de tipul motorului pe baza cărora sunt realizate**. Analiza a conturat direcţia de cercetare în care au fost făcute investiţiile de timp şi resurse (vezi Cap. Introducere paragraf 2 şi 3);

b) **Contribuţii la îmbunatăţirea interfeţei operator pentru standul de motoare diesel navale.** Îmbunătăţirea acestei interfeţe prin gruparea unor parametri şi afişarea unor valori semnificative a condus la reducerea timpului de testare şi la o interacţiune intuitivă cu panoul operator de stand (vezi Cap.1 paragraf 1.6.2);

c) **Contribuţii la automatizarea pornirii standului LMDN.** Automatizarea pornirii degrevează operatorul de sarcinile legate de urmărirea procesului şi determinarea timpului de interacţiune cu propulsia manevrată pe stand. Acurateţea creşte şi probabilitatea de ratare a pornirii scade considerabil astfel încât operatorul se poate concentra pe explicarea funcţionării propulsiei (vezi Cap.1 paragraf 1.6.1);

d) **Contribuţii la comunicaţia motorului cu PLC-ul în standul LMDN.** Am realizat această comunicaţie care ajută la buna funcţionare a motorului şi a întregului ansamblu de propulsie. Comunicaţia a dus la învatarea a noi programe ceea ce a îmbunătăţit cunoştinţele şi a ajutat la integrarea lor în funcţionarea acestui sitem de propulsie (vezi Cap.1 paragraf 1.6.3);

e) **Contribuţii la testarea indicaţiei puterii calculate pe standul de turbomotor.** Aplicarea calculelor termodinamice proprii turbomotorului a condus, pentru puterea mecanică dezvoltată de turbomotor, la un rezultat foarte apropiat de puterea masurată prin intermediul dinamometrelor. Am testat aceste formule în timpul probelor cu turbomotorul la diferite regimuri de încarcare, valorile pentru puterea calculată şi

masurată fiind afişată pe ecranul computerului şi înregistrată în fişierele de test (vezi Cap.2 paragraf 2.5);

f) **Contribuţii la testarea standului de încercare reductor inversor AI şi analiza datelor înregistrate.** Standul de încercare reductor inversor a fost creat pentru testarea acestui echipament la regimuri de turaţie şi cuplu definite de constructor, înainte de a fi instalat pe navă. Din analiza datelor înregistrate, s-a remarcat graficul că încarcarea reductorului creşte cu mărirea turaţiei de antrenare a motorului principal (vezi Cap.3 paragraf 3.1);

g) **Contribuţii la proiectarea şi realizarea dulapului de achiziţie date a standului de încercare reductor inversor AI.** Dulapul de achiziţii date ajută la realizarea automatizării standului de încercare a reductorului inversor, testarea şi achiziţia automată a parametrilor (vezi Cap.3 paragraf 3.1.7);

h) **Contribuţii la proiectarea şi execuţia dulapului de automatizare.** Am proiectat şi executat dulapul de automatizare pentru reductorul inversor care ajută la interacţiunea operatorului cu maşina. El este integrat în instalaţia electrică generală asigură alimentarea echipamentelor electrice la diferite tensiuni şi automatizarea standului pentru testarea reductorului inversor (vezi Cap.3 paragrafele 3.2.1 şi 3.2.2);

i) **Contribuţii la proiectarea aplicaţiei software de comandă şi monitorizare a reductorului inversor**. Am realizat pe partea de automatizare un soft pentru panoul operator şi un soft pentru PLC care au rolul de a realiza comanda şi controlul demostratorului tehnologic cu reductor inversor în stand, vizualizarea parametrilor pe panoul operator şi semnalizarile de avarie şi protecţie a panoului operator (vezi Cap.3 paragrafele 3.2.4 şi 3.2.5).

3. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ

Experienţa acumulată în automatizarea instalaţiilor electrice ale standurilor de încercare pentru diverse tipuri de propulsii navale sau componente ale acestora va fi folosită în cadrul proiectelor viitoare. Pe parcursul elaborării tezei de doctorat, am studiat, proiectat şi realizat echipamente de automatizare necesare standurilor, iar metodele utilizate în acest sens vor fi replicate pentru noi configuraţii de propulsii navale care vor utiliza motoare cu pistoane sau turbomotoare.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVA

[1] *** https://www.emerson.com/en-us/catalog/emerson-ic200cpue05 acesat 29.05.2025

[2] ***https://www.moxa.com/en/products/industrial-edge-connectivity/protocol-gateways/modbus-tcp-gateways/mgate-5121-series acesat 29.05.2025

[3] F.Niculescu– "Contribuţii la comanda şi controlul unui turbomotor pentru aplicaţii navale" – Teză de doctorat. Școala Doctorală de Inginerie Electrică, UPB, Bucureşti, 2021

[4] **M.L.Vasile**, F.Niculescu, D.Lale „Test bench for Naval Propulsion Gearbox" poster ASMES 2024, May 09-12, 2024, Tulcea, Romania

[5] *** https://www.eaton.com/ro/ro-ro/skuPage.197211.html#tab-1 acesat 29.05.2025

ANEXE

1. DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

Contribuțiile privind automatizarea instalațiilor electrice a standurilor de încercare pentru propulsie navală au fost diseminate prin prezentarea lor la conferințe și prin publicarea lor în jurnale naționale și internaționale cunoscute.

1.1 Lucrări reprezentative tezei de doctorat:

1. *F.Niculescu , A.Săvescu,* ***M.L.Vasile*** *- „Adaptive Control for Marine Gas Turbine”* 2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS) 21-23 May 2020
2. *F.Niculescu, C.Savescu, A.Săvescu, A.Mitru,* ***M.L.Vasile*** *- „ Automation and Electronic Control of Marine Gas Turbine Engine for Ship Revamp”* Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology
3. *F.Niculescu , C.Borzea,* ***M.L.Vasile*** *- „Marine gas turbine for efficient ship propulsion”* EMERG, Volume VI, Issue 3/october ,2020, Romania
4. *F. Niculescu, A.Săvescu,* ***M.L.Vasile*** *–* „*Redundancy in the control of a gas turbine for naval applications*” în Proceedings of the 9th International conference on advanced concepts in mechanical engineering (ACME 2020), Iunie 04 - 05, 2020, IASI, Romania
5. *F.Niculescu , C.Borzea, I.Vlăduca, A.Mitru,* ***M.L.Vasile****, A.Țăranu, G.Dediu – „Automation Control for Revamping the Propulsion System of a Navy Frigate*” publicat in Jurnalul UPB Seria D, Vol 83, Iss.1, 2021- ISSN1454-2358
6. *I.Vlăduca, C.Savescu,* ***M.L.Vasile****, G.I.Balan, A.Savescu, A.Mitru, F.Niculescu , C.Nechifor, D.Useriu, T.Stanescu, G.Badea, R.Ciobanu – „Automation Control System for Naval Propulsion Retrofitting”* publicat in Proceeding of International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE). May 27-29. 2021 Craiova, Romania
7. *G.I.Balan, O.N.Volintiru, I.C.Scurtu,* ***M.L.Vasile****, C.Savescu – „Considerations regarding the anti-icing system for the ship propulsion plant with gas turbine”* publicat in E3S Web Conference on 10th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD), Volume 286, July 2021
8. *F. Niculescu,* ***M.L.Vasile,*** *G.I.Balan, A.Săvescu,R.Nicolae –* „*Virtual Indication of the Torque for a Marine Gas Turbine”* în Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology, 3(10), pp 74-81, November 2021
9. *D. Lale, C. Săvescu, S. Gogoneață, C.Nechifor ,* ***M.L.Vasile,*** *F. Niculescu –* "*Passengers Monitoring System with Infrared Sensors and Microcontroller*" publicat in COMOTI Scientific Journal TURBO, Volume VIII (2021), no. 2
10. *C.Nechifor, C. Săvescu, A.Stoicescu, D. Lale,* ***M.L.Vasile****–* "Modular automation cabinet for proactive monitoring in ATEX Zone 2" 10th International Symposium on Occupational Health and Safety (SESAM) 2021, publicat in MATEC Web of Conferences, **Volume** 354, January 2022
11. ***M.L.Vasile,*** *G.Dediu, F.Niculescu, C. Săvescu, G.I.Balan –* "Propeller load simulation on gas turbine test stand", International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET) 2022
12. ***M.L.Vasile,*** *F.Niculescu, D. Lale–* " Test Bench for Naval Propulsion Gearbox", ASMES 2024 - May 09-12,Tulcea, Romania
13. *D. Lale,* ***M.L.Vasile,*** *F.Niculescu,–* "Test Bench for Pneumatic Starter used in Naval Propulsion", ASMES 2024 - May 09-12,Tulcea, Romania

14. ***M.L.Vasile,*** *F.Niculescu, D. Lale, R. Stoica*“ The Replacement of the Gas Turbine in Case of a Marine Vessel”, WSEAS Transactions on Systems Journal, Print ISSN: 1109-2777, E-ISSN: 2224-2678 , Vol.24, 2025

1.2 Alte lucrări publicate

15. *C.Nechifor, M. Roman, D. Lale, R. Stoica,* ***M.L.Vasile*** – “Control system for suction valves within gas compressors skids located in potentially explosive zones”, 11th International Symposium on Occupational Health and Safety (SESAM 2023).
16. *I. Vlăducă, C. V. Nechifor*, ***M. L. Vasile****, C. P. Suciu, P. G. Badea, T. Stănescu, R. E. Nicoară, E. G. Prisăcariu, R. M. Stanciuc, S. Popescu, S. Dinescu, A. M. Obreja* – “ Hydrogen Storage in Offshore Salt Caverns for Reducing Ships Carbon Dioxide Footprint”, publicat în Technium Vol. 4, No. 9, pp.1-11 (2022), ISSN:2668-778X
17. *I. Vladuca, R. A. Isac, V. L. Ringheanu, E. Toma, C. Petre, R. M. Stanciuc, D. Constantin****, M. L. Vasile*** -" Reliability and Maintenance of Motor Operated Valves, in the Romanian Natural Gas Compression and Distribution Stations ", publicat în Technium Vol. 21, pp.83-92 (2024), ISSN: 2668-778X
18. ***S. Popescu, S. Dinescu, S. M. Radu, B. T. Obreja, I. Vladuca, T. M. Sirbu, R. M. Stanciuc, M. L. Vasile*** -" Hydrogen vs. Energy Storage in Offshore Deep Depths Salt Caverns Drilled at Vadu, Constanta County, Romania ", Preprints, DOI:10.20944/preprints202502.1207.v1(2025)

1.3 Lucrări în curs de recenzare/publicare:

19. ***M.L.Vasile****,V. Năvrăpescu, D. Lale, M. Roman, C. Nechifor*, R. Stoica, F.Niculescu,G. Mihai, O. Metin, S. Echim - „ Electrical and Automation Control System for a Naval Diesel Engines Laboratory”* U.P.B. Scientific Bulletin, Series C Electrical Engineering and Computer Science, 2025
20. *C.Săvescu,* ***M.L.Vasile****, C. Nechifor*, V. Năvrăpescu, D. Lale, R. Conţiu, F.Niculescu, - „ Automation System of an Educational Test Bench for Naval Piston Diesel Engines”* Revue Roumaine des Sciences Techniques, 2025

1.4 Cereri de brevete:

1. Cerere brevet nr. A 2025 00051 - Sistem de producere şi stocare energie prin tehnologie CAES folosind carierele de lignit închise, Iulian Vlăducă, Răzvan Edmond Nicoară, **Mirela Letiţia Vasile**, Bogdan Năvligu, Cosmin Petru Suciu, Alexandru Hank, Ramona Manuela Stanciuc, Ştefan Alexandru Şerban, Theodor Mihnea Sîrbu , Mihai Joavină, Adrian Săvescu, Claudia Irina Săvescu, Cristian Valentin Nechifor, Emilia Georgiana Prisăcariu, Sorinel Popescu, Stela Dinescu, Sorin Mihai Radu, Marius-Valentin Drăgoi, februarie 2025.

1.5 Cereri de brevete publicate în BOPI/Espacenet:

1. RO138345A0, Ejection System for Diluting Combustion Gases in Turbo Reactors with Variable Exhaust Section, autori: Iulian Vlăducă, Călin Porfir, Theodor Mihnea Sîrbu, **Mirela Letiţia Vasile**, Răzvan Edmond Nicoară, Valeriu Alexandru Vilag, Jeni Alina Vilag, Bogdan Năvligu, Cosmin Petru Suciu, Alexandru Hank, Daniela Constantin, Ramona Manuela Stanciuc, RO-BOPI 8/2024, ISSN 2065-2100, ISSN-L 2668-9006

https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/092542103/publication/RO138345A0?q=pn%3DRO138345A0