



**UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI TEHNOLOGIE  
POLITEHNICA BUCUREȘTI  
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ  
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE ELECTRICĂ**

# **REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT**

**CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA FUNCȚIONĂRII  
UNEI MICROHIDROCENTRALE ÎN REGIM IZOLAT**

**Conducător științific:  
Prof.univ.dr.ing. Florin IONESCU**

**Doctorand:  
Ing. Dorian ANGHEL**

**BUCUREȘTI 2024**

---

**CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT**

<b>MULȚUMIRI</b> .....	2
<b>CUPRINS</b> .....	3
<b>LISTA NOTAȚIILOR</b> .....	7
<b>INTRODUCERE</b> .....	9
<b>1. Scopul tezei de doctorat</b> .....	9
<b>2. Oportunitatea temei alese</b> .....	10
<b>3. Organizarea pe capitole a lucrării</b> .....	10
<b>CAPITOLUL 1</b> .....	11
<b>1.1 Stadiul actual</b> .....	11
1.1.1 Încadrare geografică.....	11
<b>1.2 Prezentarea schemei electrice existente și a părților componente</b> .....	11
1.2.1 Generatoarele.....	12
1.2.2 Autotransformatorul.....	13
1.2.3 Bateria de condensatori.....	13
1.2.4 Regulatorul de tensiune existent.....	13
1.2.5. Deficiențe semnalate în timpul exploatării microhidrocentralei Ociul Bei.....	14
<b>1.3. Stabilirea soluției optime pentru configurația microhidrocentralei</b> .....	15
1.3.1. Expertizarea stării tehnice a microhidrocentralei.....	15
<b>1.4. Programul lucrărilor ce se impun în vederea reabilitării microhidroagregatelor din păstrăvăria Ochiul Bei – Ocolul Silvic Sasca</b> .....	16
<b>CONCLUZII</b> .....	17
<b>CAPITOLUL 2</b> .....	20
<b>2. STAND EXPERIMENTAL PENTRU TESTAREA GENERATORULUI ASINCRON FUNCȚIONÂND ÎN REGIM IZOLAT</b> .....	20
<b>2.1. Descrierea modelului experimental al unui hidrogenerator cu funcționare în regim izolat, fără reglaj de debit</b> .....	20
<b>2.2. Schema electrică a standului experimental</b> .....	22
2.2.1. Schema electrică a instalației de alimentare a MCC.....	24
<b>2.3. Determinarea caracteristicilor de funcționare a generatorului asincron</b> .....	28
2.3.1. Funcționarea generatorului asincron în regim de mers în gol autoexcitat.....	29
2.3.2. Funcționarea generatorului asincron în sarcină.....	31
2.3.3. Schema de principiu a instalației de comandă și reglaj a tensiunii la bornele generatorului.....	33
<b>2.4. Testarea experimentală pe model</b> .....	34
2.4.1. Bateria de condensatori reglabilă în trepte.....	39
2.4.2. Sistemul de achiziție utilizat.....	39
2.4.3. Testarea experimentală a modelului de generator la funcționarea în gol.....	39
2.4.4. Testarea experimentală a modelului de generator la funcționarea în sarcină.....	42
2.4.5. Testarea experimentală a modelului de generator la funcționarea în sarcină dezechilibrată.....	43
<b>CONCLUZII</b> .....	46

<b>CAPITOLUL 3</b> .....	49
<b>3. MODELAREA MATEMATICĂ A GENERATORULUI ASINCRON</b> .....	49
<b>3.2. Încercări experimentale de determinare a parametrilor electrici a generatorului asincron</b> .....	49
3.4.1. Regimul de mers în gol ca motor.....	49
<b>3.3. Modelarea generatorului asincron</b> .....	55
<b>CONCLUZII</b> .....	60
<b>CAPITOLUL 4</b> .....	61
<b>4. SCHEMA ELECTRICĂ DE FORȚĂ ȘI COMANDĂ A MICROHIDROCENTRALEI</b> ..	61
<b>4.1. Generatorul asincron</b> .....	62
4.2. Bateria de condensatoare.....	63
4.3. Tabloul central de alimentare.....	65
4.4. Tabloul de comandă și reglaj a tensiunii de alimentare.....	67
4.4.1. Sursa de alimentare.....	70
4.4.2. Acumulatori.....	70
4.4.3. Analizorul de rețea.....	71
4.4.4. Modul traductor tensiuni.....	71
4.4.5. Blocul de comandă tranzistoare IGBT.....	72
4.4.6. Blocul IGBT.....	73
4.4.7. Rezistența de balast.....	74
<b>CONCLUZII</b> .....	74
<b>CAPITOLUL 5</b> .....	76
<b>5. REGLAJUL AUTOMAT DE TENSIUNE ȘI FRECVENȚĂ</b> .....	76
5.2. Prezentare automat programabil.....	76
5.2.1. Sursă alimentare.....	77
5.2.2. Intrări digitale.....	78
5.2.3. Intrări analogice.....	78
5.2.4. Ieșiri digitale cu tranzistor.....	80
5.2.5. Ieșiri cu contact releu.....	80
5.2.6. Ieșiri PWM.....	81
5.2.7. Rețea serială de comunicație de tip RS485.....	82
5.2.8. Card de memorie.....	82
5.2.9. Intrare de viteză.....	82
5.2.10. Elaborarea schemelor.....	93
5.2.11. Realizarea practică a cablajelor imprimate.....	93
5.3. Circuitele de putere a regulatorului.....	95
5.3.1. Circuitul rezistențelor de balast.....	95
5.3.2. Circuitul bateriei de condensatori reglabilă.....	96
5.3.3. Circuit de suprimare a supratensiunilor.....	97
5.4. Regulator frecvență generator.....	97
5.4.1. Schema de comandă.....	98
<b>CONCLUZII</b> .....	107
<b>CAPITOLUL 6</b> .....	109
<b>6. CONCLUZII FINALE</b> .....	109



<b>CAPITOLUL 7</b> .....	112
<b>7. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE</b> .....	112
<b>7.1 Contribuții personale</b> .....	112
<b>7.2 Direcții viitoare de cercetare</b> .....	114
7.2.1 Automatizarea vanelor și aparatului director.....	114
7.2.2 Realizarea unui sistem de monitorizare și comandă de la distanță.....	118
<b>ANEXE</b> .....	122
<b>Anexa 1</b> .....	122
Detalii despre locație și amenajarea hidro Ochiul Beiului.....	122
<b>Anexa 2</b> .....	126
Deficiențe mecanice semnalate în timpul exploatării microhidrocentralei Ociul Bei.....	126
<b>Anexa 3</b> .....	127
Starea tehnică a microcentralei.....	127
<b>Anexa 4</b> .....	128
Lucrări în vederea reabilitării microhidroagregatelor din păstrăvăria Ochiul Bei.....	128
<b>Anexa 5</b> .....	129
Sistem de achiziție VPA 323.....	129
<b>Anexa 6</b> .....	130
Funcționarea mașinii asincrone.....	130
<b>Anexa 7</b> .....	141
Relev supraveghere tensiune tip RNPP - 311M.....	141
<b>Anexa 8</b> .....	142
Rezistența balast.....	142
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	143

**Cuvinte cheie:** microhidrocentrală, regim izolat, generator asincron, model experimental motor-generator asincron, baterie de condensatoare, regulator de tensiune, regulator de frecvență, sistem de achiziție mărimi electrice, automat programabil, analizor rețea, tablou electric, web server, router gsm.

## INTRODUCERE

În prezent hidrocentralele produc 19% din energia electrică consumată în lume [2].

În România există un potențial mare în domeniul hidroenergiei datorită căderilor de apă care se găsesc din abundență mai ales în zonele muntoase. S-a estimat că sunt peste 2000 de locații în Munții Carpați și în împrejurime, favorabile dezvoltării microhidrocentralelor [3], [4].

Hidrocentralele și majoritatea microhidrocentralelor construite în România sunt conectate la Sistemul Energetic Național [5].

Țara noastră are multe așezări rurale mici care datorită izolării, sunt lipsite de electricitate. În unele din aceste așezări există râuri care ar putea fi folosite pentru producerea energiei electrice. Amenajarea unei microhidrocentrale în regim izolat în general se poate realiza cu costuri mult mai mici decât instalarea unei linii electrice care să transporte energia de la mare distanță spre o așezare mică.

Unul din avantajele folosirii energiei hidro în sisteme izolate este faptul că nu necesită înmagazinarea energiei electrice, ci aceasta se produce la nivelul energiei hidraulice a apei în baraje.

### 1. Scopul tezei de doctorat

Teza de doctorat are ca scop studiul precum și găsirea unor soluții practice în vederea optimizării funcționării unei microhidrocentrale în regim izolat.

Obiectivele sunt următoarele:

1. Realizarea unui regulator de tensiune-frecvență mai performant, care să mențină tensiunea și frecvența în limitele impuse de normele în vigoare privind consumatorii electrici.
2. Realizarea unei protecții mai bune a consumatorilor în cazul unui defect al ansamblului generator-regulator tensiune.
3. Protejarea generatorului la supraturare atunci când sarcina s-a deconectat.
4. Monitorizarea și conducerea procesului din microhidrocentrală de la distanță.
5. Realizarea unei automatizări care să urmărească toate instalațiile din microhidrocentrală începând cu vana, apoi aparatul director, reglatoarele de tensiune și frecvență, astfel încât aceasta să poată fi implementată și în alte microcentrale similare.
6. Realizarea practică a automatizării precum și implementarea în teren, să se facă astfel încât costurile să fie minime fără a se face rabat de la calitate.

### 2. Oportunitatea temei alese

Există zone unde au fost realizate, cu ani în urmă, amenajări de microhidrocentrale, care sunt echipate cu instalații neperformante sau care nu mai funcționează decât parțial.

Teza este oportună tocmai acestor amenajări izolate care au nevoie de o rețehnologizare a procesului de producere a energiei electrice.

Soluțiile care vor fi prezentate în teză pot fi folosite de asemenea și în cadrul proiectelor noi realizate pentru microhidrocentrale cu funcționare în regim izolat.

În același timp teza își dovedește oportunitatea datorită costurilor mici pe care și le propune în realizarea automatizării.

## SINTEZA CAPITOLELOR TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat este structurată în șapte capitole, dintre care primul prezintă stadiul actual al microhidrocentralei, la începutul cercetării, Capitolul 2 prezintă realizarea unui stand de test a generatorului asincron, Capitolul 3 prezintă simularea generatorului cu programul

Matlab, Capitolul 4 prezintă schemele tabloului de alimentare și tabloului de comandă și reglaj a tensiunii și frecvenței, Capitolul 5 prezintă regulatorul de tensiune și regulatorul de frecvență, Capitolul 6, unde sunt prezentate concluziile și Capitolul 7 având contribuțiile personale rezultate în urma cercetării.

## CAPITOLUL 1 - STADIUL ACTUAL

Una dintre amenajările hidrotehnice izolate din județul Caraș-Severin este microhidrocentrala din apropierea păstrăvăriei Ochiul Beilui construită în anul 1981.

Am ales această microhidrocentrală pentru a face cercetări privind optimizarea funcționării și pentru a găsi soluții pentru înlocuirea vechii automatizări cu una modernă.

Locația aleasă se află într-o zonă turistică în Parcul Național Cheile Nerei - Beușnița, la limita Munților Aninei cu Munții Locvei, în apropiere de cascada Beușnița și Lacul Ochiul Beilui [10].

De-a lungul timpului schema electrică a microhidrocentralei a suferit câteva modificări.

De la punerea în funcție (aprox. anul 2001) au fost făcute modificări în anul 2008.

Schema electrică utilizată între anii 2008 – 2018 este prezentată în figura 1.

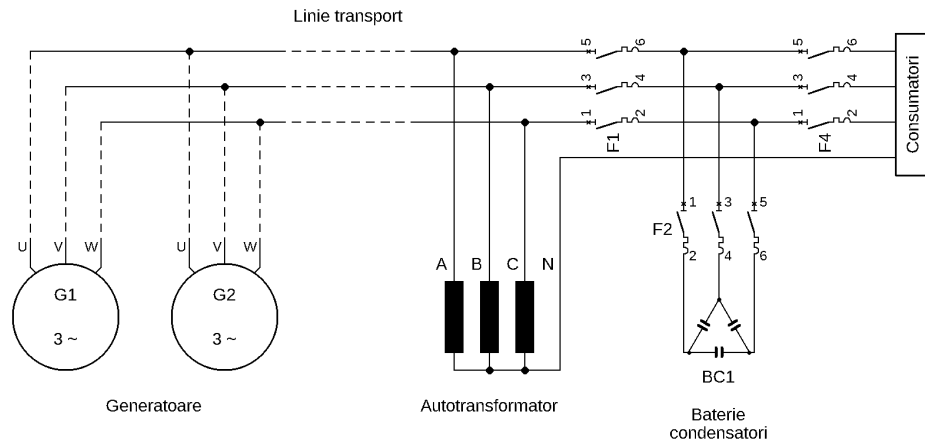


Fig. 1. Schema electrică utilizată între anii 2008 - 2018

În continuare se prezintă principalele elemente ale schemei microhidrocentralei și schimbările care au avut loc pe parcursul anilor.

### 1. Generatoarele

Între anii 2001 - 2007 ca generator a fost utilizat un motor asincron de 15 kW și apoi până în anul 2008 s-a utilizat un motor asincron de 11 kW ambele având conexiune stea.

Generatoarele nu aveau bobinajul original, ci erau rebobinate.

În acest interval de timp (anii 2001-2007) a fost utilizată doar turbina numărul 1.

În anul 2008 s-a montat pe fiecare turbină câte un motor asincron de 11 kW, în conexiune triunghi. Aceste generatoare nu puteau fi conectate în stea așa cum ar fi fost necesar deoarece ar fi produs o tensiune de fază de 400V, iar tensiunea de linie ar fi ajuns la 660 V.

Generatoare existente nu pot să asigure nulul instalației, necesar consumatorilor.

### 2. Autotransformatorul

Un autotransformator a fost conectat în schemă în anul 2008 pentru a se putea crea un nul instalației de utilizare și astfel să fie posibilă conectarea consumatorilor care sunt monofazați.

Această soluție de obținere a nului a fost gândită ca o soluție de moment, care se dorea a fi utilizată doar provizoriu, însă a funcționat aproximativ 10 ani.

### 3. Bateria de condensatori

Bateria de condensatori a fost montată într-un tablou separat și e formată din trei grupuri de condensatori legați mixt, în serie pentru a crește valoarea tensiunii de lucru și în paralel pentru a se obține o capacitate mai mare. Grupurile de condensatori sunt în final conectate în triunghi.

Bateria de condensatori avea o capacitate de  $3 \times 90 \mu\text{F} - 3 \times 100 \mu\text{F}$ .

### 4. Regulatorul de tensiune existent

În anul 2001 s-a realizat un regulator trifazat de tensiune pentru această microhidrocentrală folosindu-se un proiect conceput de Jan Portegijs și prezentat pe pagina sa de internet [2].

Generatorul este pornit prin deschiderea vanei care lasă apa să pătrundă în turbină și astfel generatorul se rotește. Atunci când turația motorului asincron antrenat de turbină devine mai mare decât turația de sincronism, intră în regim de generator datorită bateriei de condensatori care este conectată în paralel cu înfășurarea statorică a motorului. În acest moment regulatorul se alimentează și intră în funcțiune.

Regulatorul funcționează pe principiul introducerii unei sarcini rezistive în circuit, atunci când nu există consum, pentru a scădea tensiunea și frecvența.

La fiecare pornire, regulatorul debitează puterea activă pe rezistențele de balast, iar apoi când tensiunea și frecvența sunt în parametri nominali cuplează contactorul C1 și prin acesta consumatorii. De asemenea acest contactor întrerupe alimentarea consumatorilor în cazul în care se depășesc limitele de tensiune și frecvență a impuse pentru consumatori.

Rezistențele sunt grupate câte două pe fiecare fază astfel încât rezultă două trepte de balast. Fiecare rezistență are o putere de 2 kW deci în total o putere de 12 kW poate fi controlată cu acest regulator.

Acest regulator a funcționat timp de 7 ani.

După montarea autotransformatorului (anul 2008), regulatorul a mai funcționat o perioadă scurtă de timp după care a fost oprit și s-a trecut la funcționarea fără regulator așa cum se utiliza generatorul cu 18 ani în urmă.

Expertiza tehnică pe care am efectuat-o la microhidrocentrală a condus la următoarele concluzii:

- O mare parte din subansamblele microhidroagregatelor din centrală prezintă un grad ridicat de uzură fiind necesară recondiționarea sau în unele cazuri înlocuirea lor cu altele noi.

Am întocmit un program de lucrări ce au în vedere recondiționarea următoarelor subansamble: statoarele turbinelor hidraulice, rotoarele turbinelor hidraulice, statoarele generatoarelor asincrone, cuplajele mecanice cu bolțuri și inele elastice.

S-a impus în același timp înlocuirea unor elemente la care gradul de uzură a depășit limita maximă: rulmenți radiali și axiali ai rotoarelor și semeringurile de etanșare din turbinele hidraulice. La hidroagregatul nr.1 s-a impus înlocuirea axului principal al rotorului turbinei întrucât cotele de rulmenți erau mult sub valorile admise în standarde.

Elementele de etanșare a rulmenților turbinelor se uzau într-un timp foarte scurt, fapt ce conduce la o uzură prematură a rulmenților.

În cadrul tezei a fost conceput și realizat practic un sistem de etanșare modern care asigură protecția rulmenților, măbind foarte mult durata de funcționare a acestora. În configurația veche etanșarea dintre corpul turbinei și carcasa rulmentului inferior era realizată dintr-un lagăr de cauciuc. Acest lagăr de cauciuc era turnat direct pe carcasa rulmentului inferior, având o lungime de aproximativ 200 mm și bănuiesc că era strunjit la dimensiunea potrivită. Acest lagăr nu a fost recondiționat de la punerea în funcție, ceea ce a făcut ca el să fie uzat astfel că nu își mai îndeplinea rolul de etanșare. Neavând tehnologia de a tuna un strat

de cauciuc și a-l readuce la cotele inițiale am realizat o etanșare cu semeringuri. Pentru aceasta a fost nevoie doar de prelucrarea pe strung a corpului turbinei pentru a ajunge la cota semeringului.

- Regimul de funcționare a turbinelor, în varianta inițială nu a fost cel optim, pe diagrama de exploatare, deschiderea maximă a aparatului director nefiind corelată cu regimul optim de curgere al apei prin rotorul turbinei. Pentru stabilirea regimului optim s-a stabilit un program de încercări în sarcină la diferite deschideri pentru stabilirea deschiderii optime a aparatului director.

- Bateria de condensatoare utilizată pentru autoexcitarea generatoarelor asincrone nu este performantă, cu o durată de viață foarte redusă, impunându-se înlocuirea ei cu alta mai performantă.

- Schema de conexiuni a înfășurărilor statorice fiind în triunghi, nu permite alimentarea consumatorilor monofazați, fiind necesară introducerea unui transformator de adaptare care să asigure nulul pentru consumatorii monofazați. Se impune rebobinarea generatoarelor asincrone în conexiune stea cu nulul accesibil, eliminându-se astfel din schemă transformatorul de adaptare.

- În schema veche de alimentare cu energie electrică racordul generatoarelor se realiza printr-un singur cablu care se conecta manual la bornele generatorului ce urma să fie utilizat.

Este necesară racordarea ambelor generatoare la tabloul general de alimentare, comutarea alimentării pe generatorul de rezervă realizându-se de la un comutator.

- Tabloul electric de alimentare a consumatorilor în vechea schemă era amplasat în zona Cantonului Silvic, la intrarea în Păstrăvărie, astfel că racordul generatoarelor se asigura printr-un cablu de lungime foarte mare.

Amplasarea tabloului electric la distanță foarte mare de generator prezenta multe dezavantaje dintre care amintim:

- Pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor era nevoie de două persoane: una să conecteze cablul la generatorul ce urmează să fie utilizat și apoi să deschidă manual robinetul de apă prin care se pornește turbina în regim de mers în gol la turație nominală, iar a doua persoană va conecta manual întrerupătorul ce alimentează circuitul consumatorilor. Se impune conceperea și realizarea unui nou tablou electric de alimentare amplasat în incinta centralei care să asigure conectarea automată a comutatorului în momentul când tensiunea și frecvența la bornele generatorului ating valorile nominale fără a fi necesară intervenția personalului din Păstrăvărie.

- Întrucât la intrarea în turbinele hidraulice nu există grătare corespunzătoare care să împiedice intrarea în turbină a materialelor de natură lemnoasă, au avut loc numeroase avarii la nivelul aparatului director cât și la rotorul turbinei, conducând astfel la pierderi însemnate de energie și cheltuieli suplimentare. Pentru eliminarea unor asemenea neajunsuri se impune realizarea și unui grătar care să asigure funcționarea în condiții de siguranță a turbinelor hidraulice.

- Schema instalației electrice de alimentare cu energie electrică a consumatorilor din locația respectivă, nu asigură monitorizarea principalilor parametrii electrici tensiune de fază și de linie, curenții de fază, puterea activă și reactivă absorbită de fiecare fază, frecvența tensiunii la bornele generatorului. Se impune astfel realizarea unui sistem modern de monitorizare a acestor parametrii, cu vizualizare locală și de la distanță a acestora.

- Sistemul de reglaj al tensiunii și frecvenței la bornele generatoarelor sincrone existent, nu a asigurat o funcționare în condiții de siguranță a consumatorilor electrici constatându-se frecvente arderi de echipamente datorate supratensiunilor apărute în sistem sau supraîncălziri ale consumatorilor casnici datorate abaterilor mari de frecvență.

Este necesar un sistem automat care să asigure protecția la supratensiune și suprasarcină a consumatorilor.



De asemenea se impune un sistem de reglaj separat al frecvenței independent de sistemul de reglaj al tensiunii.

## CAPITOLUL 2 - STAND EXPERIMENTAL PENTRU TESTAREA GENERATORULUI ASINCRON FUNCȚIONÂND ÎN REGIM IZOLAT

În microhidrocentrală nu era posibilă testarea echipamentelor realizate în cadrul cercetării, așa că am construit un stand în cadrul laboratorului de Testarea echipamentelor din cadrul U.B.B. Reșița.

Standul experimental a fost realizat practic în scopul verificării performanțelor de reglaj a celor două regulatoare realizate în cadrul tezei de doctorat: regulatorul de viteză RAV și regulatorul de tensiune RAT, prin care să se asigure o alimentare cu energie electrică a consumatorilor utili în parametrii nominali de frecvență și tensiune.

Schema de principiu a standului experimental este dată în figura 2.

În acest scop reglajul tensiunii la bornele generatorului se realizează prin intermediul unei baterii de condensatoare reglabile care îndeplinește rolul de RAT. Informația de tensiune se preia direct de la bornele generatorului GA.

Generatorul asincron GA este antrenat la turația nominală prin intermediul motorului de curent continuu, MCC. Funcționarea generatorului este condiționată de existența unei baterii de condensatori C, conectată în paralel cu mașina asincronă, prin care se asigură curentul de magnetizare a generatorului asincron [23].

Antrenarea generatorului asincron (GA) are loc prin intermediul unui motor de curent continuu alimentat de la un sistem trifazat de redresare complet comandat DCREG.

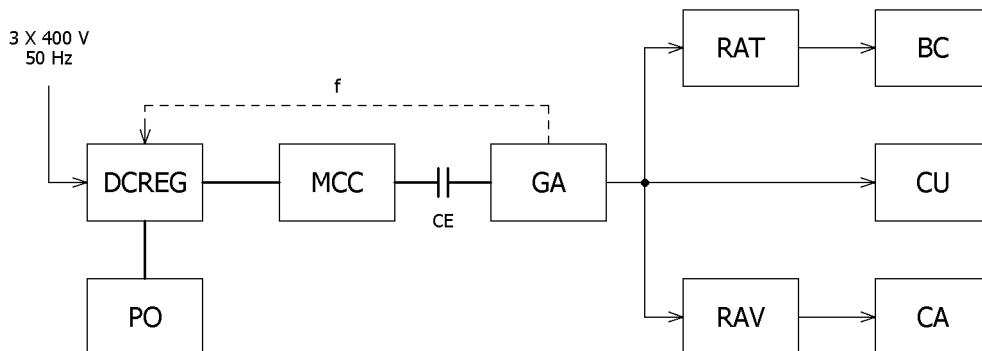


Fig. 2. Schema de principiu a standului experimental

În figura 2 notațiile sunt următoarele:  
 DCREG - redresor trifazat comandat;  
 PO - panou operator DCREG;  
 MCC - motor de curent continuu;  
 CE - cuplaj elastic;  
 GA - generator asincron;  
 RAT - reglaj automat tensiune;  
 RAV - reglaj automat turație (frecvență);  
 BC - baterie de condensatori reglabilă;  
 CU - consumatori utili;  
 CA - consumatori adiționali (rezistențe balast);  
 f - frecvență generator.

S-a utilizat un model de generator asincron trifazat 2,2 kW (figura 3 stânga), care este cuplat cu un motor electric de curent continuu 2,5 kW (figura 3 dreapta), care înlocuiește turbina.

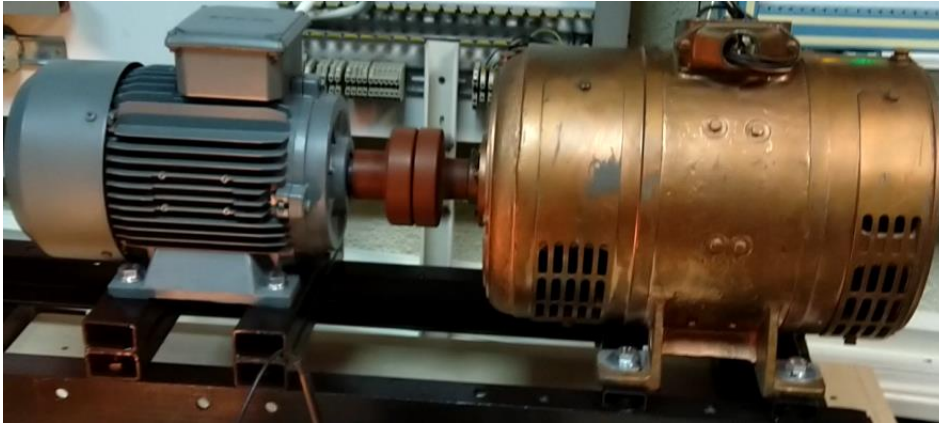


Fig. 3. Modelul experimental microhidroagregat

În figura 4 se prezintă partea de comandă a motorului de curent continuu. În partea dreaptă avem redresorul trifazat de tip DCREG, iar în partea din stânga jos sunt lămpile de confirmare comenzi și butoanele de comandă manuală.

Începând din partea stângă lămpile au următoarele funcții: prezență tensiune, enable, DCREG OK, start DCREG, scade turație, crește turație și buclă curent.

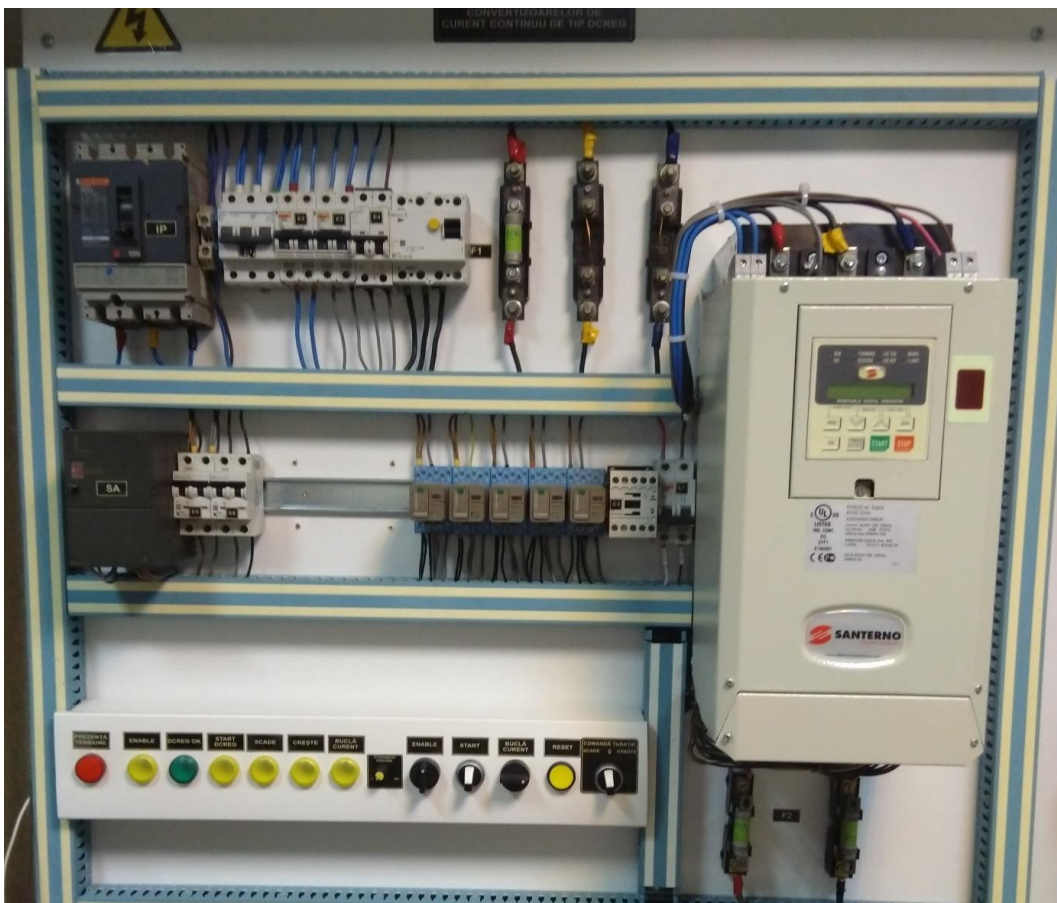


Fig. 4. Modelul experimental partea de comanda MCC

În centrul panoului de comandă se află un potențiomtru cu ajutorul căruia se poate regla turația motorului de curent continuu, fiind conectat la o intrare analogică a redresorului de tip DCREG.

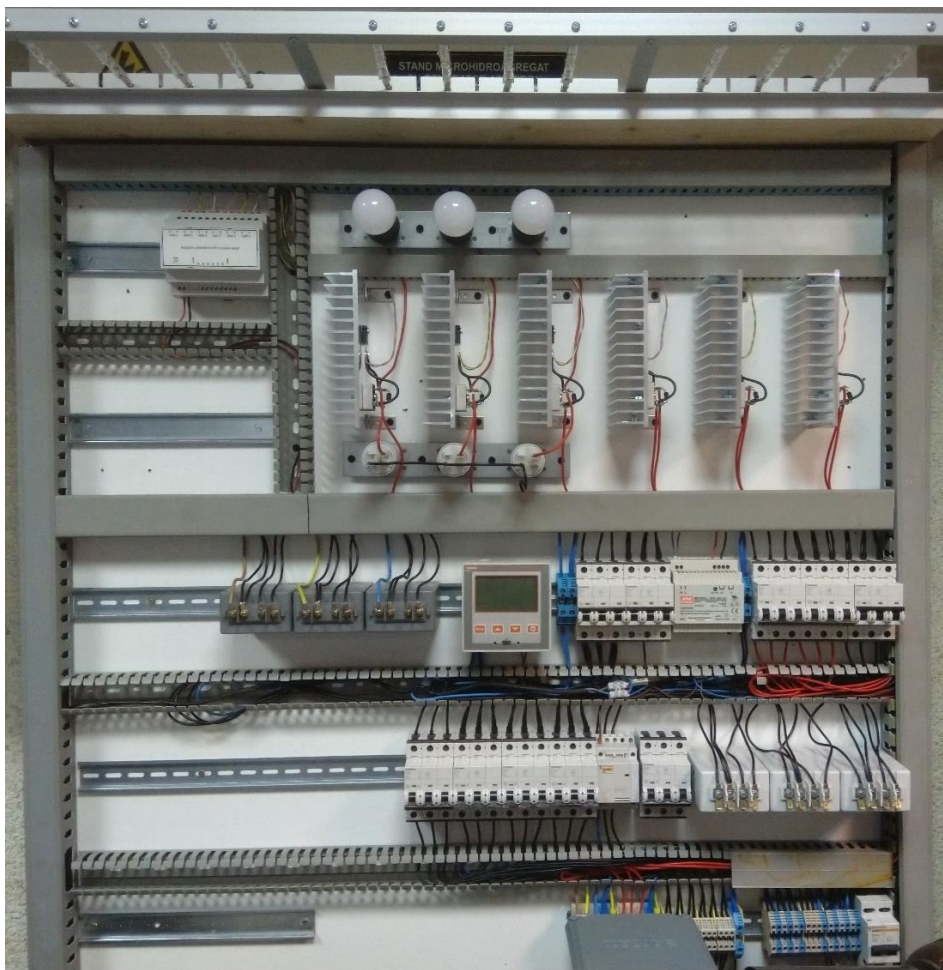
În partea dreaptă sunt butoanele de comandă având funcția, începând cu partea stângă, enable, start, buclă curent, reset, comandă turație scade-0-crește.

Bucula de curent se referă la faptul că redresorul activează un regulator intern în funcție de curentul de ieșire.

În figura 5 se prezintă partea de comandă a generatorului asincron (GA). În partea de sus a tabloului am realizat o construcție din aluminiu asemenea unei scări, împărțită în 3 dreptunghiuri egale, pentru cele 3 faze și în interiorul cărora am montat câte 4 becuri de diferite puteri.

Becurile sunt de tipul celor folosite la reflectoare cu halogen, ce pot avea puteri între 50 - 400 W. Aceste becuri sunt utilizate ca și consumatori utili. Ele sunt introduse sau scoase din circuit cu ajutorul siguranțelor F6 – F15 conform schemei din figura 6, astfel încât să putem simula diferite valori a puterii utile generate.

În tabelul 1 se prezintă rezultatele testării generatorului asincron analizând următorii parametri: turație, frecvență, tensiune de linie, tensiuni pe faze, curenți pe faze și puterea generată, pentru diferite puteri începând de la mersul în gol până la puterea maximă a generatorului [76]. În prima coloană a tabelului am indicat puterea consumatorilor utili.



*Fig. 5. Modelul experimental partea de comanda GA*

În aceeași coloană pentru primele încercări experimentale s-a utilizat o baterie de condensatori trifazată, fixă de  $3 \times 12 \mu\text{F}$ , iar în continuare se indică valoarea bateriei suplimentare care a fost introdusă în circuit pentru a crește autoexcitarea generatorului și implicit tensiunea la borne.

În ultimul rând al tabelului am prezentat și o încercare experimentală fără consumatori dar cu capacitatea maximă a bateriei de condensatori, ceea ce a făcut ca tensiunea să crească peste limitele admise. Această situație ar putea apărea doar dacă regulatorul s-ar defecta.

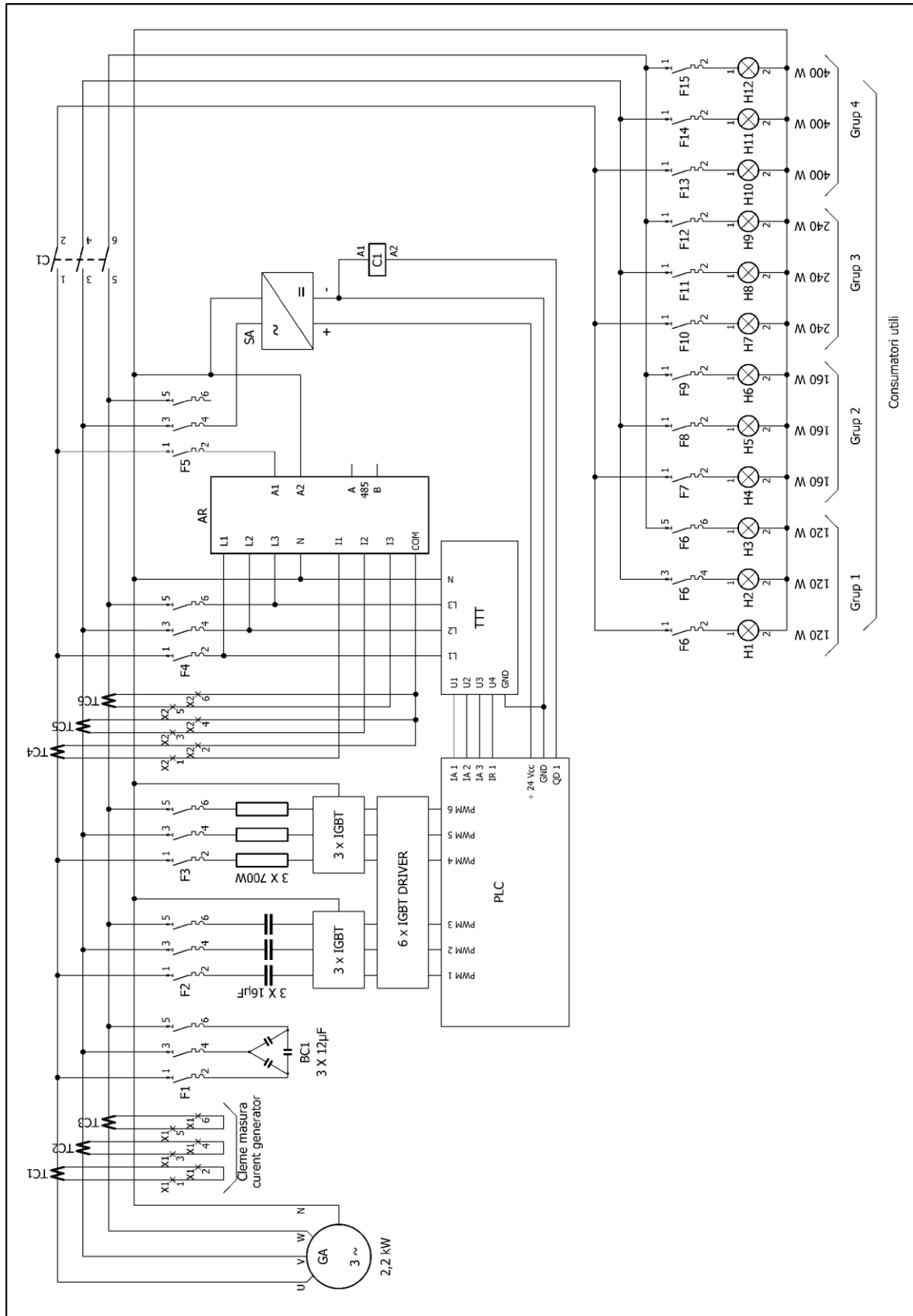


Fig. 6. Schema modelului experimental partea de generator

În urma testării generatorului pe standul experimental rezultă următoarele concluzii:

- Întrucât utilizarea unei turbine hidraulice pentru antrenarea generatorului asincron în cadrul standului experimental prezintă numeroase dezavantaje, turbina hidraulică a fost înlocuită cu un motor de curent continuu cu excitație separată de putere apropiată de cea a turbinei. Acest lucru a fost posibil întrucât ecuațiile de cuplu pentru motorul de curent continuu cu excitație separată sunt similare cu cele ale turbinei axiale;

- pentru acționarea motorului de curent continuu s-a utilizat un convertizor ac/dc având înglobat în el două punți redresoare una complet comandată pentru alimentarea înfășurării statorului și una semicomandată pentru alimentarea înfășurărilor de excitație a motorului de curent continuu.

Tabel 1. Rezultate măsurători parametri electrici la diferite puteri produse

	Turație	Frecvență	U linie	UR	US	UT	IR	IS	IT	P
	[rpm]	[Hz]	[V]	[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[W]
Gol	1506,44	50,13	410,35	236,60	235,87	238,04	0,009	0,020	0,002	3
360	1511,35	50,02	397,58	229,48	228,34	230,79	0,556	0,561	0,548	382
480	1514,60	50,03	392,99	226,78	225,94	227,96	0,739	0,735	0,734	501
720	1519,41	50,00	381,86	220,56	219,64	221,55	1,063	1,067	1,070	706
840	1522,60	50,00	374,57	216,15	215,39	217,17	1,261	1,252	1,250	814
840 + 1 $\mu$ F	1522,68	50,00	396,80	228,96	228,20	230,12	1,298	1,291	1,288	888
720 + 1 $\mu$ F	1519,63	50,00	402,34	232,19	231,26	233,42	1,097	1,100	1,104	767
1080 + 1 $\mu$ F	1528,96	50,02	385,33	222,48	221,50	223,43	1,612	1,617	1,619	1078
1200 + 1 $\mu$ F	1531,18	50,00	378,19	218,26	217,43	219,35	1,765	1,757	1,740	1149
1200 + 2 $\mu$ F	1530,84	50,00	397,95	229,54	228,84	230,90	1,809	1,808	1,790	1242
1560 + 2 $\mu$ F	1540,36	50,00	376,24	217,33	216,02	218,30	2,293	2,289	2,266	1487
1560 + 3 $\mu$ F	1540,14	50,00	396,27	228,66	227,81	229,90	2,362	2,363	2,333	1615
1680 + 3 $\mu$ F	1543,60	50,00	389,05	224,34	223,74	225,76	2,525	2,515	2,504	1694
1680 + 4 $\mu$ F	1543,22	50,00	405,87	234,08	233,37	235,53	2,584	2,578	2,556	1808
1920 + 4 $\mu$ F	1549,42	50,00	393,13	227,06	225,88	227,99	2,881	2,877	2,868	1958
1920 + 5 $\mu$ F	1549,65	50,00	407,79	235,41	234,18	236,72	2,937	2,940	2,924	2072
2040 + 5 $\mu$ F	1553,37	50,00	400,88	231,35	230,36	232,63	3,126	3,123	3,096	2163
Gol + 5 $\mu$ F	1504,16	50,00	460,81	264,41	264,72	269,03	-	-	-	-

În acest fel există posibilitatea simulării tuturor regimurilor de funcționare caracteristice turbinelor hidraulice, cu monitorizarea online parametrilor electrici și mecanici, ce caracterizează funcționarea motorului de curent continuu, respectiv funcționarea unei turbine atât în regim de mers în gol cât și în regim de sarcină variabilă la diferite valori a turației.

Întrucât turbinele hidraulice din centrala Ochiul Bei nu au sistem propriu de reglaj al debitului de apă turbinat existând astfel pericolul unei supraturări periculoase a ansamblului turbina-generator, standul permite simularea acestui regim, cu monitorizarea online a turației motorului și oprirea de avarie în cazul în care turația depășește anumită valoare impusă. Oprirea de avarie are loc și în condițiile în care parametrii electrici depășesc valorile maxime sau minime impuse.

O performanță deosebită a schemei propuse este faptul că reglajul tensiunii la bornele generatorului asincron se realizează prin intermediul unei baterii de condensatori având capacitatea variabilă continuu a cărei scheme este prezentată capitolul 5.

Prin schema de comandă și reglaj propusă în prezentul capitol se creează posibilitatea unui reglaj automat al frecvenței tensiunii la bornele generatorului, printr-o variație continuă a curenților din consumatorul balast trifazat.

Avantajul principal al acestui sistem este faptul că reglajul de curent se face separat pe fiecare fază, eliminându-se astfel posibilitatea apariției unor dezechilibre pe faze în sistemul trifazat de alimentare a consumatorilor.

Pentru a elimina intervenția personalului din Păstrăvărie, în procesul de alimentare cu tensiune a consumatorilor, schema realizată în acest capitol asigură conectarea automată a contactorului C1 prin care se realizează alimentarea cu energie electrică a Păstrăvării și a cabanelor.

În concluzie rezultă că echipamentele de reglaj a tensiunii și de reglaj turație din schema modelului experimental vor fi utilizate și în schema instalației de alimentare cu energie electrică din Păstrăvăria Ochiul Bei.

Avantajul principal îl constituie faptul că aceste echipamente au fost testate pe standul experimental.

### CAPITOLUL 3 - MODELAREA GENERATORULUI ASINCRON

Pentru modelarea generatorului asincron cu rotor în scurtcircuit se utilizează o componentă din librăria programului Matlab - Simulink figura 7 [34], [36].

Această componentă constituie un model de mașină asincronă, care poate fi utilizat fie în regim de motor fie în regim de generator, comutarea realizându-se prin schimbarea semnului variabilei de intrare  $T_m$  [90] [93]. Această variabilă  $T_m$  reprezintă cuplul mecanic.

Modelul matematic al mașinii asincrone este constituit din câteva blocuri funcționale distincte conform figurii 8 și anume: blocul de putere, modelul electric al mașinii, modelul mecanic al mașinii, blocul de măsură a mărimilor ce caracterizează acest model.

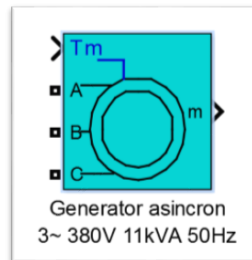


Fig.7. Model mașină asincronă – Simulink [34], [36]

Modelul electric al mașinii asincrone este realizat din câteva blocuri funcționale (figura 9) care utilizează modelul de transformare al sistemului trifazat către un sistem de două axe d, q utilizând transformatele lui Park și Clarke [36], [37].

Schema modelului mecanic al mașinii asincrone este arătată în figura 10.

În figura 11 sunt prezentate mărimile mecanice și electrice care trebuie preluate și utilizate în simulare.

Trebuie precizat faptul că majoritatea mărimilor sunt exprimate în unități relative, în sistemul „per unit” (pu). Acest sistem este utilizat pe scară largă în industria sistemelor de putere pentru a exprima valorile tensiunilor, curenților, puterilor și impedanțelor diferitelor echipamente energetice. Se utilizează în principal pentru transformatoare și mașini de curent alternativ. Pentru o anumită mărime (tensiune, curent, putere, impedanță, cuplu etc.), valoarea relativă este valoarea raportată la o mărime de bază [35], [36], [37], [38].

Valoarea în p.u. = valoarea exprimată în unități SI / valoarea de bază [39].

Mărimile specifice mașinii pe care o vom modela sunt introduse în program în fereastra parametrilor. Acești parametri sunt: puterea nominală, tensiunea de linie, frecvența, rezistența statorului, inductanța de pierderi, rezistența rotorului, inductanța de pierderi a rotorului raportat la stator, inductanța de magnetizare (mutuală), coeficient de inerție mecanică, coeficientul de frecare, numărul de perechi de poli.

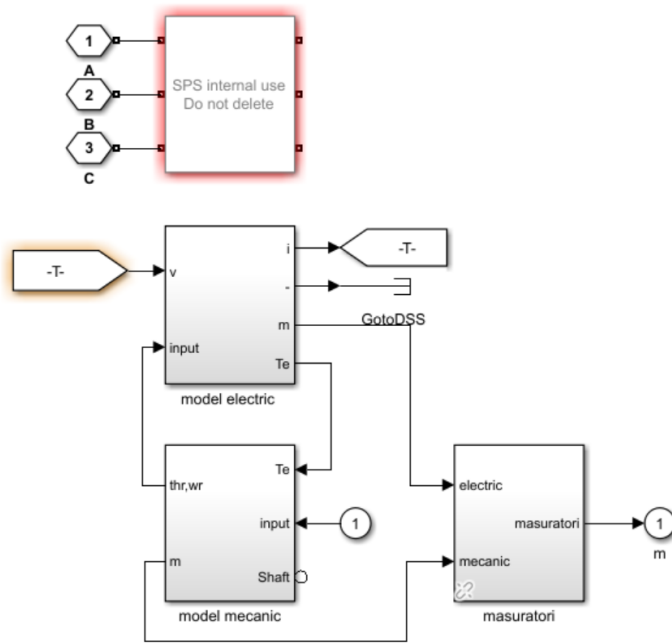


Fig. 8. Schema bloc a modelului mașinii asincrone [33], [36]

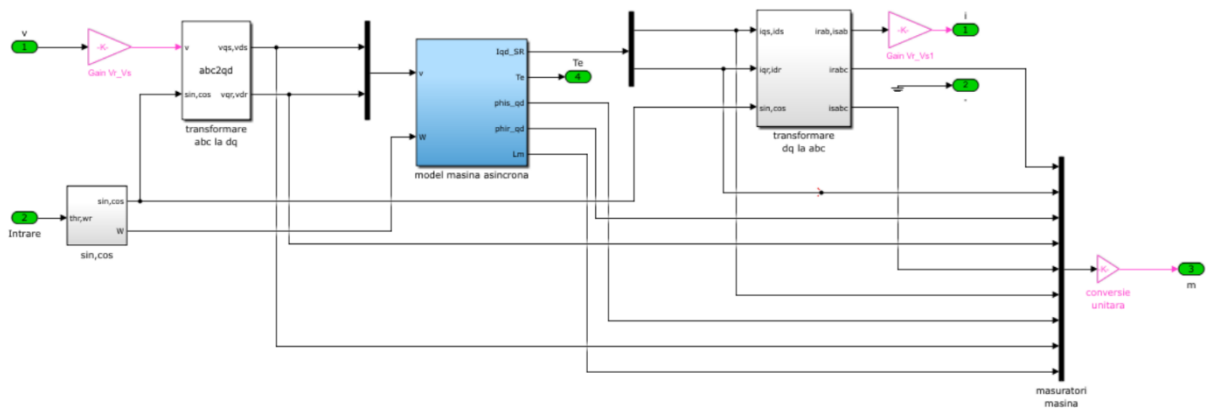


Fig. 9. Schema modelului electric al mașinii asincrone [32], [33]

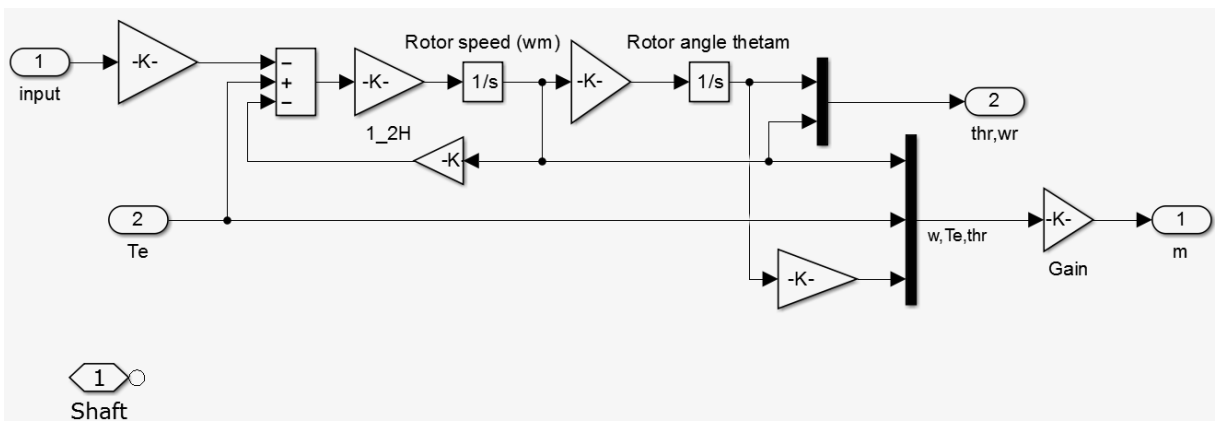


Fig. 10. Schema modelului mecanic al mașinii asincrone [32], [33]

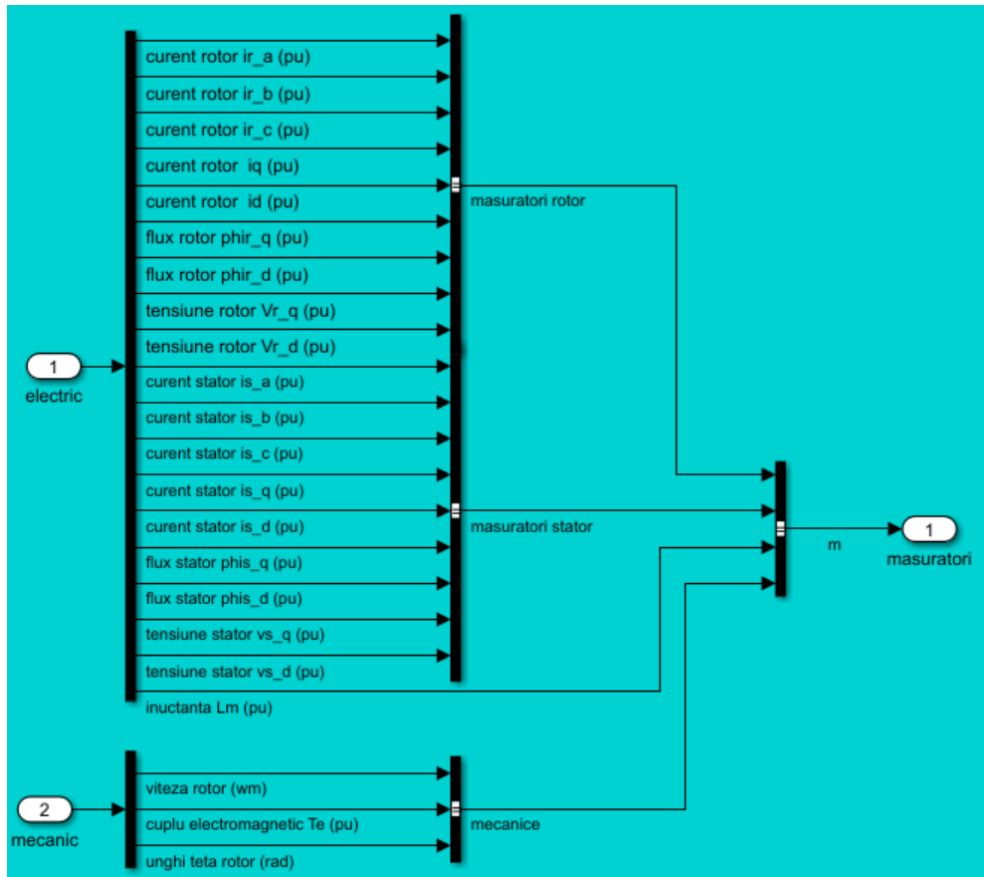


Fig. 11. Parametrii accesibili ai modelului ales [32], [34]

În figura 12 este arătat modelul utilizat pentru simulare.

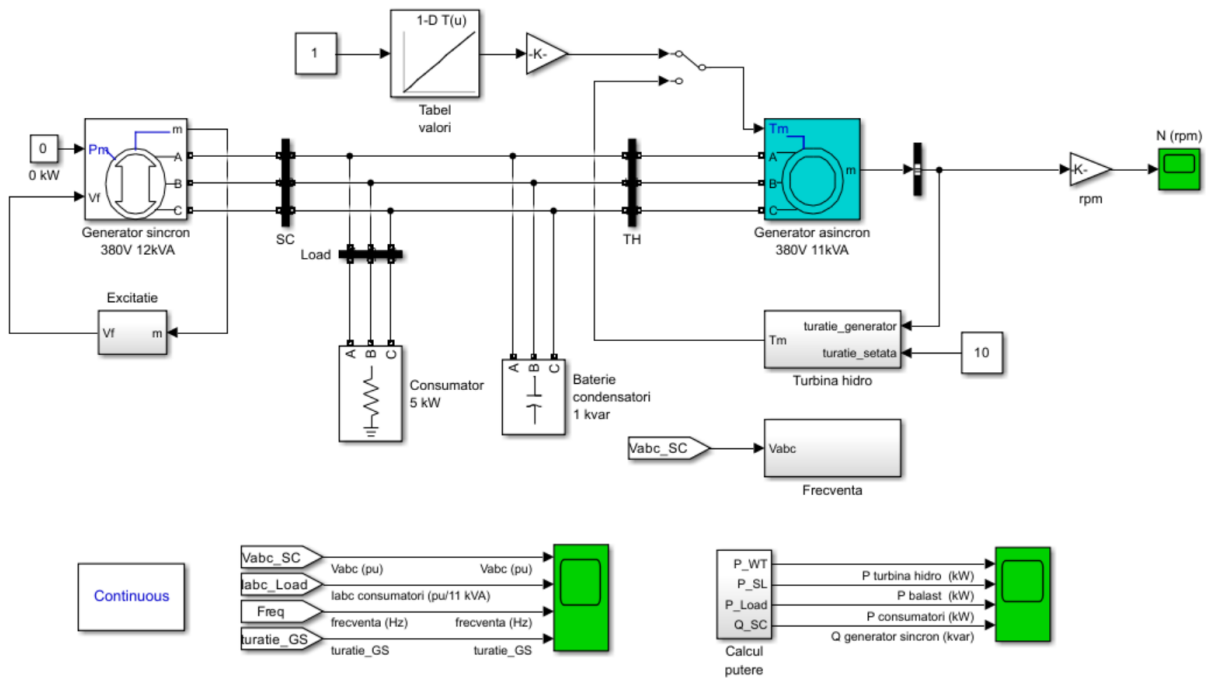


Fig. 12. Modelul propus pentru simulare



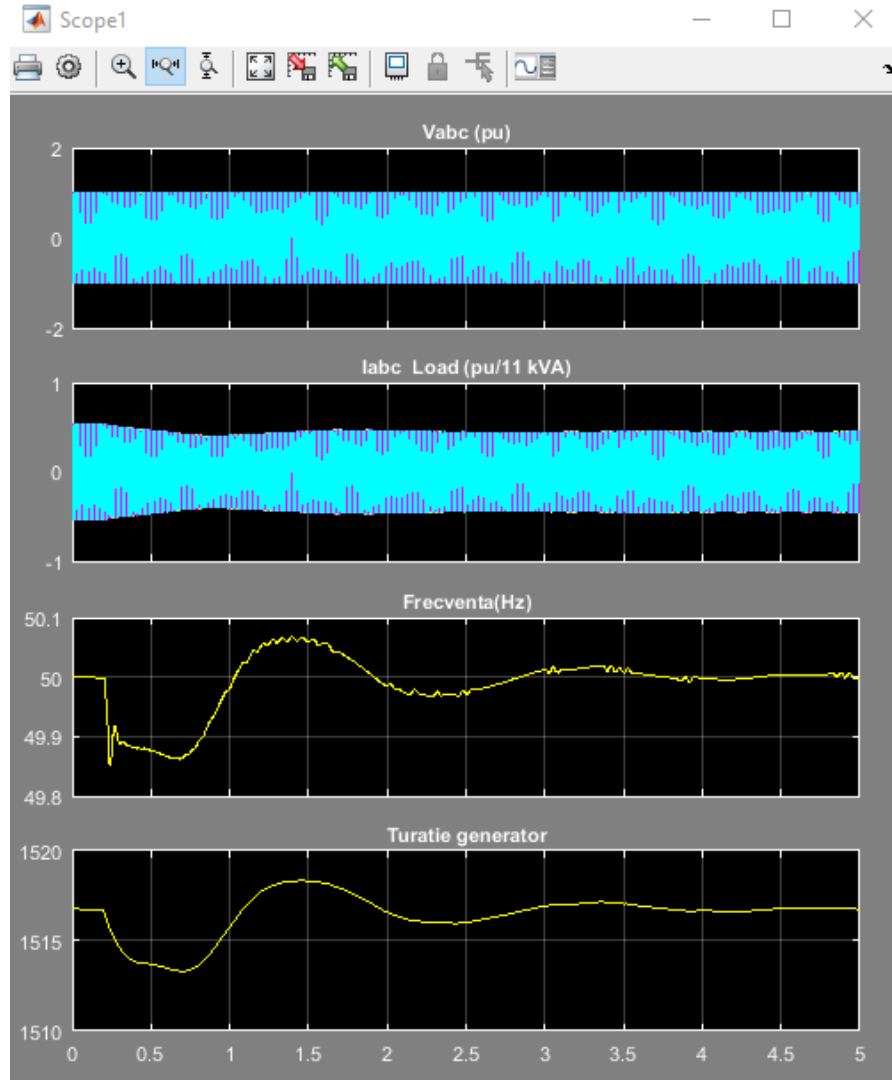


Fig. 13. Grafic tensiune de linie, curent sarcină, frecvență și turație

În urma simulării au fost trasate niște caracteristici care sunt prezentate în figurile 13 și 14. Conform curbelor din figura 14 se constată că atunci când sarcina activă variază se modifică și puterea reactivă produsă de generatorul sincron conform celor prezentate în subcapitolul precedent [42], [43], [44].

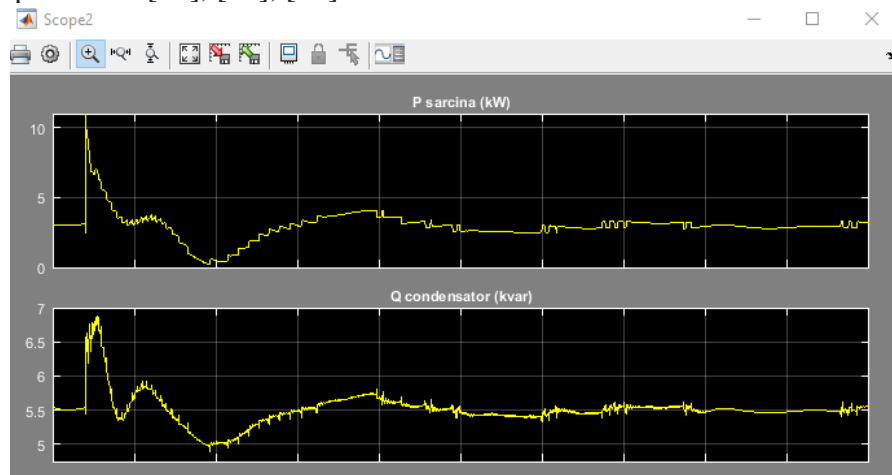


Fig. 14. Grafic putere sarcină și putere reactivă produsă

Prin această simulare am încercat să creez un șoc de putere modificând brusc puterea consumatorilor utili în sensul creșterii și apoi scăderii acesteia. Prin simulare am dorit să testez timpul de răspuns al sistemului de automatizare dezvoltat la aceste șocuri.

Pe baza graficelor din figurile 13 – 14 se observă că regulatorul se comportă bine reușind să readucă tensiunea și frecvența la valorile optime.

Modelarea matematică are la bază ecuațiile de tensiuni, curenți și fluxuri magnetice, care descriu funcționarea generatorului asincron în diferite regimuri de funcționare.

Pentru stabilirea modelului matematic al generatorului sincron se impune determinarea experimentală a impedanțelor ce definesc schema echivalentă a acestuia: impedanța statorului, impedanța rotorului redusă la stator cât și impedanța de magnetizare.

În acest capitol au fost determinate aceste impedanțe pentru mașina asincronă utilizată să funcționeze ca generator asincron în modelul experimental prevăzut în capitolul 2.

Încercările efectuate pe modelul experimental de generator asincron au pus în evidență următoarele:

- Pentru un generator asincron, care urmează să funcționeze în regim izolat, există o turație minimă la care este posibilă funcționarea stabilă a acestuia în condiții de mers în gol la tensiunea nominală.

- Turația maximă a unui generator asincron funcționând de regim izolat, este limitată de valoarea maximă admisă pentru tensiunea la bornele generatorului.

- Stabilitatea funcționării unui generator asincron autoexcitat în regim izolat, în anumite limite de turație și tensiune este condiționată de valoarea capacității bateriei de condensatoare conectată la bornele generatorului, impunându-se ca aceasta să se încadreze în anumite limite.

Aceste valori au fost determinate pentru modelul experimental și au fost implementate în microcentrala Ociul Bei.

## CAPITOLUL 4 - SCHEMA ELECTRICĂ DE FORȚĂ ȘI COMANDĂ A MICROHIDROCENTRALEI

### Tabloul central de alimentare

Tabloul central de alimentare asigură racordul generatoarelor asincrone la circuitul de utilizare a consumatorilor din Păstrăvărie și Ocolul Silvic. În figura 15 este prezentat tabloul de alimentare, iar în figura 16 schema tabloului.

Generatoarele asincrone G1 și G2 sunt racordate la tabloul de alimentare TA prin intermediul întrerupătoarelor automate, care la rândul lor sunt conectate la cele două intrări ale comutatorului trifazat S1.

Alimentarea consumatorilor se face prin intermediul întrerupătorului și a contactorului C1. Contactele contactorului C1 pot fi scurtcircuitate prin intermediul întrerupătorului F3, care este prevăzut cu protecție la suprasarcină sau scurtcircuit la borne.

Întrerupătorul F3 permite conectarea manuală a consumatorilor în condițiile în care contactorul C1 este deconectat.

Întrerupătorul F4 permite separarea vizibilă a circuitului de utilizare a consumatorilor, în condițiile în care se execută lucrări de revizie centrală sau la consumatori.

Conectarea bateriilor de condensatoare în circuitul generatoarelor are loc prin intermediul întrerupătoarelor FB1, FB2 [78].

Conectarea contactorului C1 are loc automat în momentul când tensiunea în circuitul de alimentare, la ieșirea din comutator atinge parametrii nominali de tensiune și frecvență.

Conectarea contactorului poate avea loc prin releul RT1 care monitorizează valoarea tensiunilor de fază și de linie și dă comanda de închidere a contactorului în momentul când valoarea tensiunii se încadrează în limitele  $(0,9 - 1,1)U_n$ .

Comanda de conectare a contactorului C1 poate fi dată și prin intermediul automatului programabil montat în dulapul de comandă și reglaj TCR.



Fig. 15. Tablou alimentare microhidrocentrală

Pentru protecția la supratensiune a generatoarelor asincrone și a consumatorilor se introduce în circuit un releu de monitorizare a tensiunii RT2 de același tip cu releul RT1. Releul monitorizează tensiunile de linie și de fază, iar în momentul când o tensiune va depăși o valoare maximă prescrisă releul va comanda închiderea contactorului C2 care va conecta autotransformatorul ATR ce alimentează o rezistență trifazată  $R_p$ , realizându-se astfel o încărcare suplimentară a generatorului ce va determina limitarea tensiunii la borne sub valoarea maximă prescrisă.

Pentru monitorizarea curentului de linie în circuitul de alimentare a consumatorilor s-au introdus transformatoarele de măsură curent TC, având curentul nominal în primar 25 A și în secundar 5 A, (raport de transformare 5).

Curenții secundari ai transformatoarelor de măsură sunt racordați la circuitul de curent al analizorului de rețea AR montat în dulapul de comandă și reglaj TCR.

Circuitul de tensiune al analizorului AR este conectat direct la tensiunea de alimentare prin intermediul siguranței trifazate FU din tabloul de alimentare. În acest fel pe displayul analizorului se pot afișa toți parametri electrici din circuitul de alimentare: curenți și tensiuni de fază respectiv linie, puterea activă și reactivă, energia totală activă și reactivă.

În figura 15 stânga este prezentat o vedere a interiorului tabloului central de alimentare.

Pe panoul frontal al dulapului de alimentare s-au montat trei voltmetre și un frecvențmetru prin care se pot vizualiza tensiunile pe cele trei faze și frecvența tensiunii de alimentare figura 15 dreapta.

La tabloul central de alimentare se conectează și circuitul de iluminat respectiv circuitul de prize din centrală, prin intermediul întrerupătorului F7.

În figura 16 se prezintă schema tabloului central de alimentare TCA.

Releele de tensiune trifazate RT1, RT2 sunt de tip RNP-311M [51] [52] [53].

Acest releu monitorizează următorii parametri ai rețelei: tensiune minimă, tensiune maximă, succesiunea corectă a fazelor, asimetrie faze.

### **Tabloul de comandă și reglaj a tensiunii de alimentare**

Tabloul de comandă și reglaj (figura 17) asigură reglajul automat de putere, cu menținerea încărcării în sarcină nominală a generatorului prin intermediul regulatorului de putere RP.

- reglajul automat de tensiune și frecvență a generatorului asincron prin intermediul regulatorului de tensiune RU

- comanda conectării respectiv a deconectării consumatorilor de la tensiunea de alimentare furnizate de generatorul asincron prin intermediul automatului programabil AP.

- monitorizarea parametrilor electrici din circuitul de utilizare prin intermediul analizorului de rețea AR.

În figura 19 este prezentată schema tabloului regulatorului de tensiune, iar în figura 18, în partea stângă se vede ușa dulapului și în partea dreaptă contrapanoul cu părțile componente.

Pentru realizarea regulatorului de tensiune s-au utilizat următoarele componente: sursă de alimentare 24V curent continuu SA, acumulatori 12V, analizor de rețea AR, modul traductor tensiuni (M7), automat programabil (PLC), module comandă grilă IGBT (M1...M6), grupuri IGBT + punte redresoare + circuit RC (Q1...Q6).

Schema de alimentare cu energie electrică, realizată în cadrul prezentei teze de doctorat elimină toate neajunsurile semnalate cu ocazia expertizelor tehnice efectuate, care au fost prezentate în capitolul 2.

În concluzie menționez câteva din problemele rezolvate:

- condensatoarele utilizate anterior pentru autoexcitarea generatoarelor asincrone, nu au fost performante având o durată de viață foarte mică, generând astfel defecte repetate cu scoaterea din funcțiune a generatoarelor. În cadrul tezei s-a realizat o baterie nouă având în componență condensatoare trifazate performante cu durată de viață mult mai mare.

- Tabloul de alimentare realizat asigură racordul permanent al generatoarelor asincrone din centrală iar selectarea microhidroagregatului ce urmează fi utilizat, se face prin intermediul unui comutator montat pe panoul frontal al tabloului de alimentare.

- Schema electrică realizată asigură prin intermediul unui analizor de rețea specializat, monitorizarea online a parametrilor electrici din circuitul de alimentare a consumatorilor: tensiunile pe fază și de linie, curentul pe fiecare fază, puterea activă pe fiecare fază și totală, puterea reactivă pe fiecare fază și totală, factorul de putere pe fază, frecvența tensiunii la bornele generatorului.

Schema de comandă și reglaj concepută permite cuplarea automată a contactorului din circuitul de alimentare a consumatorilor, în momentul când frecvența și tensiunea la bornele generatorului ating valorile nominale.

- Tabloul de alimentare realizat asigură racordul permanent al generatoarelor asincrone din centrală iar selectarea microhidroagregatului ce urmează fi utilizat, se face prin intermediul unui comutator montat pe panoul frontal al tabloului de alimentare.

- Schema electrică realizată asigură prin intermediul unui analizor de rețea specializat, monitorizarea online a parametrilor electrici din circuitul de alimentare a consumatorilor: tensiunile pe fază și de linie, curentul pe fiecare fază, puterea activă pe fiecare fază și totală, puterea reactivă pe fiecare fază și totală, factorul de putere pe fază, frecvența tensiunii la bornele generatorului.

Schema de comandă și reglaj concepută permite cuplarea automată a contactorului din circuitul de alimentare a consumatorilor, în momentul când frecvența și tensiunea la bornele generatorului ating valorile nominale.

Vechea schemă impunea prezența a două persoane pentru alimentarea consumatorilor: una să facă racordul manual al generatorului și să pornească apoi turbina iar a doua persoană să conecteze manual întrerupătorul din tabloul electric de alimentare a consumatorilor aflat la intrarea în Păstrăvărie.

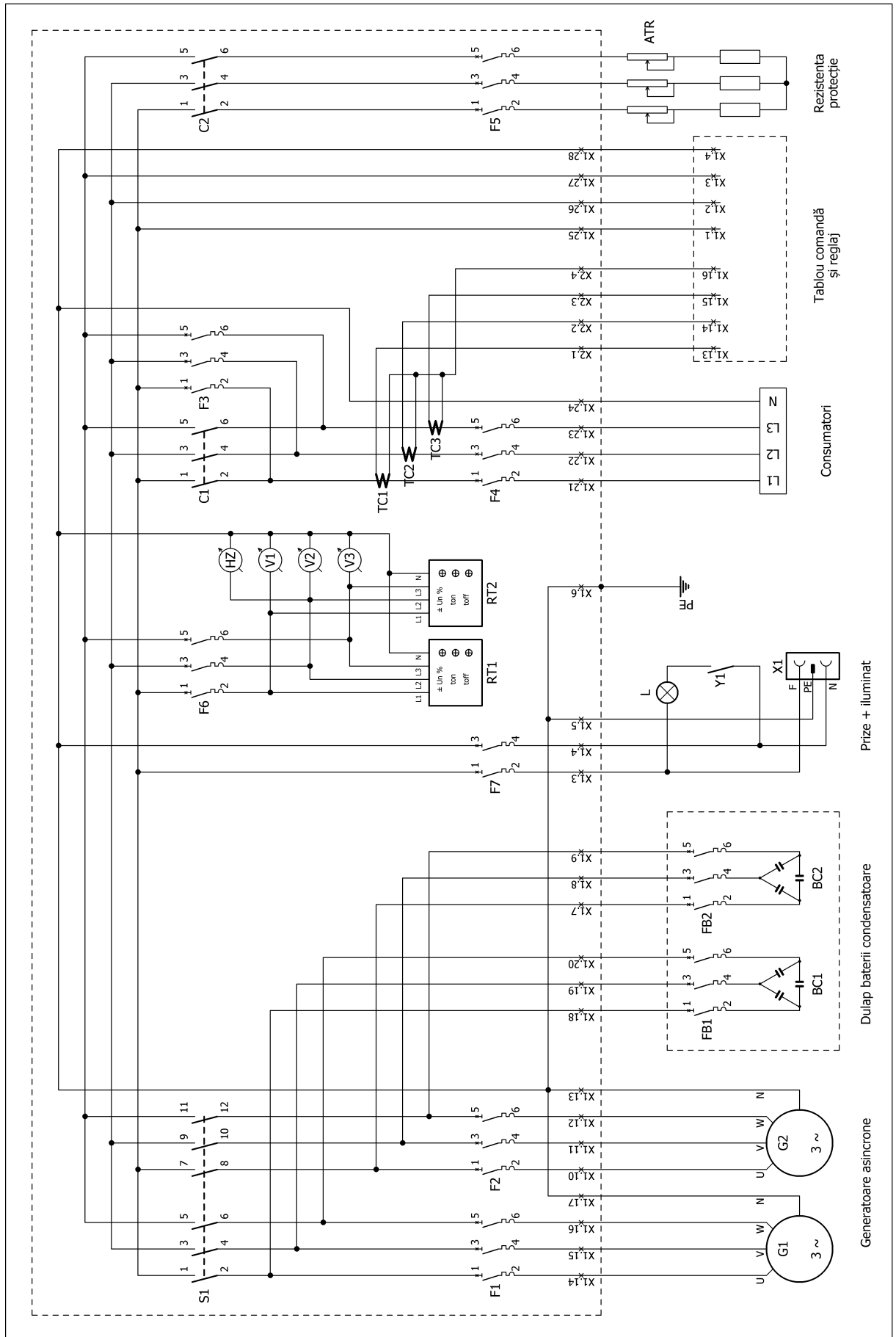


Fig. 16. Schema tablou central de alimentare

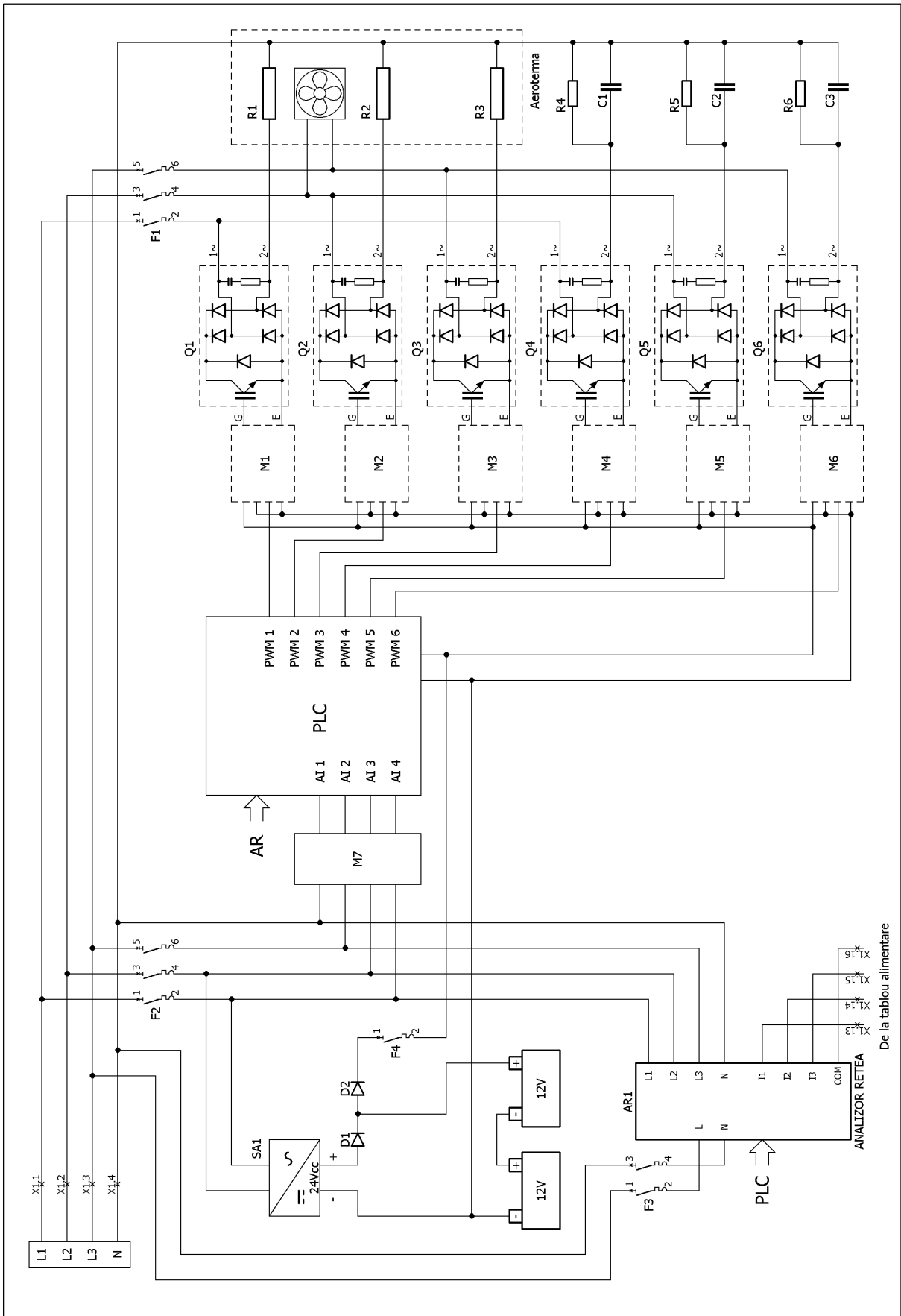


Fig. 17. Schema tablou regulator



Fig. 18. Tablou comandă și reglaj al tensiunii

- Schema de reglaj de tensiune permite menținerea echilibrului de tensiuni pe faze, în condițiile unor încărcări nesimetrice provocate de consumatorii casnici monofazați. Echilibrarea de tensiune pe faze se realizează în funcție de curenții de pe fiecare fază, prin conectarea sau deconectarea consumatorilor balast monofazați, la bornele generatorului. În instalația veche reglajul de tensiune s-a realizat în funcție de valoarea medie a curenților pe cele trei faze prin conectarea sau deconectare unor trepte de rezistență balast trifazate neexistând posibilitatea echilibrării tensiunii de fază.

- Întrucât rezerva de apă din baraj, nu permite funcționarea în paralel acelor două generatoare, schema de automatizare realizată permite utilizarea unui singur generator pentru alimentarea consumatorilor, celălalt generator fiind în rezervă caldă.

## CAPITOLUL 5 - REGLAJUL AUTOMAT DE TENSIUNE ȘI FRECVENȚĂ

### Prezentare automat programabil

În anul 2014 am realizat un mic automat programabil ca temă de disertație la finalizarea studiilor de master. Am considerat că acest automat va reuși să îndeplinească funcția de regulator de tensiune.

Automatul programabil (figura 19) are următoarele caracteristici:

- tensiunea de alimentare 24V curent continuu;
- 8 intrări digitale cu logică pozitivă sau negativă;
- 8 intrări analogice de tensiune 0-30V care pot fi folosite și ca intrări digitale cu logică pozitivă;
- o intrare cu numărare rapidă;
- 8 ieșiri digitale cu tranzistor, logică pozitivă;
- 8 ieșiri cu releu;
- 8 ieșiri PWM;
- o rețea serială de comunicație de tip RS485;
- este realizat într-o carcasă cu montare pe șină DIN 35mm;
- fiecare intrare și ieșire digitală este prevăzută cu led pentru indicarea stării;
- are trei leduri bicolore care indică starea sursei (ok - verde sau defect - roșu), starea modului (ok sau defect), starea de funcționare (în funcție - verde , în stop - roșu sau în funcție cu ieșirile dezactivate portocaliu)

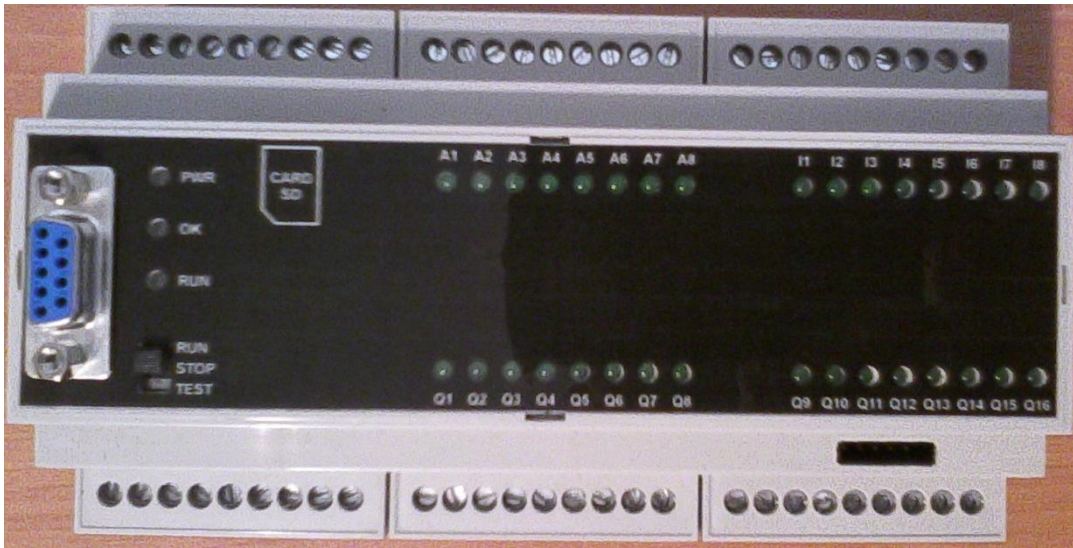


Fig. 19 Automat programabil

### Sursă alimentare

Ca sursă de alimentare pentru automat se folosește o sursă realizată în jurul circuitului integrat MC34063. Acest circuit este un convertor de tensiune DC / DC [75].

Sursa automatului este realizată după schema din figura 20, configurație ce furnizează la ieșire o tensiune de 5V care apoi este stabilizată cu un regulator 5V / 3,3V.

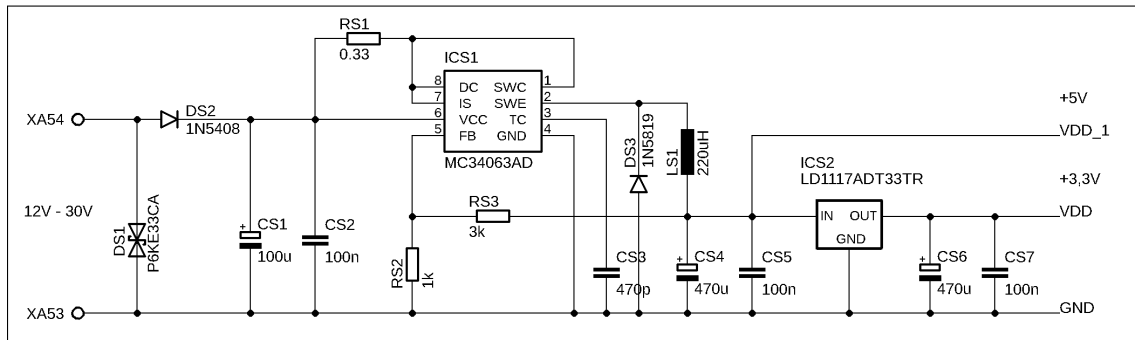


Fig. 20 Sursă alimentare

### Intrări digitale

Pentru intrările digitale am folosit o schemă cu izolare optică, în care semnalul de intrare este complet izolat fata de semnalul care ajunge la microcontroler cu ajutorul unui optocuplor (figura 21). Optocuplorul ales are intrarea în curent alternativ ceea ce face ca semnalul de intrare sa poată fi folosit indiferent de polaritate. Izolarea intrării față de ieșire se realizează până la o tensiune de 5kV pentru optocuplorul ales.

Stările intrărilor digitale sunt afișate prin leduri, dispuse pe fața automatului și notate cu I1 - I8.

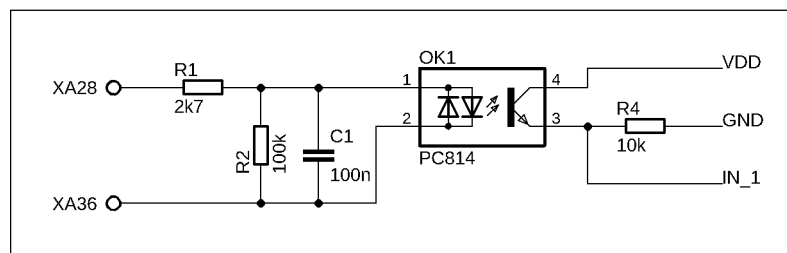


Fig. 21 Intrare digitală



### Intrări analogice

Schema aleasă pentru intrările analogice este realizată cu un divizor de tensiune. Diodele sunt folosite ca protecție împotriva supratensiunilor care ar putea apărea la intrarea analogică a microcontrolerului (figura 22).

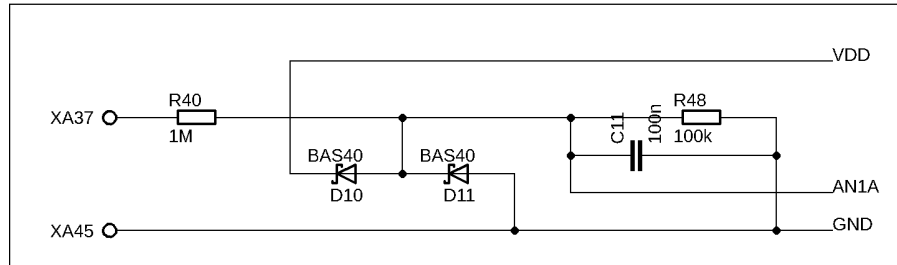


Fig. 22 Intrare analogică

Intrarea analogică poate măsura o tensiune cuprinsă între 0 și 30,8V cu o precizie de 15,04mV ( $\pm 7,52\text{mV}$ ). În figura 23 se prezintă valoarea binară de la ieșirea convertorului analog-digital în funcție de tensiunea de intrare [66].

Fiecare intrare analogica poate fi transformată foarte simplu într-o intrare digitală. Ca prag de tensiune pentru intrare digitală am ales valoarea de 9V pentru a putea folosi intrarea la 12V și 24V.

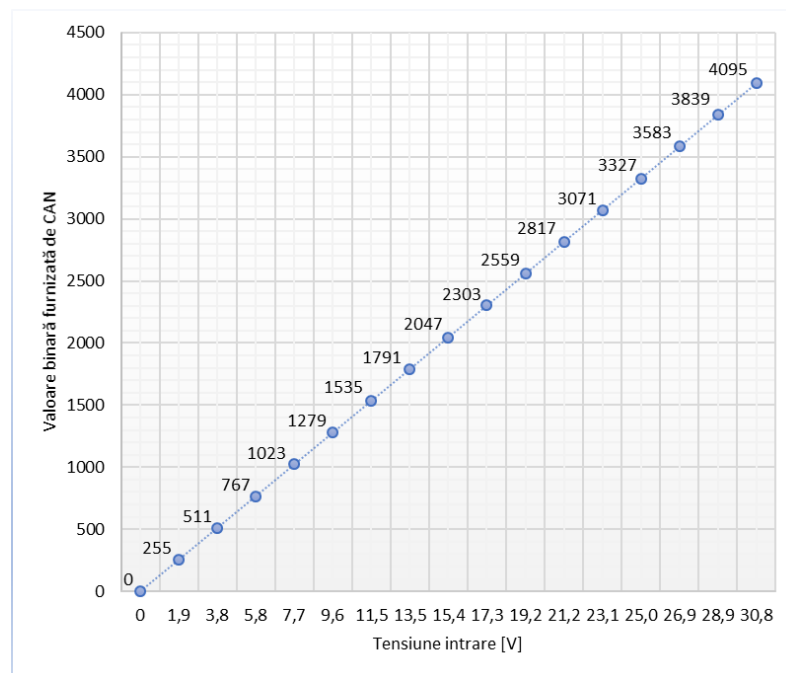


Fig. 23 Caracteristica tensiune intrare-valoare ieșire CAN

### Ieșiri digitale cu tranzistor

Ieșirile digitale cu tranzistoare sunt realizate folosind circuitul integrat UDN2982 figura 24.

Circuitul conține 8 ieșiri cu tranzistori, care pot comanda relee, bobine, motoare, servomotoare sau lămpi. Toate ieșirile sunt protejate cu diode pentru a putea fi folosite în circuite inductive. Stările ieșirilor sunt afișate prin leduri, dispuse pe fața automatului și notate cu Q1 - Q8.

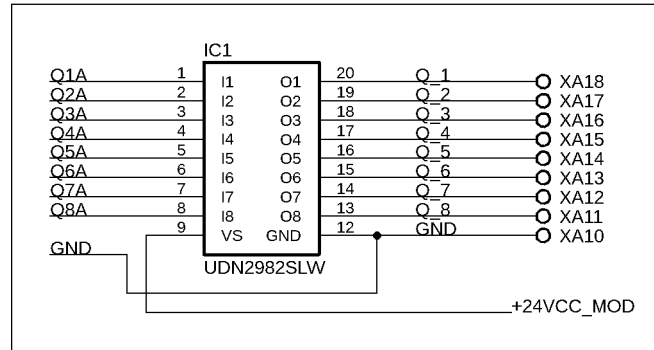


Fig. 24 Ieșiri tranzistori

### Ieșiri cu contact releu

Ieșirile cu contact releu sunt folosite pentru comanda circuitelor care sunt alimentate la tensiuni mari și care au nevoie de izolare față de componentele montajului. Releele sunt de tip miniatură, cu bobina alimentată la 24V curent continuu, contactul lor rezistă până la o tensiune de 250Vca și un curent de 3A.

Fiecare releu are câte un contact normal deschis.

Circuitul de comandă al releelor este realizat cu circuitul integrat ULN2803, acesta poate comanda 8 relee având la ieșire tranzistori (figura 25).

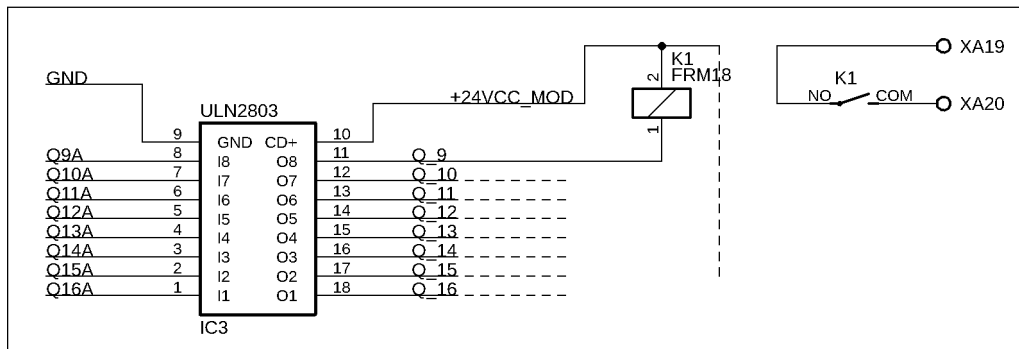


Fig. 25 Ieșiri releu

Stările ieșirilor sunt afișate prin leduri, dispuse pe fața automatului și notate cu Q9 - Q16.

### Ieșiri PWM

Comanda PWM - pulse-width modulation - reprezintă modulația în durată a impulsurilor.

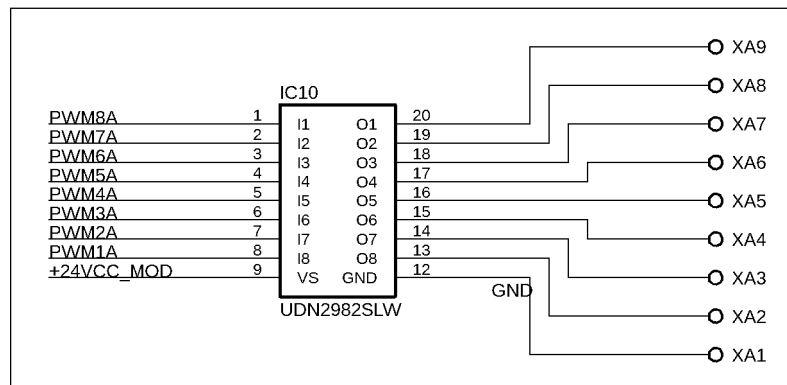


Fig. 26 Ieșiri PWM

Automatul are 8 ieșiri pwm așa cum se vede din figura 26. Ieșirile sunt de tip cu colector în gol și devin pozitive atunci când sunt activate de ieșirile microcontrolerului. Toate ieșirile sunt protejate cu diode pentru a putea fi folosite în circuite inductive.

Curentul de ieșire pe fiecare canal este maxim 60 mA pe canal pentru a nu depăși curentul total.

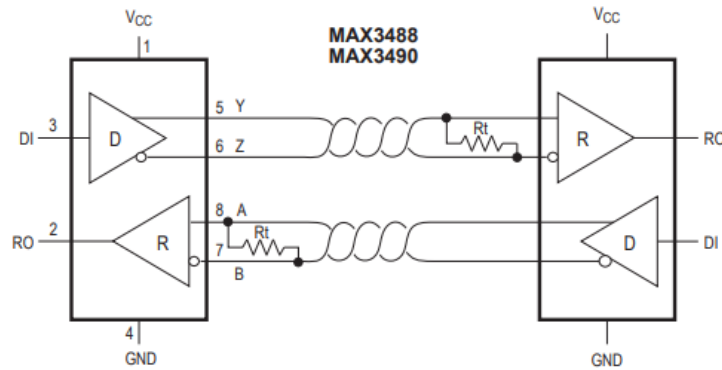


Fig. 27 Rețea de comunicație 485 [67]

#### Rețea serială de comunicație de tip RS485

Rețeaua de comunicație serială de tip RS485 (figura 27) este împărțită în două - o parte face legătura între server și automat, a doua este cuplată cu analizorul de rețea, din care automatul citește valorile măsurate de acestea [73].

#### Card de memorie

Automatul programabil are în componență și un card de memorie care poate fi utilizat pentru înregistrarea de date. Spre exemplu se pot înregistra parametri electrici la un anumit interval de timp, pentru a-i utiliza ulterior la construirea unui grafic pe o perioadă de timp. În figura 28 este prezentată partea din schemă care conține cardul de memorie.

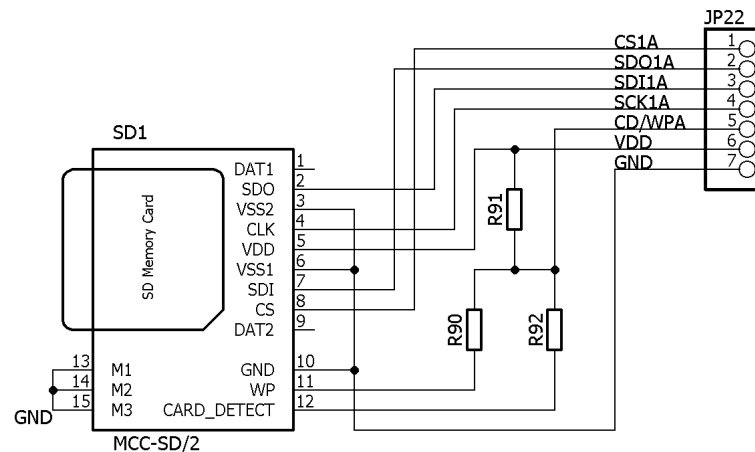


Fig. 28 Card de memorie

#### Intrare de viteză

Automatul mai are o intrare separată cu viteză mare de procesare care se utilizează de obicei pentru măsurarea turației sau a frecvenței. Schema acestei intrări este dată în figura 29.

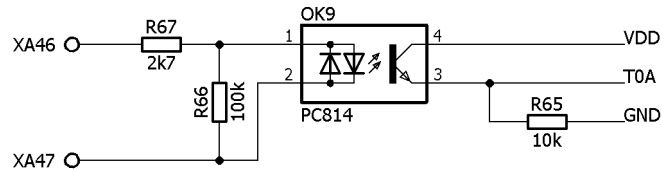


Fig. 29. Intrare de viteză

### Regulator frecvență generator

Regulatorul de frecvență a fost construit într-o cutie cu prindere pe panou pentru a-l monta pe ușa tabloului regulator.

Am ales să realizez regulatorul de frecvență separat de regulatorul de tensiune, pentru a nu suprasolicita microcontrolerul din regulator (PLC).

În figura 30 este prezentată schema bloc a regulatorului de frecvență.

Am construit regulatorul folosind:

- un transformator (TR) care coboară tensiunea de la bornele generatorului la valoarea necesară intrării convertorului de frecvență (CDF);
- un bloc regulator tensiune (RT);

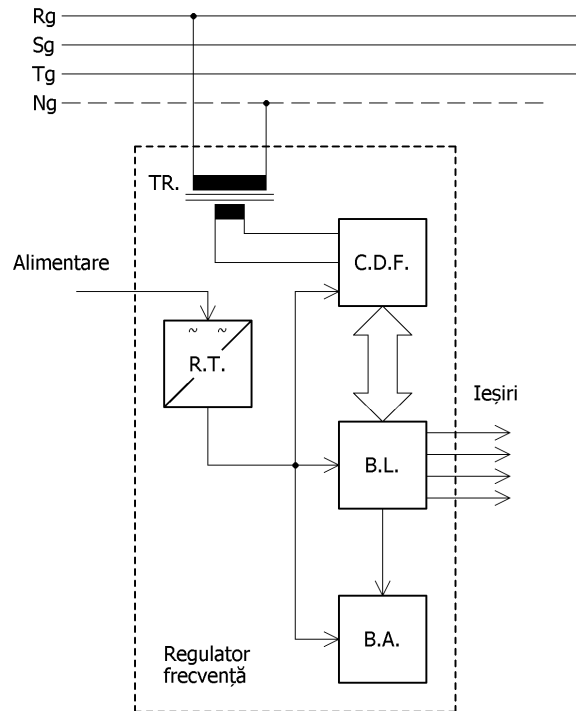


Fig. 30 Schema bloc regulator frecvență

- un bloc convertor digital de frecvență (CDF) care preia informația de frecvență de pe o înfășurare a transformatorului;

- un bloc logic (BL) care preia digital rezultatul conversiei, îl prelucrează și trimite comenzi către ieșiri;

- un bloc de afișare (BA), care afișează valoarea frecvenței prin aprinderea câte unui led în dreptul frecvenței înscrise pe panou și un afișor LCD 2x16 caractere (figura 31).

Atunci când generatorul asincron începe să producă tensiune la borne, aceasta este preluată de transformator și trimisă convertorului digital de frecvență, care măsoară frecvența și transmite informația către blocul logic. Blocul logic trimite informația în formă digitală

blocului de afișare, construit din 23 led-uri colorate din care se va aprinde cel corespunzător frecvenței marcată pe panou.

Tot în blocul logic sunt setate limitele în care frecvența este considerată acceptată (49-51Hz) precum și pragurile pentru care frecvența trebuie corectată [74].

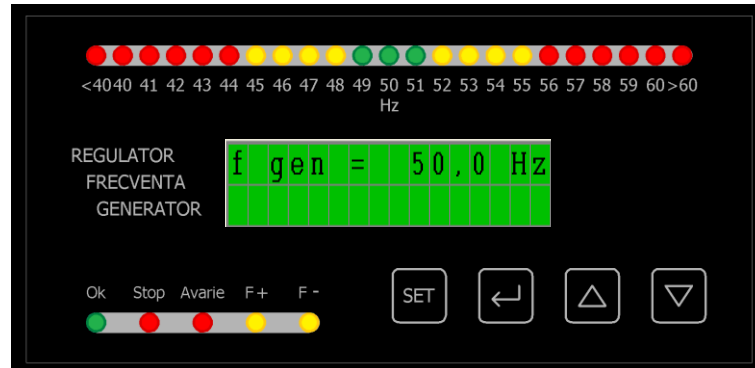


Fig. 31 Panou frontal regulator

Regulatorul de frecvență va trimite impulsuri cu durată constantă la una din cele două ieșiri f- dacă frecvența trebuie să scadă sau f+ dacă frecvența trebuie să crească. După trimiterea impulsului se așteaptă reacția generatorului un timp după care se trimite următorul impuls și ciclul se repetă până frecvența ajunge la o valoare apropiată de 50 Hz. Cu cât frecvența generatorului este mai departe de valoarea stabilită timpul de pauză dintre două impulsuri este mai mic pentru ca sistemul să aducă frecvența mai rapid spre echilibru.

#### Concluzii

- Reglajul de tensiune și frecvență se realizează prin două sisteme de reglaj, unul, separat de frecvență, prin conectarea sau deconectare unor rezistențe balast la bornele generatorului și altul de tensiune prin reglajul capacității bateriei de condensatoare conectată în paralel cu circuitul de utilizare. În vechea schemă de reglaj și era un singur regulator de tensiune - frecvență care, în condițiile unei capacități constante a bateriei de condensatoare, asigură un reglaj de frecvență prin conectarea respectiv deconectarea unor trepte de rezistență trifazată în circuitul de alimentare a consumatorilor. Acest tip de regulator nu asigură un reglaj corespunzător al tensiunii la bornele consumatorilor.

Avantajul sistemului realizat în cadrul tezei este deci foarte mare asigurând o alimentare în condiții de siguranță, la parametri nominali, a consumatorilor din locația respectivă.

- Sistemul de reglaj a turației prin rezistențele balast este foarte fiabil, datorită supradimensionării și răcirii forțate a acestora. Vechiul sistem utiliza rezistențe balast răcire naturală în aer, subdimensionate pentru funcționarea în regim continuu, fapt ce a condus la frecvente arderi a acestora.

- Regulatoarele electronice de tensiune și frecvență sunt de tip numeric, fapt ce le conferă un mare grad de fiabilitate și siguranță în funcționare. Regulatorul existent în centrală era de tip analogic, având în componență o varietate foarte mare de componente electronice, unele nefiabile, astfel că frecvența defectelor era foarte mare conducând la frecvente avarii în sistemul de alimentare cu energie electrică a consumatorilor.

- Instalația de automatizare realizată, asigură monitorizarea online a valorilor maxime de tensiune la bornele generatoarelor. În momentul când aceste valori depășesc o limită impusă, prin intermediul unui releu electronic de tensiune, se dă comanda de încărcare suplimentară a generatorului prin conectare la bornele lui a unei rezistențe adiționale pe fiecare fază, în așa fel încât tensiunea și frecvența să scadă sub limita impusă. Se elimină astfel posibilitatea supraturării sau supraexcitării generatorului în cazul în care apar deficiențe în funcționarea reglatoarelor automate de turație și tensiune.

- Instalația de automatizare realizată permite monitorizarea la distanță a parametrilor electrici ce caracterizează funcționarea microhidroagregatelor din centrala respectivă, fapt ce permite o exploatare în condiții de siguranță a obiectivului respectiv.

Ca perspectivă, utilizând vana și aparatul director, comandate electric, se poate opri rapid apa ce intră în turbină asigurând protecția generatorului împotriva supraturării și se poate realiza comanda la distanță a pornirii și opririi hidrogenatoarelor.

Aparatul director comandat electric face posibilă reducerea sau creșterea puterii generatorului (într-o mică măsură), o problemă foarte importantă pe parcursul lunilor secetoase când debitul apei scade mult.

Utilizarea acumulatorilor pentru alimentarea instalației de comandă face posibilă pornirea de la distanță și monitorizarea instalației chiar și în stare oprită.

## CAPITOLUL 6 - CONCLUZII FINALE

Cercetările făcute în cadrul acestei lucrări au fost subordonate obiectivului principal și anume modernizarea unei microhidrocentrale dotată cu două microhidroagregate cu turbine Kaplan verticale și generatoare asincrone, funcționând în regim izolat, amplasată într-o zonă turistică din Parcul Național Cheile Nerei – Beușnița, în imediata apropiere a păstrăvăriei Ochiul Beilului și a cantonului Silvic Ochiul Bei.

În vederea stabilirii lucrărilor ce se impun pentru modernizarea acestei microhidrocentrale, s-a procedat în prima etapă la expertizarea stării tehnice a microhidroagregatelor și a instalațiilor electrice aferente din locația respectivă.

În acest fel au fost puse în evidență principalele neajunsuri legate de concepție montaj și exploatare a acestor echipamente.

S-au constatat o serie de deficiențe de natură mecanică și electrică.

S-a constatat astfel o subdimensionare a suporturilor metalice pe care sunt fixate microhidroagregatele, rigiditatea mecanică a acestora fiind mult sub valoarea minimă admisibilă, fapt ce a condus la vibrații mecanice suplimentare în timpul proceselor tranzitorii de pornire și oprire cât și în regimul stabilizat de funcționare a echipamentelor respective.

Funcționarea cu vibrații a condus la avarii frecvente a microhidroagregatelor, cu toate consecințele ce au decurs din acest fapt.

S-au impus soluții de mărire a rigidității mecanice a suporturilor respectivi în vederea reducerii vibrațiilor mecanice a părților fixe și stabilizarea dinamicii ansamblului rotitor.

Funcționarea stabilă fără vibrații conduce la mărirea duratei de exploatare a microhidroagregatelor asigurând astfel o alimentare neîntreruptă cu energie electrică a consumatorilor.

Prin amplasarea în centrală a bateriei de condensatoare și prin rebobinarea în conexiune stea a generatoarelor asincrone am obținut un spor de putere activă, deci o exploatare la un randament mai mare a microhidroagregatelor.

S-a impus având în vedere situația existentă în anul 2018, conceperea și realizarea unor echipamente de reglaj performante, care să asigure o alimentare în condiții de siguranță a consumatorilor din punct de vedere al nivelului tensiunii și frecvenței tensiunii de alimentare.

În prezent în urma punerii în funcțiune a echipamentelor de reglaj pe care le-am conceput și realizat în cadrul tezei se constată următoarele:

- Valorile tensiunilor pe cele trei faze sunt egale, asigurându-se astfel o alimentare în condiții de siguranță la tensiune constantă în limitele  $\pm 10\%$  față de tensiunea nominală 230 V, a consumatorilor monofazați, conectați la sistemul trifazat al microhidrocentralei.

- Reglajul tensiunii de alimentare se realizează printr-un reglaj continuu al curentului de magnetizare.

- În condițiile în care se reduce puterea absorbită de consumatorii utili, puterea utilă la bornele generatorului rămâne constantă, printr-o variație continuă a puterii active absorbite de

consumatorii balast, menținându-se astfel constantă valoarea frecvenței tensiunii de alimentare.

- Funcționarea în condiții de supratensiune conduce la conectare automată unui consumator trifazat care reduce nivelul tensiunilor sub valoarea maximă admisibilă contribuind astfel la protecția consumatorilor și a generatoarelor asincrone,

- Funcționarea în condiții de tensiune sub valoarea minimă conduce la deconectarea automată a unui consumator trifazat suplimentar (balast), astfel ca tensiunea să revină în limitele impuse.

- În vederea protecției la supracurent se monitorizează online, valorile curenților pe cele trei faze, urmărindu-se încadrarea acestora în limitele impuse.

În condițiile în care se constată o depășire a unei valori limită pe o fază are loc o semnalizare optică, iar când se depășește o valoare maximă admisibilă se deconectează automat contactorul din circuitul de alimentare a consumatorilor.

Unul dintre neajunsurile semnalate la vechea instalație electrică de alimentare a consumatorilor a fost lipsa informațiilor privind nivelul principalilor parametri electrici de circuit.

Instalația realizată în cadrul tezei de doctorat asigură monitorizarea online a tuturor parametrilor electrici, la bornele generatoarelor asincrone: puterile active pe faze și puterea activă totală, puterea reactivă pe fază și puterea reactivă totală, curentul pe faze, tensiunile de fază și linie, factorul de putere pe fiecare fază, frecvența tensiunii de alimentare

Valorile acestor parametri electrici pot fi accesate și afișate pe afișorul sistemului de achiziție de pe panoul frontal al dulapului.

Un avantaj important al schemei de automatizare realizate în cadrul tezei de doctorat este faptul că permite monitorizare la distanță a tuturor parametrilor electrici, fapt ce creează premisele unei exploatare în condiții de siguranță a microhidrocentralei.

## **CAPITOLUL 7 - CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE**

### **7.1 Contribuții personale**

Ținând cont de obiectivele propuse, pe durata programului individual de cercetare științifică s-au studiat titluri bibliografice ce cuprind cărți, articole de pe site-uri web și lucrări științifice, dintre care indirect referințe bibliografice aparțin autorului.

În continuare se menționează principalele contribuții personale rezultate în urma cercetărilor efectuate în domeniul abordat în prezenta lucrare cât și în urma expertizelor tehnice privind starea tehnică a performanțelor de funcționare a echipamentelor electrice și mecanice existente în microhidrocentrala Ochiul Bei:

1. Punerea în evidență a principalelor deficiențe ce caracterizează funcționarea echipamentelor electrice și mecanice din microhidrocentrala Ochiul Bei, dintre care cele mai importante sunt:

- instabilitatea mecanică a suporturilor de fixare a microhidroagregatelor, fapt ce a condus la o funcționare cu vibrații mari a turbinelor și generatoarelor sincrone în toate regimurile de exploatare;

- uzura prematură a rulmenților radiali și axiali datorată unor soluții ineficiente de etanșare a acestora, în timpul funcționării cu debite mari de apă a turbinelor hidraulice;

- existența unor dezechilibre accentuate a tensiunilor de alimentare a consumatorilor monofazați, determinate de reglajul neperformant al sistemului existent de reglaj a frecvenței și tensiunii la bornele generatoarelor asincrone;

- utilizarea unui transformator de adaptare, pentru asigurarea nulului rețelei de alimentare a consumatorilor monofazați, în condițiile în care înfășurările statorice ale

generatoarelor asincrone erau în conexiune triunghi la  $U_n = 400 \text{ V}$  fapt ce a condus la diminuarea randamentului generatoarelor asincrone;

- utilizarea unor baterii de condensatoare neperformante, fapt ce a condus la avarii repetate cu indisponibilizarea sistemului de alimentare a consumatorilor pe perioade mai mari de timp;

- nu existau echipamente de măsură a parametrilor electrici din rețeaua de alimentare cu energie electrică a consumatorilor din Păstrăvărie și cabanele Ocolului Silvic, astfel că nu exista nici o informație privind nivelul tensiunilor de fază și a puterilor active absorbite de consumatorii respectivi;

- pornirea hidroagregatelor și conectarea consumatorilor avea loc în regim manual fiind necesară prezența a două persoane, una în microhidrocentrală pentru deschiderea manuală a venelor hidraulice și alta la tabloul de racord și alimentare a consumatorilor, care era la intrarea în Păstrăvărie, fără a fi posibilă comunicarea între cele două persoane;

- bateria de condensatoare a fost amplasată la o distanță mare de generatoarele asincrone, fapt ce a condus la o suprasolicitare în curent a cablului de alimentare, respectiv la căderi de tensiune și pierderi suplimentare în cablul respectiv;

- instalația electrică de alimentare nu era prevăzută cu dispozitive de protecție la supratensiune și supracurent fapt ce a condus la repetate arderi a becurilor și a unor echipamente electrocasnice existente în circuitele de utilizare a consumatorilor;

- bateriile de condensatoare utilizate nu au fost corect dimensionate, neținând cont de caracteristicile de magnetizare a fiecărui generator asincron astfel că nu au fost posibilă o funcționare la parametri nominali de tensiune și frecvență a generatoarelor respective.

- schema de reglaj utilizată a avut în vedere menținerea constantă a frecvenței tensiunii la bornele generatorului asincron prin conectarea sau deconectare în trepte unor consumatori balast de putere în trepte apropiată cu cea a consumatorilor utili fără a se realiza astfel un reglaj de tensiune în funcție de nivelul de încărcare a generatoarelor.

2. Elaborarea unor soluții eficiente pentru eliminarea deficiențelor constatate și menționate la punctul 1, care se referă la:

- rigidizarea ansamblului suporturilor de fixare a microhidroagregatelor;

- etanșarea rulmenților fixați pe rotorul turbinei hidraulice;

- recalcularea schemei de bobinaj pentru rebobinarea statoarelor generatoarelor asincrone în conexiune stea, cu nulul accesibil în vederea eliminării transformatorului de adaptare;

- recalcularea capacității bateriilor de condensatoare în vederea funcționării generatoarelor la parametri nominali de frecvență și tensiune (50 Hz, 400 V);

- reamplasarea bateriilor de condensatoare în imediata apropiere a generatoarelor în vederea reducerii pierderilor de tensiune și putere pe cablul de racord.

3. Conceperea și realizarea practică a unui sistem performant de reglaj automat al frecvenței tensiunii la bornele generatorului.

Schema concepută și realizată în cadrul tezei, permite un reglaj automat al frecvenței, printr-o variație continuă a puterii absorbite de consumatorii balast, astfel încât puterea totală debitată de generatorul asincron, să rămână la valoarea corespunzătoare punctului de funcționare în sarcină la frecvența nominală de 50 Hz.

4. Realizarea unei scheme de reglaj automat a tensiunilor de fază a generatoarelor asincrone, în vederea asigurării unui sistem trifazat simetric de tensiuni de alimentare a consumatorilor monofazați.

Regulatorul de tensiune existent înainte în centrală, avea ca tensiune de referință valoarea medie a tensiunilor de fază astfel că era imposibilă echilibrarea tensiunilor de fază în vederea obținerii unui sistem trifazat simetric de tensiuni.



Varianta nouă de reglaj utilizează ca referință tensiunile de fază, astfel menținându-se constante aceste tensiuni printr-un reglaj automat al nivelului de încărcare cu sarcină balast pe fiecare fază.

5. Reglajul automat al tensiunii la funcționarea în sarcină a generatoarelor printr-o variație continuă a capacității, unei baterii de condensatoare.

În acest scop la bornele generatoarelor asincrone se conectează o baterie suplimentară de condensatoare a cărei capacitate este variabilă continuu, în funcție de nivelul tensiunii la funcționarea în sarcină a generatoarelor respective.

6. Întocmirea unei scheme eficiente de monitorizare a parametrilor electrici de funcționare a microhidroagregatelor cu posibilitatea vizualizării lor la distanță.

La încheierea cercetării datorită dezvoltărilor elaborate prin teza de doctorat microhidrocentrala este în perfectă stare de funcționare, având energia debitată de peste 20 MWh/an, funcționează în regim continuu, de la ea se alimentează Păstrăvăria, cantonul pădurarului, o mică terasă (unde se vând preparate din păstrăv) și două vile ale Ocolului Silvic.

Costul ei este competitiv fiindcă folosește un generator asincron, care este mult mai ieftin decât un generator sincron, cu care sunt echipate alte microhidrocentrale existente.

### **Direcții viitoare de cercetare**

Consider că dezvoltarea ulterioară a microhidrocentralei ar putea avea loc în trei direcții:

- automatizarea vanelor și aparatului director
- realizarea unui sistem de monitorizare și comandă de la distanță
- realizarea unui regulator multifuncțional

### **Automatizarea vanelor și aparatului director**

Este necesară achiziționarea a 2 vane acționate electric precum și a câte unui motor electric de curent continuu, cu reductor, pentru fiecare aparat director. Toate aceste elemente trebuie să funcționeze la tensiunea de alimentare de 24 V curent continuu, pentru a putea fi acționate din acumulatori [79].

### **Realizarea unui sistem de monitorizare și comandă de la distanță**

Pentru realizarea controlului de la distanță a microhidrocentralei prezentate în lucrare, se vor folosi următoarele componente:

- un PLC;
- un web server;
- un router cu card GSM.

PLC-ul supraveghează automatizarea preluând informații de la analizoare de rețea și de la celelalte elemente (senzori, contacte, butoane) pe care le prelucrează și le transmite serverului [80].

Serverul web este un modul care preia informațiile din PLC și le transpune sub forma unor pagini web care pot fi accesate de unul sau mai mulți utilizatori.

Routerul GSM este acel dispozitiv care fiind conectat la o rețea de telefonie mobilă 3G / 4G aduce internetul pe două căi: prin mufele de pe dispozitiv sau prin unde radio, realizând o rețea fără fir. În locația microhidrocentralei semnalul GSM este destul de slab așa că am atașat router-ului 2 antene cu cabluri mai lungi dar încă nu am realizat o rețea internet foarte sigură. Voi face o încercare cu alte antene GSM cu câștig mai mare și le voi pune la înălțime mai mare [77].

Pentru vizualizarea parametrilor microhidrocentralei este necesar să dispunem de un dispozitiv care posedă o aplicație pentru deschiderea paginilor de internet (PC, laptop, tabletă, telefon mobil) și să cunoaștem IP-ul serverului. Acest IP este de obicei dinamic, dar există metode prin care să fie transmis unui server DNS de unde se poate prelua.

Cunoscând IP-ul putem accesa prima pagină a serverului web, aceea de înregistrare, unde este necesar un nume de utilizator și o parolă.

După înregistrarea pe server se va deschide următoarea pagină în care este prezentată automatizarea și unde se pot vizualiza parametrii de funcționare ai microhidrocentralei.

De aici se poate comanda și pornirea și oprirea microhidrocentralei în mod automat de la distanță și vizualizarea câtorva parametri citați din analizorul de rețea [81].

Se poate implementa și câte un contor orar care să monitorizeze numărul de ore de funcționare a fiecărui generator, respectiv a fiecărei baterii de condensatori. Prin această monitorizare se obține un program de mentenanță a generatoarelor și a momentului când trebuie schimbate bateriile de condensatori.

### **Realizarea unui regulator multifuncțional**

Pe parcursul testării pe modelul din laborator a regulatorului am ajuns la concluzia că aș putea construi un model de regulator mai rapid și mai compact.

Îmi imaginez noul regulator ca având următoarele date tehnice: o intrare pentru frecvență generator; 3 intrări pentru tensiuni generator; 3 intrări pentru curenți consumatori; o ieșire pwm pentru bateria de condensatori reglabilă; 3 ieșiri pwm pentru rezistențele balast; un contact de releu pentru tensiuni și frecvență ok; un afișor și câteva taste pentru setări.

Microcontrolerul ales are convertor analogic de 16 biți și ieșiri pwm tot cu 16 biți, mărind astfel mult precizia regulatorului.

Utilizând acest sistem multiprocesor vom obține o urmărire mai rapidă a fiecărei tensiuni de fază și a frecvenței. Fiecare microcontroler își va derula programul în paralel și independent de celelalte. Dacă dorim să modificăm anumite setări acestea se vor schimba simultan în regulatoarele de același tip.

Consider că acest tip de regulator multifuncțional va urmări eficient parametrii sistemului trifazat și va acționa rapid în scopul reglării lor.

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVA

- [2]. Roman Baican, REVISTA BAABEL, 02.12.2021, ISSN 2734-4967, ISSN-L 2734-4967, <https://baabel.ro/2021/12/energia-apei-ii-centrale-hidroelectrice/>
- [3]. Ana Ionica, POTENȚIALUL DE ENERGIE REGENERABILĂ DIN ROMÂNIA, 30.01.2018, <https://smartcityblog.ro/potentialul-de-energie-regenerabila-din-romania/>
- [4]. Paul Gheorghinescu, Alexandru Gheorghinescu, Istoria hidroenergeticii romanesti vol.I (1884-1970). De la microcentrala castelului Peles la marea centrala Portile de Fier, Editura Noua Curtea de Arges, 2021
- [5]. Basarab Guzun, George Darie, Stelian Al. Gal, Dan Olovinaru - Centrale stații și rețele electrice, Editura Academiei Române 2005
- [10]. Parcul Național Cheile Nerei – Beușnița, Județul Caraș-Severin - Wikipedia [https://ro.wikipedia.org/wiki/Parcul\\_Na%C8%9Bional\\_Cheile\\_Nerei\\_-\\_Beu%C8%99ni%C8%9Ba](https://ro.wikipedia.org/wiki/Parcul_Na%C8%9Bional_Cheile_Nerei_-_Beu%C8%99ni%C8%9Ba)
- [23]. Mina Emil Roșu, Cristian Nichita - optimizarea energetică a sistemelor de conversie electromecanică, Editura Tehnică București 1999.
- [26]. A. T. Golovanov, T. P. Barabaș, The functioning of induction generator in self-excitation operation, Electricestrov Nr. 3 1950.
- [32]. A. Câmpeanu, Dinamical models for the saturated induction machine, Revue Roum SCI Techn\_Electrotech et Energ 46.1 2001 pp 89-99
- [33]. A. Câmpeanu, I. Cantel, I. Vlad, S. Enache Modelarea și simularea mașinilor electrice de curent alternativ. Complemente. Editura academiei române București 2020
- [34]. A. A. Ivanov, A. Câmpeanu, Matlab, Simulink Library for AC drivers simulation, Simulation 98 University of York, UK 1998.
- [35]. A. Câmpeanu, A. Ionescu, I. Vlad, S. Enache, Prediction trough simulation of the optimal behavoir of the induction machine process, SPEEDAM 2008, Ischia(Italy) 11-13 June PP. 1136-1140
- [36]. A. Câmpeanu, I. Cantel, I. Vlad, S. Enache, Modelarea și simularea mașinilor electrice de curent alternativ. Complemente. Editura academiei române București 2012
- [37]. A. Câmpeanu, M. Enache, T. Câmpeanu, Equivalent Circuits Models of Induc'ion Machines - A Rewiev, Cluj Napoca, Acta Electrotehnica Volume 44 Number 3 2004 pp 11-17
- [38]. N. Budișan, A. Stern, A. Spilco, Characteristics of the autonomus self-ecited asynchronus generator with voltage stabilization by rotation speed at hydroplants, Symposium Ecological small Hydropower Social and Economic Impact, 5-7 October 1993 Hidrotim SA Timișoara.
- [39]. M. Opaschi, Proiectarea hidrogeneratoarelor și a motoarelor sincrone, vol. 2, Editura Mirtom Timișoara.
- [40]. A. Câmpeanu, M. Rădulescu, Influence of Cross-Saturation for Modeling and simulation of the Dinamic Process in the induction Motor, Eurocon 2007, pp 1830-1833.
- [41]. Florin Ionescu, Dan Floricău, Smaranda Nițu, Dan Fodor, Mina Emil Roșu, Remus Teodorescu, Ion Bivol, Dimitrie Alexa, Mihai Lucanu, Adrian Maxim, Dorin Octavian Neacșu, Adriana Păstrăvanu, Nicolae Lucanu, Etienne Milent - Electronică de putere Modelare și Simulare, Editura tehnică, București 1997
- [42]. Ghiță Constantin - Elemente fundamentale de mașini electrice, Editura Printech, București 2002
- [43]. Matlab <https://www.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/per-unit-and-international-systems-of-units.html;jsessionid=956af0f8b69426675dc8de3cde6b> 2024
- [44]. T. Dordea, R. Munteanu, A. Cmpeanu, Mathematical Models of A.C. Machines. Cutical Analysis Theorie, Proceedings of ASTR, Cluj Napoca 2009.

- [51]. Releu supraveghere tensiune RNP-311M <https://www.tme.eu/ro/details/rnpp-311m/relee-de-supraveghere/novatek-electro/> 2024
- [52]. Imagine releu supraveghere tensiune <https://www.tme.eu/ro/details/rnpp-311m/relee-de-supraveghere/novatek-electro/> 2024
- [53]. Documentatie Releu supraveghere tensiune RNP-311M [https://www.tme.eu/Document/f4aed7ef29ac0f89a1702883ec09f728/RNPP-311M\\_EN.pdf](https://www.tme.eu/Document/f4aed7ef29ac0f89a1702883ec09f728/RNPP-311M_EN.pdf) 2024
- [66]. *L. Toma*, Sisteme de achiziție și prelucrare numerică a semnalelor, Editura de vest Timișoara 1997.
- [67]. Analog device MAX 3485 <https://www.analog.com/media/cn/technical-documentation/data-sheets/1079.pdf>
- [73]. *Anghel Dorian; Ionescu Florin; Marius Florian Predus*, The testing stand of the ferrite core transformers, 2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) <https://ieeexplore.ieee.org/document/7905061> (WoS, IEEE Xplore)
- [74]. *Spunei Elisabeta, Piroi Ion, Anghel Dorian, Piroi Florina*, The square root method for terminal voltage adjustment in a self-excited synchronous generator, 2017 5th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE) <https://ieeexplore.ieee.org/document/8170633> (WoS, IEEE Xplore)
- [75]. *Ion-Cornel Mituletu, Dorian Anghel, Loredana Ardeljan, Mihael Magda*, DC-DC Buck Converter Based on Arduino Uno Sliding Mode Controller, 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) <https://ieeexplore.ieee.org/document/9425185> (WoS, IEEE Xplore)
- [76]. *E Răduca, C Hațiegan, M Molnar, D Anghel, MD Stroia, G Liuba*, Testing of electrical parameters at direct start-up of a synchronous motor of 4650 kW/6 kV, Journal of Physics: Conference Series vol. 1426 nr 1 Editor IOP Publishing <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1426/1/012048> (WoS)
- [77]. *Deian Dorel Ardeljan, Ion-Cornel Mituletu, Dorian Anghel*, 3D Printer Fire Detection System with GSM Transmission, 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) <https://ieeexplore.ieee.org/document/9425246> (WoS, IEEE Xplore)
- [78]. *Marius Florian Predus, Florin Ionescu, Dorian Anghel*, Insulating oil quality diagnosis in exploitation, 2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) <https://ieeexplore.ieee.org/document/7905066> (WoS, IEEE Xplore)
- [79]. *Ion-Cornel Mituletu, Dorian Anghel*, Automatic Control of a Dual-SMA Actuator System, ANALELE UNIVERSITĂȚII "EFTIMIE MURGU" REȘIȚA ANUL XXIII, NR. 1, 2016, ISSN 1453 – 7397 [http://vechi.uem.ro/CS\\_LIR\\_PDV/fileadmin/lucrari/Mituletu%20Cornel%20-%20ID%202021.pdf](http://vechi.uem.ro/CS_LIR_PDV/fileadmin/lucrari/Mituletu%20Cornel%20-%20ID%202021.pdf) (EBSCO, Index Copernicus)
- [80]. *Mihaela Dorica Stroia, Dorian Anghel, Dănuț-Eugeniu Moșteanu, Cornel Hațiegan*, Communication interface prototype used for data transmission at electric systems, SCIENDO, International conference KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATION, Volume 25: Issue 3, 2019 <https://sciendo.com/article/10.2478/kbo-2019-0119> (EBSCO, Ulrich's)
- [81]. *D Anghel, MD Stroia, C Hațiegan, AC Timofte*, ANDROID APPLICATION FOR DIGITIZING CONTRAVENTION DOCUMENTS, Annals of 'Constantin Brancusi' University of Targu-Jiu. Engineering Series/Analele Universității Constantin Brâncuși din Târgu-Jiu. Seria Inginerie, 2023 [https://www.utgjiu.ro/rev\\_ing/pdf/2023-2/04\\_d%20anghel\\_android%20application%20for%20digitizing%20contravention%20documents.pdf](https://www.utgjiu.ro/rev_ing/pdf/2023-2/04_d%20anghel_android%20application%20for%20digitizing%20contravention%20documents.pdf) (EBSCO, DOAJ)
- [82]. *Luis Miguel Esquivel-Sancho; Roberto Pereira-Arroyo; Mauricio Muñoz-Arias*, Voltage Regulation for a Self-Excited Induction Generator, 2021 60th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), 14-17 December 2021, Austin, TX, USA
- [83]. *Ashish Sharma; Deepa Kumari; Rinku Sharma*, Expansion of Isolated Generator System with Self Excited Induction Generator, 2021 First International Conference on Advances in Computing and Future Communication Technologies (ICACFCT), 16-17 December 2021, Meerut, India.

- [84]. *Claudinilson Alves Luczkiewicz, Edson Da Costa Bortoni*, Voltage and Frequency Control in Isolated Generation Using Binary Logic, 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), 20-22 July 2022, Prague, Czech Republic
- [85] I.P. Shorstkin; M.G. Kiselev; *K.V. Krukov; N.S. Rodkin*, Frequency and voltage stabilization of induction generator based on STATCOM, 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 29 February 2024 - 02 March 2024, Moscow, Russian Federation.
- [86]. *Xin Ding; Wei Lin; Jian Xu; Yuanzhang Sun; Liangzhong Yao; Beilin Mao*, Coordinated frequency control for isolated power systems with high penetration of DFIG-based wind power, CSEE Journal of Power and Energy Systems ( Early Access ), DOI: 10.17775/CSEEJPES.2021.08320, Pag. 1-15, 06 May 2022
- [87]. *Venu Yarlagadda; Garikapati Annapurna Karthika; M. Nagajyothi; J. Bhavani*, DSTATCOM based Closed Loop Controlled Wind Power Plant with Self Excited Induction Generator for Controlling Terminal Voltage against Load Disturbances, 2022 IEEE Fourth International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications (ICAIECC), 10-11 January 2022, Bengaluru, India.
- [88]. *Pradeep Singh; Krishan Arora; Umesh C. Rathore*, Performance Evaluation of a Grid Connected Variable Speed 3- $\Phi$  Doubly Fed Induction Generator in Wind Energy Conversion System Using Battery Energy Storage System, 2022 10th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO), 13-14 October 2022, Noida, India.
- [89]. *Shalvi Tyagi; Bhim Singh*, Seamless Connection of Wind and Small Hydro Based Energy Conversion System With Storage, 2022 IEEE 2nd International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SeFeT), 04-06 August 2022, Hyderabad, India.
- [90]. *Haitao Li; Xuehu Peng; Yaolin Lou; Lili Chen*, Analytic Calculation for Stator Frequency of Self-Excited Induction Generators With Routh Criterion, 2022 4th International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP), 08-10 July 2022, Hangzhou, China.
- [91]. *Saira Tariq; Faisal Khan; Zain Ul Abideen; Umair Ali*, Self-Excited Induction Generator with Electronic Load Controller installed in Naran, Pakistan, 2022 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP), 18-20 October 2022, Jakarta, Indonesia.
- [92]. *Kesari Hanumanthu, Natarajan Kumaresan*, A Novel Control Scheme for Induction Generator Based Stand-alone Micro Hydro Power Plants, Aug 2023 Distributed Generation and Alternative Energy Journal 38(6):1791-1814, DOI: 10.13052/dgaej2156-3306.3864
- [93]. *Agus Hermanto, Diki I. Permana, Dani Rusirawan, Tito Shantika*, Investigation of Very Low Micro-Hydro Turbine: Design, Simulation and Prototype Experimental, International Journal of Heat and Technology Vol. 41, No. 2, April, 2023, pp. 332-340.
- [94]. *Chandra BUANA*, Performance Analysis of Micro Hydro Power Plants Using a Pelton Turbine with Two Nozzle Variations, July 2023 PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY 1(7):86-90, DOI: 10.15199/48.2023.07.16.
- [95]. *Remon Lapisal, Arwizet1, Krismadinata2, Prima Yane Putri3, Junil Adri1, Firman Omni S1, Doni Saputra1 dan Aldi Alfarizi1*, Cross-Flow Turbine Design of Micro hydro Power Generator for Rural Energy-Independent Area, MOTIVECTION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering, Volume : 5, Number : 2, 2023.