

Raport Științific Etapa IV – 2021 Proiect PCCDI Nr.30/2018

Proiect 3: Managementul conversiei și stocării energiei folosind tehnologii de tip "smart grid"

Implementarea și testarea unui model experimental de microrețea cu distribuție a energiei în curent continuu și a sistemului SCADA



Echipă implementare UPT:

- 1. Acad.Prof.Dr.Ing. Ion Boldea
- 2. Prof.Dr.Ing. Nicolae Muntean
- 3. Prof.Dr.Ing. Lucian Tutelea
- 4. Conf.Dr.Ing. Ciprian Şorândaru
- 5. Şl.Dr.Ing. Octavian Cornea
- 6. As.Drd.Ing. Dănuț Vitan
- 7. As.Dr.Ing. Dan Hulea
- 8. Drd.Ing. Gireadă Mihăiță

Echipă implementare UTC-N:

- 1. Drd.Ing. Iuoras Adrian
- 2. S.l.Dr.Ing. Bojan Mircea
- 3. Conf.Dr.Ing. Teodosescu Petre

Echipă implementare INCDIE ICPE-CA:

- 1. Dr.Ing. Rareș-Andrei Chihaia
- 2. Dr.Ing. Andreea El-Leathey
- 3. Ing. Constantin Dumitru
- 4. Drd.Ing. Ion Murgescu
- 5. Dr.Ing. Emil Tudor
- 6. Dr.Ing. Mihail Popescu
- 7. Ing. Liviu Popovici
- 8. Dr.ing. Gabriela Cîrciumaru
- 9. Tehn. Marius Miu



1.Modelare Microrețea (HIL)

În cadrul acestei etape de cercetare se realizează trecerea de la etapa de simulare din mediul Matlab/Simulink a micro-rețelei rezidențiale studiate, la implementarea unei modelări de tipul "Hardware-in-The-Loop" (HIL), folosind două sisteme de dezvoltare care permit realizarea unor astfel de modelări în timp real. Micro-rețeaua rezidențială este alimentată prin intermediul a două convertoare AC/DC (c.a./c.c.) trifazate, conectate la rețeaua de distribuție a energiei electrice printrun transformator trifazat de tip YDY, obținându-se astfel două nivele de tensiune continuă (350 V și 700 V).

1.1. Descrierea modelului de tip HIL

Pentru a realiza modelarea în timp real a micro-rețelei rezidențiale din Figura 1, a fost necesară împărțirea acesteia în două modele după cum se poate observa în Figura 2, unde se evidențiază faptul că între cele două sisteme HIL sunt transferate semnale analogice și digitale.

Primul model este implementat folosind platforma *PLECS RT-BOX* prin intermediul softului Plecs Standalone. Drept urmare, acest model (micro-rețeaua rezidențială) conține următoarele componente:

- conectarea la rețeaua de distribuție a energiei electrice,
- transformatorul trifazat,
- sarcinile de curent alternativ,
- filtrele pasive LCL,
- convertoarele AC/DC (c.a./c.c.) trifazate bidirecționale,
- sarcinile de curent continuu,
- emularea micro-rețelei continue prin intermediul unor surse.

Al doilea model conține strategia de control a celor două convertoare din componența microrețelei, modelată prin folosirea platformei *MicroLabBox-dSpace 1202*. Modelul strategiei de control este preluat din simularea realizată în mediul Matlab/Simulink în cadrul etapei anterioare de cercetare.

Pentru a realiza încărcarea modelului corespunzător acestei strategii de control, din Simulink, pe platforma *dSpace 1202* s-a utilizat softul Control Desk, dedicat platformei. Acest soft mai permite pe lângă programare și realizarea unei interfețe de monitorizare/control a modelului utilizat.





Figura 1. Topologia micro-rețelei rezidențiale studiate.



Figura 2. Modelul HIL a micro-rețelei rezidențiale.

Conexiunile dintre cele două sisteme de dezvoltare sunt explicitate prin intermediul diagramei prezentate în Figura 3. Aici se observă divizarea semnalelor analogice și digitale după cum urmează:

Semnalele analogice (AO/AI) sunt transmise de la modelul micro-rețelei rezidențiale spre modelarea controlului. Astfel avem:

- Tensiunile alternative (V_{ac}) măsurate între transformatorul conectat la rețeaua electrică și filtrele LCL ale celor două convertoare;
- Curenți alternativi (I_{ac}) măsurați la intrările celor două filtre LCL;
- Tensiunile continue (V_{dc}) măsurate la ieșirea fiecărui convertor, după filtrele capacitive.

Semnalele digitale (DIO) sunt transmise de la modelul controlului (dSpace) spre modelul fizic al sistemului energetic (Plecs RT-Box). Aceste semnale se împart în două categorii și anume:

- Semnale modulate în durată a impulsurilor (PWM T1 la T12) prin intermediul cărora vor fi controlate convertoarele electronice bidirecționale;
- Semnale digitale cu ajutorul cărora se comandă contactoarele de condiționare a microrețelei elaborate (Br1 și Br2).

În cazul în care energia electrică circulă de la rețea spre consumatorii de curent continuu (regim de redresor), semnalele DIO 48 și/sau DIO 47 (poziția HIGH +5V) vor acționa închiderea contactoarelor Br1 și/sau Br2.



Figura 3. Diagrama conexiunilor dintre cele două platforme.

1.2. Realizarea standului experimental

niversitatea

Standul experimental s-a realizat pe baza diagramei din Figura 3, iar vederea de ansamblu a întregului sistem HIL, este expusă în imaginile din Figura 4, unde apar cele două platforme. Pe lângă aceste platforme s-a utilizat și un calculator pe care au rulat softurile aferente celor două platforme.

În Figura 4 se observă configurarea celor două platforme unde MicroLabBox-dSpace este dotat cu conectori de tip "spring-cage", iar Plecs RT-Box este utilizat împreună cu placa adaptoare dedicată semnalelor digitale (Digital Breakout Board cu conectori de tip "spring-cage"), respectiv cu placa adaptoare dedicată semnalelor analogice (Analog Breakout Board cu conectori de tip BNC). Aceste două accesorii facilitează accesul la conectorii semnalelor propriu zise. Cele două platforme sunt legate prin intermediul adaptoarelor "spring-cage" la conectorii BNC.

Comunicarea platformelor de dezvoltate cu calculatorul personal se realizează printr-o conexiune de tipul "Gigabit Ethernet", folosind un IP ROUTER/SWITCH legat la serverul local.





Figura 4. Standul experimental.

1.3. Implementarea modelelor software ale sistemului HIL

Modelele simulării în timp real ale structuri HIL, s-au realizat folosind softuri dedicate pentru cele două platforme, acestea fiind Matlab, Plecs Standalone și Control Desk. Ele vor rula în timp real pe calculatorul personal și vor permite atât modelarea și controlarea micro-rețelei rezidențiale, cât și urmărirea formelor de undă în timp real. În cele ce urmează aceste modele vor fi descrise separat pentru fiecare platformă, conexiunile fiind realizate după diagrama electrică din Figura 3.

S-a ales configurația propusă în capitolele de mai sus, deoarece structura sistemului de control realizată în Simulink este direct compatibilă cu softul Control Desk, care lucrează în tandem cu platforma MicroLabBox-dSpace. Avantajele folosirii platformei PLECS RT-BOX pentru modelarea micro-rețelei hibride sunt ieșirile analogice ale acestuia care au rezoluție dublă (2 Msps) față de cealaltă platformă (1 Msps).

1.3.1. Modelarea micro-rețelei fizice

Modelul micro-rețelei fizice investigate este implementat cu ajutorul platformei Plecs RT-Box, folosind softul numit PLECS Standalone + PLECS Blockset. Structura acestui model este compusă din două convertoare AC/DC (c.a./c.c.) bidirecționale, conectate atât la rețeaua electrică trifazată cât și la rețeaua de curent continuu, după cum se poate observa în Figura 5, având la bază modelul micro-rețelei din Figura 1. Acest model se încarcă direct în platforma de dezvoltare propriu zisă.

Cele 14 semnale analogice sunt transmise prin intermediul blocurilor "Analog Out" cu o acuratețe de 2 [Msps]. Semnalele digitale, tot în număr de 14, sunt achiziționate prin intermediul blocurilor "Digital In", respectiv "PWM Capture" - acesta fiind capabil să achiziționeze semnale PWM de frecvență mare (până la 1 MHz).

Rețeaua electrică trifazată de medie tensiune este modelată cu ajutorul unei surse de curent alternativ, la care se conectează atât primatul transformatorului "ydy Trafo1" cât și alte sarcini de c.a. "AC Grid load". După cele două secundare ale transformatorului "ydy Trafo1" sunt conectate două sarcini de c.a. (AC load 1 și AC load 2), precum și cele două convertoare electronice de putere.

Convertoarele AC/DC (c.a./c.c.) sunt modelate prin brațe cu tranzistoare IGBT (câte trei brațe pentru fiecare convertor) configurate după modelul "Sub-cycle average", aceste fiind comandate prin "transmițătoarele" de semnale Di1-Di12. Parametrii simulării sunt următorii: a.– "Solver": Fixed step/Discrete; b.- pasul de discretizare: 2*10-6[s]; c.- metoda discretizării: "Radau"; d.- toleranța relativă: 1*10-3[s].





Figura 5. Modelul micro-rețelei rezidențiale realizat în softul PLECS.



1.3.2. Modelarea structurii de control

Modelarea strategiei de control a micro-rețelei rezidențiale, s-a realizat prin adaptarea structurii dezvoltate cu ajutorul mediului Matlab/Simulink din etapa anterioară. Pentru a modela controlul pe platforma MicroLabBox-dSpace 1202 trebuie generat codul sursă din Matlab/Simulink, iar apoi acest cod va fi încărcat în platforma de dezvoltare prin intermediul softului Control Desk. Totodată acest soft permite afișarea semnalelor și realizarea unei interfețe de control, conform imaginii din Figura 7.

Modelul realizat în Matlab/Simulink este descris prin intermediul schemei din Figura 6, unde se pot observa cele trei blocuri care conțin intrările analogice redimensionate prin blocurile de tip "Gain". Blocurile semnalelor digitale "EMC_MC_PWM_BL", vor avea ca intrare pe "Duty cycle" unda de referință provenită de la structura controlului. Impulsurile PWM de comandă ale tranzistoarelor modelate în platforma Plecs, vor fi generate prin compararea internă în ultimul bloc menționat a undei de referință, cu un semnal triunghiular cuprins între valorile 0 și 1, a cărei perioadă va fi stabilită prin intrarea "Period". Impulsurile de comandă ale contactoarelor vor fi transmise prin blocurile "DIO_CLASS1_BIT_OUT_BL".



Figura 6. Modelul structurii de control realizate în mediul Matlab/Simulink.





Figura 7. Interfața strategiei de control realizată cu ajutorul softului Control Desk.



1.4. Rezultatele obținute

În acest capitol sunt prezentate rezultatele obținute în urma modelării HIL a micro-rețelei rezidențiale investigate. S-au studiat cele trei posibilități de manipulare a energie electrice reactive (caracter: inductiv, capacitiv și rezistiv), prin intermediul convertoarelor AC/DC (c.a./c.c.) bidirecționale utilizate.

1.4.1. Funcționarea în regim de redresor cu factor de putere unitar

În acest caz se impune ca referință a puterii active valoarea de P=2000 [W], iar puterea reactivă este impusă ca valoare egală cu Q=0 [VAR], pentru ambele convertoare. Referința tensiunii continue de ieșire rămâne constantă și egală cu 350 [V]. Rezistența utilizată pe post de sarcină de curent continuu este calculată cu relația R= U^2/P . Astfel, formele de undă rezultate și preluate cu ajutorul softului Plecs Standalone, sunt prezentate în Figura 8 - Figura 10.



Figura 8. Vdc1-tensiunea redresată de convertorul 1; Vdc2-tensiunea redresată de convertorul 2 și Vdc_total- tensiune redresată totală a celor două convertoare.











1.4.2. Funcționarea în regim de redresor. Convertor 1 caracter capacitiv.

Aici se impune ca referință a puterii active valoarea de P=2000 [W], iar puterea reactivă a primului convertor este impusă ca valoare egală cu Q=-500 [VAR]. Al doilea convertor funcționează la factor de putere unitar. Rezultate obținute sunt evidențiate în Figura 11 și Figura 12.





1.4.3. Funcționarea în regim de redresor. Convertor 2 caracter capacitiv.

În acest caz se impune referința puterii active ca fiind P=2000 [W], iar puterea reactivă a convertorului 2 este impusă ca valoare egală cu Q= -500 [VAR]. Convertorul 1 va funcționa la factor de putere unitar. Formele de undă obținute sunt ilustratate în Figura 13 și Figura 14.





1.4.4. Funcționarea în regim de redresor. Convertor 1 caracter inductiv.

Pentru acest caz referința puterii active impuse este egală cu P=2000 [W], iar puterea reactivă a primului convertor este de Q=+500 [VAR]. Al doilea convertor funcționează la factor de putere unitar. Formele de undă rezultate sunt ilustrate în Figura 15 și Figura 16.





1.4.5. Funcționarea în regim de redresor. Convertor 2 caracter inductiv.

Aici s-a impus referința puterii active de P=2000 [W], iar puterea reactivă a convertorului 2 este egală cu Q=+500 [VAR]. Convertorul 1 funcționează la factor de putere unitar. Ca urmare, rezultatele obținute sunt evidențiate în Figura 17 și Figura 18.





1.4.6. Funcționarea în regim de invertor a convertorului 1 cu factor de putere unitar

Acest caz presupune funcționarea convertorului 1 în regim de invertor cu factor de putere unitar, iar convertorul 2 funcționează în regim de redresor. Astfel, formele de undă obținute sunt prezentate în Figura 19 și Figura 20.





1.4.7. Funcționarea în regim de invertor a convertorului 1 în regim capacitiv.

Aici funcționarea convertorului 1 este în regim de invertor având puterea reactivă de Q=-500 [VAR], iar convertorul 2 funcționează în regim de redresor cu factor de putere unitar. Rezultate obținute sunt evidențiate în Figura 21 și Figura 22.





1.4.8. Funcționarea în regim de invertor a convertorului 1 în regim inductiv.

În acest caz convertorul 1 funcționează în regim de invertor având puterea reactivă de Q=+500 [VAR], iar convertorul 2 operează în regim de redresor cu factor de putere unitar. Formele de undă rezultate sunt ilustrate în Figura 23 și Figura 24.





1.5. Concluzii

În urma modelării în timp real (de tip HIL) a micro-rețelei rezidențiale investigate (implementate cu ajutorul platformelor *Plecs RT-Box* respectiv *MicroLabBox-dSpace*) s-au obținut rezultatele corespunzătoare comportamentului acesteia în raport cu rețeaua de distribuție a energiei electrice de c.a. pentru un număr de 8 scenarii distincte. Toate aceste rezultate măsurate au fost posibile datorită utilizării softului Plecs Standalone.

Această structură de micro-rețea, propusă la nivel de cartier rezidențial, având două nivele de tensiune continuă (350 V și 700 V), evidențiază faptul că este posibilă realizarea compensării factorului de putere în punctul comun de cuplare (PCC) la rețeaua de distribuție a energiei electrice de c.a., indiferent de direcția în care circulă energia electrică prin cele două convertoare din componența micro-rețelei.

2. Testarea generatorului electric al microturbinei eoliene care va fi

integrată în sistemul de tip "smart grid"

2.1. Considerații generale

Pentru conversia energiei eoliene în energie electrică furnizată rețelei smart-grid de curent continuu s-a optat pentru utilizarea unui generator sincron cu excitație electromagnetică cuplat la o turbină cu ax vertical. Ținând cont de faptul că turbina eoliană considerată pentru cuplarea generatorului este cu ax vertical și funcționează la turații cuprinse între 60-200 rpm, este necesară utilizarea unui multiplicator de turație cu raport de amplificare de 1/10 care să permită funcționarea generatorului într-o gamă superioară de turații de până la 2000 rpm. Excitația electromagnetică este alimentată printr-un controler inteligent care o să varieze curentul de excitație pentru a păstra nivelul maxim de putere extras chiar dacă generatorul va fi antrenat cu turații diferite.

Pentru a simplifica procedura de fabricație, s-a adoptat soluția modificării unui motor asincron trifazat aflat în producția curentă a Electroprecizia Săcele SA.

Cu anumite modificări ale înfășurărilor și prin adăugarea unui sistem de perii și inele colectoare pentru înfășurarea de excitație, s-a realizat în cadrul etapei precedente, un generator electric pornind de la structura unui motor asincron trifazat.

S-a optat pentru varianta de motor MA-AL 90S, 1.1kW la 1410rpm, 3x400V cu 28 de cresături rotorice și deschiderea acestora de 1 mm. Generatorul este prezentat în Figura 25 iar rotorul în Figura 26.





Figura 25. Generatorul electric cu excitație electromagnetică



Figura 26. Rotorul executat și sistemul de inele colectoare

Axul a fost modificat pentru integrarea sistemului de perii și inele colectoare necesar pentru alimentarea înfășurării de excitație. Acest sistem este plasat în exteriorul mașinii electrice, în zona aferentă ventilatorului și este protejat de capacul cu grila de ventilație prevăzut inițial pentru motorul asincron. Rezultă astfel o construcție compactă, care se încadrează în dimensiunile de gabarit ale unui motor standard de tip MA-AL 90S.

2.2. Rezultatele încercărilor efectuate

Pentru realizarea încercărilor necesare s-a utilizat un stand special echipat care antrenează generatorul cu turație variabilă utilizând un motor acționat printr-un convertizor de frecvență. Schema standului de încercări utilizat pentru determinarea mărimilor electro-mecanice specifice mașinilor electrice este prezentată în Figura 27. Mașina electrică de testat se cuplează mecanic la axul unei mașini electrice antrenoare, astfel încat cele două echipamente să fie centrate axial. Pentru antrenarea generatorului este utilizat un motor asincron hexafazat alimentat în sistem trifazat cu $P_n=1.5$ kW, 1415 rpm. În continuare vor fi prezentate, separat:

- aparatele de măsură și montajele electrice utilizate;
- încercările efectuate asupra generatorului cu excitație realizat;
- rezultatele obținute, interpretarea acestora, curbele de variație a diverșilor parametri electrici și mecanici.

Aparatele de măsură utilizate:

• Tester pentru măsurarea izolației: HT7051



- Punte trifazată de redresare cu diode
- Analizor de putere: FLUKE 434
- Sursă duală de putere: PeakTech 6145
- Tahometru DT-1236L
- Invertor Mitsubishi FR-A840
- Multimetru Tektronix DMM 4050



Figura 27. Prezentare schematică a standului de încercări

- CP Calculator de proces;
- INV Invertor trifazat;
- SA Sistem de achiziție date;
- AP Analizor de putere;
- n Traductor de turație;
- MAS Mașina asincronă;
- GS Generator sincron;
- RS Rezistență de sarcină.
- Ie Alimentarea înfășurării de excitație a generatorului;



Figura 28. Pregătirea generatorului pentru testarea pe stand.



Observații privind realizarea încercărilor

Pentru demontarea suportului de perii al generatorului se vor îndepărta pe rând:

- opritoarele periilor pentru a depărta cărbunii de suportul de inele; capacul din spate (opus capătului de ax de antrenat) împreună cu suportul de perii (rulmentul rămâne pe ax);
- șuruburile de prindere al suportului cu piulițele de pe fața înterioară a capacului.

Pentru condiții de exploatare normale se recomandă căderea de tensiune de la nominal la sarcină $\Delta U < 20\%$. În urma finalizării încercărilor pe generator, s-au definit datele tehnice ale produsului care vor fi specificate și în cartea tehnică care va fi furnizată beneficiarului împreună cu produsul.

Parametrii electrici sunt utilizați pentru dimensionarea turbinei eoliene, alegerea unei soluții tehnice adecvate pentru montarea și conectarea corespunzătoare la rețeaua de curent continuu avută în vedere în cadrul proiectului. În urma finalizării încercărilor, s-au definitivat caracteristicile tehnice ale produsului, prezentate în continuare.

Încercarea la funcționarea cu condensatoare cuplate la ieșirea generatorului

Pentru a păstra tensiunea la borne constantă sau într-o gamă restrânsă de valori, curentul de excitație al generatorului va fi ajustat automat printr-un controller inteligent, parte a sistemului de integrare a generatorului în rețeaua de curent continuu.

În vederea creșterii tensiunii de ieșire de pe sarcina de curent continuu (c), s-a considerat introducerea unor baterii de condensatoare la ieșirea a generatorului (a). S-au considerat două tipuri de conexiuni ale condensatoarelor (b), și anume: conexiune stea (Y), Figura 29, respectiv conexiune triunghi (Δ) , Figura 30.



Figura 29. Circuitul electric al generatorului având condensatoare conectate în stea (Y).

Utilizând modele numerice s-a calculat valoarea optimă a condensatoarelor în funcție de tipul conexiunii din Figura 30.





Figura 30. Circuitul electric al generatorului având condensatoare conectate în triunghi (Δ).

Conexiune	Valoare optimă $C [\mu F]$	
С		
stea (Y)	30	
triunghi (Δ)	12	

Tabelul 1. Valoarea optimă a condesatoarelor în funcție de tipul conexiunii.

Utilizând valorile condensatoarelor din Tabelul 1, s-a obținut caracteristica externă măsurată a generatorului în sarcină rezistivă, turație de 1000 [rpm] și excitație constantă, pentru fiecare tip de conexiune, prezentată în Figura 31. De asemenea, s-a obținut curba puterilor în aceleași condiții, Figura 28. Valorile sunt menționate în Anexa 1.



Figura 31. Caracteristica externă a generatorului în sarcină rezistivă și excitație constantă (Iex=1A).



Figura 32. Curba puterilor obținute în funcție de turație cu excitație constantă (Iex=1A).

Pentru protejarea înfășurării de excitație, deoarece aceasta nu are ventilație, s-a conventit ca temperatura maximă a acesteia să nu depășească 100°C. Astfel, rezistența echivalentă estimată prin calcul analitic la acestă temperatură a fost calculată cu relațiile:

$$R_{\nu} = \rho_{\nu} \frac{l_{med}}{s} \tag{1}$$

$$\rho_{\nu} = \rho_{20} [1 + \alpha \cdot (\nu - 20)] \tag{2}$$

$$R_{20} = 32.5 \,[\Omega] \to R_{100} = 42.8 \,[\Omega] \tag{3}$$

Măsurătorile de temperatură ale înfășurării de excitație au fost realizate în conexiune triunghi a condensatoarelor, Figura 30, rezistență de sarcină constantă, $R_s = 294 [\Omega]$ și turație constantă n = 1000 [rpm], Figurile 5–7. Citirea valorilor rezistenței înfășurării de excitație s-a realizat după 3-4 secunde după oprirea sursei de alimentare.



Figura 33. Variația rezistenței de excitație în timp pentru Iex=0.8 [A].









Figura 35. Variația rezistenței de excitație în timp pentru Iex=0.95 [A].



Figura 36. Variația rezistenței de excitație în timp pentru Iex=1 [A].



Figura 37. Variația rezistenței de excitație în timp pentru Iex=1.1 [A].

În urma măsurătorilor Rex = f(t) se confirmă următoarele:

- Curentul nominal prin excitație Iex_n=1 [A] poate fi menținut pe o perioadă îndelungată de funcționare.
- Curentul de suprasarcină prin excitație este Iex = 1.1 [A], pentru durată de funcționare relativ scurtă. După aproximativ 85 minute, termostatul bimetalic, montat pe suprafața capetelor de bobină a înfășurării de excitație a întrerupt circuitul de alimentare. Deși valoarea Rex măsurată la acel moment atingea ~41 ohm (95.8 % din valoarea estimată analitic), temperatura în diferite părti ale generatorului depășește 100°C, neavând ventilație interioară.
- Termostatul protejează înfăsurarea de excitație în cazul încălzirii excesive, însă în condițiile asigurării unei bune ventilații, înfășurarea poate funcționa și la curenți mai mari. Pentru reglarea curentului de excitație cu ajutorul controller-ului electronic este necesară prelevarea temperaturii generatorului în timp real. Dacă aceasta se află în limite de siguranță, atunci generatorul poate fi supraîncărcat, implicit valoarea curentului de excitație poate depăși valoarea de 1.1 A.

2.3. Caracteristici de funcționare ale generatorului electric cu excitație electromagnetică pentru microturbină eoliană

Pentru realizarea generatorului electric cu excitație electromagnetică pentru microturbină eoliană s-a optat pentru modificarea unui motor asincron trifazat varianta MA-AL 90S, 1.1kW; 1410rpm, 3x400V cu 28 de crestături rotorice și deschiderea acestora de 1 mm. Cu anumite modificări ale înfășurărilor rotorice și prin adăugarea unui sistem de perii și inele colectoare pentru înfășurarea de excitație, a rezultat un generator electric cu excitație electromagnetică pornind de la structura unui motor asincron trifazat aflat în producția curentă a Electroprecizia Săcele SA.

Generatorul electric cu excitație electromagnetică pentru microturbină eoliană furnizează tensiune în gama 170V (1000 rpm) – 310V (2000 rpm) și este pretabil injectării în rețeaua de curent alternativ sau curent continuu printr-un controller dedicat.



Pe axul mașinii electrice a fost integrat sistemul de perii și inele colectoare necesar pentru alimentarea înfășurării de excitație. Acest sistem este plasat în exteriorul mașinii electrice, în zona aferentă ventilatorului și este protejat de capacul cu grila de ventilație prevăzut inițial pentru motorul asincron. Rezultă astfel o construcție compactă, care se încadrează în dimensiunile de gabarit ale unui motor standard de tip MA-AL 90S.

Tensiunea maximă de excitație este de 24V cc iar reglajul acesteia va fi asigurat de controller-ul inteligent care va furniza valoarea corespunzătoare a excitației în plaja de turații pentru asigurarea puterii maxime (sistem de tip MPPT – Maximum Power Point Tracking).

Acest generator este adaptabil și se adresează în special unor instalații complexe de alimentare cu energie electrică, de tip smart-grid, care funcționează doar în curent continuu, cu tensiune înaltă și/sau joasă, tensiunea de excitație fiind ușor accesibilă printr-un circuit de 24 de volți, de joasă tensiune.

Caracteristici tehnice ale produsului:

•	putere nominală:	177 W	370 W
•	turație nominală:	1000 rpm	2000 rpm;
•	tensiune nominală:	3 x 170 V	3 x 310 V;
•	Curent nominal de fază:	0,7 A	0,8 A

Generatorul electric cu excitație electromagnetică pentru microturbină eoliană furnizează tensiune în gama 170V (1000 rpm) – 310V (2000 rpm) și este pretabil injectării în rețeaua de curent alternativ sau curent continuu printr-un controller dedicat. Tensiunea maximă de excitație este de 24V cc iar reglajul acesteia va fi asigurat de controller-ul inteligent care va furniza valoarea corespunzătoare a excitației în plaja de turații pentru asigurarea puterii maxime (sistem de tip MPPT – Maximum Power Point Tracking).

Acest generator este adaptabil și se adresează în special unor instalații complexe de alimentare cu energie electrică, de tip smart-grid, care funcționează doar în curent continuu, cu tensiune înaltă și/sau joasă, tensiunea de excitație fiind ușor accesibilă printr-un circuit de 24 de volți, de joasă tensiune.

Generatorul este destinat turbinelor eoliene cu ax vertical sau orizontal și este pretabil injectării în rețeaua de curent alternativ sau curent continuu printr-un controller dedicat. Tensiunea maximă de excitație este de 24V cc.

2.4. Concluzii

Pentru specificațiile impuse prin tema de proiectare a fost realizat un generator electric sincron cu excitație electromagnetică destinat turbinelor eoliene cu ax vertical sau orizontal, pretabil injectării în rețeaua de curent alternativ sau curent continuu printr-un controller dedicat.

În cadrul etapei curente, s-a realizat testarea generatorului electric cu condensatoare cuplate la borne în diferite variante. S-au trasat caracteristica externă și curba de putere în funcționarea cu



condensatoarele cuplate stea și triunghi. S-a determinat, de asemenea, rezistența înfășurării de excitație la diferite temperaturi ale acesteia.

Majoritatea turbinelor eoliene comercializate se livrează împreună cu generatorul dedicat, iar caracteristicile de funcționare specificate se referă la instalația completă. În general, turbinele eoliene sunt dotate cu generatoare sincrone cu magneți permanenți cu tensiune joasă 24/48V (până în 1000 W) și cu tensiune ridicată – 240 Vca, pentru puteri între 1000 – 5000 W.

Generatoarele similare identificate pe piață, au caracteristici diferite de varianta realizată în cadrul INCDIE ICPE-CA și se deosebesc prin faptul că tensiunea furnizată are valori reduse, de până la 24V/48V iar excitația este asigurată de magneți permanenți de tip NdFeB. Aceste generatoare de putere redusă se pretează utilizării cu controllere de joasă tensiune care asigură protecția la depășirea tensiunii și pot alimenta consumatori de putere mică (iluminat public, transmisie date) sau pot încărca acumulatori pentru sisteme off-grid izolate.

Creșterea eficienței conversiei energiei eoliene poate fi asigurată prin utilizarea unui generator electric cu excitație electromagnetică ce poate fi variată pentru furnizarea nivelului maxim de putere într-o gamă variată de turații ale rotorului turbinei eoliene. Prețul produsului este mai scăzut comparativ cu generatoarele clasice pentru că nu utilizează magneți permanenți de tip NdFeB.

3.Circuite de măsurare

3.1. Circuitul de măsurare a tensiunii efective

O componentă esențială pentru un management eficient al rețelei inteligente este circuitul de măsură al tensiunii efective al rețelei. Această măsurătoare este necesară deoarece în rețeaua de curent alternativ sunt prezente echipamente cu electronică de putere care pot introduce o putere deformantă, perturbând astfel tensiunea care avea inițial o formă sinusoidală. Un astfel de circuit oferă o valoare precisă a mărimii efective a tensiunii, mărime ce este direct proporțională cu puterea activă.

Aceste tipuri de circuite poate fi realizat fie digital, prin calculul direct al mărimii efective, fie analogic, utilizând un circuit integrat specializat. Metoda din urmă a fost aleasă datorită performanțelor bune obținute cu un cost redus. Circuitul integrat ales, AD8436 are structura bloc prezentată în Figura 38, și principalele caracteristici în Tabelul 2. Acest circuit oferă o valoare continuă în funcție de valoarea mărimii efective de la intrare.





Figura 38. Schema bloc a circuitului integrat AD8436 [1].

Tabelul 2. Caracteristici	principale ale	e circuitului int	egrat AD8436.
---------------------------	----------------	-------------------	---------------

Element	Valoare	Unitate	Observație	
Precizie	±10	μV	±0.25%	
Gama de intrare	100e-6 3	V	RMS	
	280e-6 8.5	V	peak to peak	
Lățimea de bandă	1	MHz	-3dB / 300mV	
	65	kHz	precizie 1%	
Factor de creastă	10			
Consum	300	μA	alimentare la ±2.4V	
Impedanță de intrare	>10 ¹² /<2	Ω / pF	utilizând bufferul de intrare	
Gama tensiunii de	±2.4 ±18	V	alimentare diferențială	
alimentare	4.8 36	V	alimentare simplă	

Acest circuit are o precizie ridicată ce se extinde pe o gamă largă de tensiuni de intrare, și factori de creastă de până la 10. Nu necesită realizarea unui program software specializat, iar dimensiunile reduse îl fac să fie ușor de inclus în spații restrânse. Amplificatoarele interne îi permit circuitului să obțină o impedanță mare la intrare și o impedanță redusă la ieșire. Schema electronică de bază a acestui circuit este prezentată în Figura 39 și aceasta conține următoarele componentele adiționale necesare pentru configurarea circuitului AD8436:

- Condensatoare de intrare pentru eliminarea componentei continue
- Condensator CAVG pentru medierea patratului mărimii de intrare
- Condensator CLPF de filtrare a mărimii calculate
- Condensator CCF pentru ajustarea calculului în funcție de factorul de creastă



Figura 39. Schema de bază a circuitului de măsură.

Schema de bază din Figura 39 este implementată în Figura 40, având unele elemente configurabile. Astfel, bufferul de intrare (R2-R7, R14) și ieșire (R8-R13, R15) poate fi utilizat sau nu, iar un filtru suplimentar de ieșire poate fi adăugat dacă este necesar. Divizorul de intrare este configurat pentru ca circuitul să se conecteze la tensiuni obișnuite ale rețelei de 230Vca.

Schema principală se completează cu schema circuitelor de alimentare și de izolare galvanică prezentate în Figura 41. Aceste circuite se alimentează la tensiunea de 24V, care este mai apoi redusă la 15V și 5V cu ajutorul celor două regulatoare liniare U2 și U3. Circuitul U4 realizează un convertor push-pull împreuna cu transformatorul T1 și diodele D2 și D3. Circuitul analogic de izolare galvanică, U6, oferă o tensiune identică cu cea de la intrare, dar cu ieșire diferențială. Amplificatorul de diferență cu factor de amplificare de 10, realizat cu U7, primește tensiunea diferențială de la U6 și o trimite spre conectorul de ieșire, oferind o tensiune în gama de 0-10V. Convertorul push-pull se ocupă de alimentarea circuitului U6, în partea secundară, și a circuitului de măsurare a mărimii efective.

Cablajul imprimat, având modelul prezentat în Figura 42, este realizat pe două straturi cu componente SMD, având dimensiuni reduse de 10x2cm. Lista componentelor necesare asamblării prototipului, este prezentată în Tabelul 3.





Figura 40. Schema principală a circuitului de măsură.





Figura 41. Schema circuitelor adiționale de izolare galvanică și alimentare a circuitului principal.



Figura 42. Vedere 3D a prototipului circuitului.

U

ID	Name	Designator	Footprint	Parts	Manufacturer Part	Manufacturer	Supplier	Supplier Part
1	10u	C1,C15	C0805	2				Tart
2	1.5u	C2	C0603	1				
3	4.7u	C3,C19,C20	C0805	3				
4	0.47u	C5	C0805	1				
5	3.3u	C6	C0805	1				
6	2.2u	C7	C0603	1				
7	0.1u	C8,C10,C12,C17,C21,C22,C23	C0603	7				
8	10u	C4,C9	CASE-A_3216	2	TMCUA1A106KTRF	Vishay	Farnell	2491446
9	1u	C11,C13,C14,C16,C18	C0805	5				
10	1n	C24	C0603	1				
11	SMBJ26A	DI	SMB_L4.6-W3.6-LS5.3-R- RD	1	SMBJ26A	RUILON	LCSC	C10216
12	MBR0520LT1G	D2,D3	SOD-123_L2.8-W1.8-LS3.7- RD	2	MBR0520LT1G	ON	LCSC	C23848
13	S6125-F-7.0A	F1	FUSE-SMD_L6.1-W2.6	1	S6125-F-7.0A	SART(Nanjing Sart Tech)	LCSC	C553944
14	CONN-TH_2P- P5 00	P1	CONN-TH_2P-P5.00	1		batt room	LCSC	
15	CONN-TH_3P- P5 00	P2	CONN-TH_3P-P5.00	1			LCSC	
16	10M	R1	R0603	1				
17	!R3	R2	R0603	1				
18	0R	R3,R4,R5,R8,R9,R11,R13,R14	R0603	8				
19	DNP	R6,R7,R15	R0603	3				
20	!R9	R10	R0603	1				
21	8.06k	R12	R0603	1				
22	330k	R16,R17,R18	R1206	3				
23	3.3k	R19	R0603	1				
24	10k	R20,R21	R0603	2				
25	100k	R22,R23	R0603	2				
26	760390014	T1	TOROID_SMD_6PIN_(1109)	1				
27	AD8436ARQZ	U1	QSOP-20_L8.7-W3.9-P0.64- LS6.0-BL	1	AD8436ARQZ	Analog Devices	LCSC	C578725
28	TLV76015DBZT	U2	SOT-23-3_L2.9-W1.3-P1.90- LS2 4-BR	1	TLV76015DBZT	TI	LCSC	C133564
29	TLV70450DBVR	U3,U5	SOT-23-5_L3.0-W1.7-P0.95- LS2 8-BR	2	TLV70450DBVR	TI	LCSC	C91672
30	SN6501DBVR	U4	SOT-23-5_L3.0-W1.7-P0.95- L S2 8-BR	1	SN6501DBVR	TI	LCSC	C49451
31	AMC1311DWVR	U6	SOP-8_L7.5-W5.9-P1.27-	1	AMC1311DWVR	Texas	LCSC	C456277
32	LM358ADGKRG4	U7	SOP8	1	LM358ADGKRG4	TI	LCSC	C111855
I								

3.2. Circuitul de măsurară în curent continuu pentru tensiune și curent

Un alt aspect important pentru un management eficient al rețelei este reprezentat circuitul de măsură în curent continuu pentru tensiune și curent. Importanța circuitului de măsură este dat de faptul că în modulul experimental distribuția energiei se face în curent continuu, rezultând necesitatea cunoașterii unor mărimi electrice care facilitează un management eficient al energiei. Un astfel de circuit oferă o valoare precisă a tensiunii și a curentului.

Circuitul de măsură este format din circuite integrate și surse de tensiune izolate sau neizolate galvanic. Circuitul de alimentare, care preia tensiunea de 24V este prezentată în Figura 43, acest circuit este format dintr-o parte de protecție alcătuit din dioda D4 și siguranța F1, siguranța fiind adaugată pentru protecția la scrutcircuit iar dioda reprezintă protecția la supratensiune, a doua parte a circuitului este constituită din două regulatoare liniare de tensiune utilizate pentru asigurarea tensiunilor de alimentare constante de 15V și 5V.



Figura 43. Circuit de alimentare 24V.

Un alt circuit este prezentat în Figura 44, acesta este alcătuit dintr-o sursă de tensiune izolată galvanic, fiind necesară realizării circuitului de măsură a tensiunii de pe bus-ul de 350V. Circuitul integrat U4 împreună cu transformatorul T1 și diodele D2 și D3 realizează un convertor de tip pushpull.



Figura 44. Sursa de tensiune izolată galvanic.



Măsurarea tensiunii de pe bus-ul de 350V este realizat cu ajutorul circuitului analogic de izolare galvanică U2 care are o ieșire diferențială, aceasta fiind egală cu tensiune de pe intrarea izolată galvanic. Pentru a aduce tensiunea în domeniul acceptat la intrarea analogica de către LOGO (0-10V) se folosește amplificatorul operațional de diferență IC2 cu un factor de amplificare de 3.83.



Figura 45. Masuratoare de tensiune 350 V / 24 V.

Pentru măsurarea tensiunii pe bus-ul de 24V se folosește divizorul rezistiv format din R13 și R16, fară a fi necesară izolarea galvanică datorită tensiunii de alimentare care este indentică cu tensiunea folosită pentru alimentarea releelor de tip LOGO. Iar pentru a activa aceasta masuratoare rezistenta R15 trebuie populată.

Măsuratoarea de curent este realizata cu ajutorul senzorului de curent bidirecțional LEM din seria CKSR, structura bloc a acestuia este prezentată în Figura 46 iar principalele caracteristici a senzorului sunt prezentate în Tabelul 4.



Figura 46. Schema bloc a senzorului de curent LEM CKSR.



Tabelul 4. Caracteristici LEM CKSR.

Element	Valoare	Unitate	Observație
Precizie	0.8	%	La o temperatura maxima de 85
			C
Lățimea de bandă	300	kHz	-3dB
Eroare de liniaritate	0.1	%	
Consum	15	mA	
Gama de masurare	-51 - 51	А	CKSR 15-NP
	-85 - 85		CKSR 25-NP
	-150 - 150		CKSR 50-NP
Gama tensiunii de	4.75 - 5.25	V	
alimentare			
f	•		·

Schema implementată pentru masurătoarea de curent folosind senzorul LEM este prezentată în Figura 47. Folosirea amplificatorului diferențial IC2_1 este necesară pentru a aduce ieșirea senzorului de curent (0-5V) in gama intrării analogice (0-10V) acceptată de către LOGO.



Figura 47. Măsuratoare Curent DC.

Referința de tensiune folosită din Figura 48, a fost adăugată deoarece este necesară cunoașterea sensului curentului, iar circuitul integrat are nevoie de un punct de referință fix de 5V acesta reprezentând un curent de 0 A.





Figura 48. Referință de tensiune.

Privirea de ansamblu a circuitelor folosite pentru a realiza măsurătoriile de tensiune și curent în DC este prezentată în Figura 49.



Figura 49. Schema pentru măsurarea tensiunii și a curentului.

Cablajul imprimat, prezentat în Figura 50 și Figura 51 este realizat pe două straturi cu componente SMD și THT, dimensiunea cablajului este de 83mm x 48mm.





Figura 50. Proiectarea cablajului imprimat.



Figura 51. Execuția cablajului imprimat.

3.3. Bibliografie

[1] "AD8436 Datasheet and Product Info | Analog Devices." https://www.analog.com/en/products/ad8436.html# (accessed Jun. 17, 2021).



4.Turbina eoliana

Având în vedere puterea instalată în experimentarium și suprafața disponibilă pentru aceasta, o turbină eoliana cu ax vertical cu o putere de 600W la tensiunea de 24V a fost aleasă în acest scop. Caracteristicile de achiziție ale acestei turbine sunt prezentate în Tabelul 5 iar caracteristicile tehnice sunt prezentate în

Tabelul 6. Aceasta funcționează pe o gamă largă de viteze unghiulare, începând de la cea de pornire, de 1m/s, până la viteza maximă de 65m/s, având un zgomot redus, de sub 25dB (viteza de 7m/s, măsurat la o distanță de 10m). Aceasta poate funcționa în condiții de mediu diversificate si pe o plajă largă de temperaturi. Generatorul este unul trifazat, iar controllerul realizează o conexiune în scurtcircuit pentru a frâna turbina.

Curba de dependență a puterii în funcție de viteza vântului este prezentată în Figura 52. O fotografie a turbinei este prezentată în Figura 53, iar detaliile mecanice ale acesteia sunt prezentate în Figura 54 cu descrierea în Tabelul 7. Dimensiunile de prindere ale turbinei sunt prezentate în Figura 55.

Nr.	Caracteristică	Valoare
1	Model	WKV-600
2	Viteză de pornire	1m/s
3	Pachet de transport	OSB
4	Origine	China
5	Certificări	CE, RoHS
6	Zgomot	<25dB
7	Cod HS	85023100

Tabelul 5. Caracteristici de achiziție ale turbinei eoliene.

Tabelul 6. Caracteristicile tehnice ale turbinei eoliene WKV-600.

Nr.	Caracteristica Tehnica	Valoare	Unitate
1	Putere nominală	600	W
2	Dimensiuni (înălțime / diametru)	1.32 / 1.32	m
3	Material pale	aliaj aluminiu	-
4	Viteză de pornire	1	m/s
5	Viteză minimă de generare de putere	2	m/s
6	Viteză nominală	12	m/s
7	Viteză maximă de generare de putere	15	m/s
8	Viteză maximă nedistructivă	65	m/s
9	Tip generator	3 faze c.a.	-
10	Tensiune de ieșire controller	24	V
11	Tip de frânare controller	scurticuit pe 3 faze	-
12	Temperatura ambientală de funcționare	-30 ~ 50	°C





Figura 52. Caracteristicile putere-viteză ale turbinei.



Figura 53. Fotografie a modelului de turbină.





Figura 54. Elemente mecanice ale turbinei.



Figura 55. Flanșa de prindere a turbinei.

Tabelul 7. Caracteristicile mecanice ale turbine	i.
--	----

Componenta	Descriere
А	Paratrăsnet
В	Pale Savonieus de tip S
С	Pale Darrieus cu formă aerodinamică
D	Generator trifazat cu magneți permanenți
Е	Suport inferior de prindere pale Darrieus
F	Amortizor
G	Suport superior de prindere pale Darrieus
Н	Cablul de conexiuni al generatorului



5.Iluminarea în încăperile modelului experimental

Pentru a reduce consumul energetic necesar iluminării, eficiența de iluminare și costul de mentenanță al corpurilor de iluminat, s-a utilizat iluminarea cu LED-uri. Pentru aceeași iluminare, acestea emană o cantitate de căldură redusă în comparație cu lămpile incandescente, nu produc un efect stroboscopic prezent în iluminatul cu lămpi fluorescente și sunt mult mai eficiente decât ambele tipuri. Conținutul de substanțe toxice este de asemenea redus, în comparație cu cele din urmă, lămpile cu descărcare în vapori de mercur.

Având în vedere caracteristicile ridicate ale iluminării cu LED s-au folosit două tipuri de benzi cu led alimentate la rețeaua de 24V, prezentate în Tabelul 8 și Tabelul 9, pentru cele două încăperi ale modulului experimental. Datorită alimentării directe la rețeaua de 24V, fiabilitatea, eficiența și costul iluminării scade, deoarece se elimină circuitele electronice de alimentare ale acestora, acestea fiind de obicei integrate în fiecare corp de iluminat.

S-au folosit două tipuri diferite de benzi pentru a putea compara caracteristicile diferite ale acestora. În primul caz s-a testat o bandă convențională ce utilizează leduri discrete de tip SMD2216, obținând o eficacitate luminoasă medie, și un unghi al fasciculului luminos cu o valoare întâlnită în mod comun, de 120 grade. Datorită dimensiunilor ledului de 2.2 x 1.6 mm, dimensiunea benzii reiese de 4 x 1.95mm, după cum se poate observa în Tabelul 8.

Nr.	Caracteristica Tehnica	Valoare	Unitate
1	Flux luminos nominal	680-760	lm/m
2	Putere electrică	9.6	W
3	Eficacitate luminoasă	75-84	lm/W
4	Temperatură de culoare	4000	K
5	Tensiunea de alimentare	24	V
6	Număr led-uri	180	-
7	Tip led	SMD2216	-
8	Unghi fascicul luminos	120	Grade
9	Durată de viață	50 000	Ore
10	Clasă de protecție	IP20	-
11	Cod produs producător	F2216N/WW2216-180	-
12	Dimensiuni	5000 x 4 x 1.95	mm
13	Garanție	60	Luni
14	Clasă energetică	A+	

Tabelul 8. Caracteristicile tehnice ale benzii de iluminat F2216N/WW2216-180

În cel de-al doilea caz s-a ales o banda de leduri COB (chip on board), care pot să obțină caracteristici mai bune din punct de vedere al dimensiunilor, eficienței luminoase, difuziei luminii și



a costului. Astfel, având o înălțime redusă, de 1.2mm, această bandă produce o putere cu 50% mai mare și o eficiență luminoasă cu 10% mai bună. Datorită unghiului fascicolului luminos și a densității mari de leduri pe suprafață, această bandă de leduri poate fi utilizată fără a fi necesar un dispersor/difuzor de lumină. În plus, aceasta deține și un indice de redare al culorii mărit, de peste 94.

Nr.	Caracteristica Tehnica	Valoare	Unitate		
1	Flux luminos nominal	1365	lm/m		
2	Putere electrică	15	W		
3	Eficacitate luminoasă	91	lm/W		
4	Temperatură de culoare	4000	К		
5	Tensiunea de alimentare	24	V		
6	Număr led-uri	480	-		
7	Tip led	COB LED	-		
8	Unghi fascicul luminos	170	Grade		
9	Durată de viață	50 000	Ore		
10	Clasă de protecție	IP20	-		
11	Cod produs producător	-	-		
12	Dimensiuni	5000 x 10 x 1.2	mm		
13	Garanție	36	Luni		
14	Clasă energetică	A+			
15	Indice de redare al culorii	>94			

Tabelul 9. Caracteristicile tehnice ale benzii de iluminat COB.

Alte accesorii necesare pentru montarea acestor benzi sunt profile de LED aparente și capete de profile realizate din aluminiu anodizat. Pentru ca consumul să fie redus suplimentar, un senzor de prezență cu microunde este utilizat.

6.Sistemul SCADA

6.1. Arhitectura sistemului SCADA

Arhitectura sistemului SCADA este de tip "arhitectură deschisă" pentru a permite integrarea tuturor echipamentelor, de la producători diferiți, utilizate în cadrului modelului experimental. Este un sistem bidirecțional, care permite atât monitorizarea, achiziția și stocarea datelor provenite de la stația de măsură, cât și controlul elementelor de execuție și a fluxului de energie. S-a utilizat un protocol de comunicație standardizat, Modbus TCP/IP, utilizând rețeaua de Ethernet, ceea ce permite conlucrarea cu alte aplicații realizate pe sisteme deschise care au același protocol de comunicație implementat sau prin utilizarea unui OPC Server.



În etapa precedentă a proiectului s-a dezvoltat interfața SCADA utilizând platforma de dezvoltare SIEMENS - Logo Web Editor V1.0. Aplicația SCADA rulează pe două relee inteligente utilizate în cadrului stației de măsură. Stocarea datelor este realizată intern, pe relee inteligente, utilizând mai multe carduri micro SD, separat de aplicația SCADA. Astfel, dacă din anumite motive tehnice se oprește aplicația SCADA, stocarea datelor nu este afectată. În această configurație, accesul sistemului scada se face printr-un browser web, accesând adresa IP asignată releului pe care rulează aplicația scada. Datele sunt stocate și indexate în fișiere cu extensia .csv, cu o lungime maximă de 20000 de rânduri, după care se crează un alt fișier. Numele fișierelor este compus din adresa IP a releului, data și ora la care acesta a fost creat. Datele stocate, se pot descărca utilizând interfața de programare a releelor inteligente, LOGO! Soft Comfort V8.2 SP1. Conexiunea se realizează pe rețeaua ethernet fără a fi necesară o legătură directă, pe un cablu dedicat, între PC și releul deservit. Dacă sunt mai multe fișiere create, pentru descărcarea lor, este necesară retragerea cardului micro SD din releu și introducerea acestuia într-un PC. Din aplicația de programare se poate accesa doar ultimul fișier creat.

Considerând aspectele descrise mai sus și dat fiind faptul că, releu inteligent operează pe 16 biti, numere întregi, s-a dezvoltat o nouă aplicație SCADA care permite integrarea diverselor funcții matematice (interpolare liniară, interpolare exponențială, interpolare logaritmică, calcul valoare efectivă, calcul valoare medie, funcția integrală numerică, Transformata Fourier-FFT, etc.) pentru prelucrarea datelor. Aplicația rulează pe o unitate desktop dedicată. Datele sunt achiziționate folosind același protocol standardizat, Modbus TCP/IP, rețeaua de comunicație ethernet. Achiziția datelor se face de la stația de măsurare și sunt stocate în fișiere de tip txt pe unitatea hard a PC-ului. La cererea operatorului acestea se pot accesa, în funcție de perioada de timp setată și se pot exporta în fișiere de tip excel. S-a păstrat aplicația SCADA dezvoltată pe platforma precedentă. Aplicațiile SCADA sunt separate și funcționarea acestora nu este condiționată de întreruperea uneia dintre ele, asigurându-se astfel redundanță.

6.2. Aplicația SCADA II

Aplicația SCADA II, a fost dezvoltată utilizând platforma NI Labview 2021 (32-bit). S-a păstrat arhitectura deschisă pentru posibilitatea de integrare a viitoarelor echipamente sau aplicații software. Din mediul de dezvoltare, aplicația a fost convertită într-un fișier executabil cu posibilitatea de reconversie sau portabilitate, dacă este cazul.

6.3. Dezvoltare aplicație SCADA – Platforma NI Labview

Aplicația SCADA II, a fost dezvoltată utilizând platforma NI Labview 2021 (32-bit). Platforma are integrată implicit librăria de Modbus API, astfel nu este necesară utilizarea unui OPC Server pentru comunicație.



Comunicație Modbus TCP/IP - Labview

În Figura 56 este prezentată comunicația dezvolatată în Labview pentru un singur slave (Releu Inteligent). Blocul "Create Modbus Instance.vi" este utilizat pentru pentru a creea un master care interoghează slave-ul definit la adresa IP și portul specificat. Dacă slave-ul nu răspunde în perioada de timp definită la "connect timeout ms", instanța va genera o eroare de comunicație. Această instanță este folosită doar pentru accesarea slave-ului, pentru a achiziționa date din acesta se definește blocul/instanța "Read Holding Registers.vi" care accesează regiștrii din slave. Se definește adresa primului registru și numărul de registrii care urmează să fie achiziționați. Numărul primului registru trebuie să fie corespondent cu numărul registrului setat în slave. Datele achiziționate din regiștrii slave-ului sunt introduse într-un vector coloană din care sunt preluate și afișate în funcție de indexul setat. Rata de achiziție a regiștrilor este dată de valoarea setată la ciclul de execuție a buclei while, 500ms pentru exemplul din Figura 56. Întreruperea comunicației este realizată cu blocul "Shutdown.vi", dacă se apasă butonul stop sau este generată o eroare. De asemenea instanța Modbus este eliberată de fiecare dată când se va schimba adresa slave-ului de la care se face achiziția. Au fost definite condiții de comunicație pentru a evita posibilele conflicte de date. Schimbarea adresei IP nu este executată, decât dacă se primește confirmarea întreruperii comunicației cu slave-ul activ.



Figura 56. Comunicație Modbus TCP/IP – Labview.

Stocarea datelor în fișiere cu extensia .txt – Labview

Datele achiziționate de către aplicația SCADA, folosind exemplul de comunicație din Figura 56, sunt stocate și indexate în fișiere cu extensia .txt (Figura 57). Se setează calea directorului în care vor fi salvate fișierele.



Figura 57. Stocarea datelor în fișiere cu extensia .txt – Labview.

Blocul "Path" (Figura 58) verifică dacă directorul există sau în caz contrar va crea un nou director și va returna calea și numele acestuia. Următoarea etapă este constituită din achiziția mărcii temporale de pe unitate desktop și definirea titlurilor de colană necesare pentru indexarea datelor. Blocul "Create" (Figura 59), este destinat pentru crearea fișierelor cu extensia .txt și verificarea existenței unui fișier creat în prealabil. Denumirea fișierelor este formată din sintaxa "History", urmată de indexarea datei (an, lună, zi) în care s-a creat. Se generează un nou fișier în fiecare zi pentru a evita pierderea datelor pe perioade largi de timp. Dacă se întrerupe alimentarea cu energie electrică, la revenirea acesteia se va continua stocarea datelor în fișierul existent.



Figura 58. Verificarea/Crearea directorului History - Labview.



Figura 59. Verificare/Creare fișier cu extensia .txt - Labview.

În urma parcurgerii etapelor descrise anterior, dacă nu există nicio eroare cauzată de acestea, se va accesa structura "Case" (Figura 57) aferentă scrierii datelor în fișierul txt. Pentru salvarea și indexarea datelor în fișier se utilizează blocul "Write" (Figura 60). Primele două coloană este decată indexului, care se incrementează cu o unitate la fiecare achiziție. A doua coloană este dedicată mărcii temporale aferente momentului de timp în care se face achiziția. Datele sunt stocate începând cu coloana a treia. Se vor crea un număr de coloane aferent lungimii vectorului în care sunt stocate datele. Fiecare achiziție și stocare de date este confirmată după care se reia procesul. Dacă un ciclul de stocare se finalizează cu eroare se va trece la următorul ciclu pentru continuarea achiziției și se va semnala indexul și marca temporală la care s-a produs evenimentul de eroare.



Figura 60. Stocarea datelor în fișier - Labview.

Importarea datelor din fișiere cu extensia .txt – Labview

Aplicația SCADA permite importarea datelor din mai multe fișierele cu extensia .txt create anterior și examinarea acestora sub formă de trenduri grafice pe o perioadă de timp definită sau exportarea într-un singur



fișier de tip excel pentru portabilitatea ușoară a acestora (Figura 61). Se setează din interfața grafică perioada de timp pe care se dorește importarea datelor și se apasă butonul "Import". Se va verifica în prima etapă dacă perioada de timp este corectă, după care se va verifica dacă sunt disponibile fișiere cu date pe această perioadă. Dacă nu este generată nicio eroare aferentă primelor verificări se va prelua fiecare fișier și se vor importa datele din acestea, în ordine cronologică, într-o singură matrice de date. Afișarea trendurilor și exportarea datelor se face accesând matrecea creată. Asignarea datelor în trenduri diferite se va execută pe bază de index de rând și coloană.



Figura 61. Importarea datelor din fișiere cu extensia .txt - Labview.

6.4. Proiectarea grafică a interfeței SCADA II – Platforma NI Labview

Proiectarea interfeței grafice a aplicației SCADA II s-a realizat pe aceeași platformă utilizată pentru dezvoltare (NI Labview). Interfața grafică este alcătuită din mai multe ferestre (ecrane), care pot fi accesate din meniul destinat navigării între acestea, situat pentru fiecare fereastră în partea stânga-sus. În Figura 62, este prezentată fereastra "Home", care este deschisă la prima accesare a aplicației SCADA. În această fereastră este afișat fluxul energetic al modulului Experimentarium, producția zilnică pentru fiecare sursă de energie regenerabilă. Pentru fiecare consummator, echipament de distribuție și sursă de energie se afișează puterea activă instantanee vehiculată.

Zona "Human Presence" indică prezența activă a unei persoane în laboratorul Experimentarium. Zona "Light Control", permite controlul de la distanță a iluminatului cu LED, repartizat pe parter și etaj. Culoarea albastră a butonului, confirmă transmiterea informației și executarea acesteia de către echipamentul final.

În partea dreaptă a ferestrei se afișează, separat pe fiecare sursă, următoarele:

- producția zilnică de energie electrică
- nivelul de putere procentual raportat la valoarea nominală
- Statusul ON/OFF, semnalizat prin led-ul verde sau roșu situat în stânga sus.





Figura 62. Fereastra SCADA "Home" - Labview.

Fereastra "Electrical" prezintă schema electrică bloc a laboratorului 'Experimentarium" și valorile efective de curent și tensiune aferente fiecărui echipament, sursă de energie și rețelelor de distribuție. De asemenea se indică statusul fiecărui echipament: Active, Standby sau Inactive.

Semnificația statusurilor:

- Active echipamentul este în starea de funcționare și valoarea curentului este mai mare de 0.05A;
- Standby echipamentul este în starea de funcționare dar valoarea curentului este mai mică, în modul, de 0.05 A;
- Inactive echipamentul este în stare oprită sau nu există comunicație cu acesta.

Zona HBDC Control este destinată convertorului bidirecțional de curent continuu, dintre rețeaua de joasă tensiune (24V, curent continuu) și rețeaua de tensiune ridicată (350V curent continuu). Butonul ON/OFF permite introducerea sau retragerea convertorului din funcționare. Butonul Mode, selectează regimul de funcționare al convertorului, Manual/Automat. În regimul automat, convertorul va prelua referințele de tensiune setate pentru ambele rețele din interfața SCADA și vor fi prelucrate de regulatoarele interne în limita de putere nominală a acestuia. Spre exemplu, dacă sunt setate referințele din Figura 63, convertor va furniza energie spre rețeaua de tensiune ridicată dacă valoarea tensiunii de pe rețeaua de joasă tensiune este mai mare de 24.5V și valoarea tensiunii de pe rețeaua



de tensiune ridicată este sub valoarea de 350V. În caz contrar, se va vehicula energie spre rețeaua de joasă tensiune deorece aceasta este considerată prioritară.

Zona din partea dreapta-jos a ferestrei este destinată reprezentării grafice, pe o perioadă de timp definită, a parametrilor de interes. Se poate face importarea istoricului și reprezentarea grafică a acestuia precum și exportarea datelor într-un fișier de tip excel.



Figura 63. Fereastra SCADA "Electrical" – Labview.

În continuare sunt prezentate câteva dintre ferestrele (Figura 64 - Figura 66) destinate stației de măsură pentru senzorii de temperatură, umiditate și dioxid de carbon. Acestea sunt similare cu cele din aplicația SCADA I. În plus s-a introdus obțiunea de reprezentare grafică a istoricului de măsurători și exportarea acestuia într-un fișier de tip excel. De asemenea, trendul afișează și valorile momentane ale senzorilor. Selecția se face utilizând iconița din partea dreapta-sus a trendului.





SOUTH Facade



Figura 65. Fereastra SCADA "SOUTH Facade" - Labview.





Figura 66. Fereastra SCADA "FLOOR" – Labview.



Nr. Crt.	n [rpm]	f [Hz]	R_sarc _DC [ohm]	U_ex [V]	I_ex [A]	U_L_1 [V]	I_f_1 [A]	PA [W]	Q [VAR]	S [VA]	Pf [-]	dU [%]	U_DC [V]	I_DC [A]	P [W]
C=30 [uF] (Y)															
1	100 6	33. 533	1E+ 07	32. 5	1	272 .5	0	0			0	100	367	0	0
2	100 3	33. 433	345	33. 2	1	246	1.27	308 .5	444 .5	541	0. 57	9.725	328	0.8 4	278. 8
3	100 5	33. 5	330	33. 2	1	241	1.27 5	315 .2	429 .1	532 .4	0. 59	11.56	321	0.8 5	278
4	100 4	33. 467	293	33. 7	1	234	1.3	329	413 .8	528 .7	0. 62	14.12 8	312	0.9 2	287. 04
5	100 1	33. 367	271	33. 9	1	228	1.32	336	401	523	0. 94	16.33 1	304	0.9 7	294. 88
C=12 [uF] (Δ)															
6	100 6	33. 533	1E+ 07	33. 3	1	282 .5	0	0			0	100	380	0	0
7	100 6	33. 533	342	33. 6	1	250	1.44	325 .5	535	626 .4	0. 52	11.50 4	334	0.8	267. 2
8	100 1	33. 367	330	34. 2	1	248 .5	1.45	333 .2	532 .1	627 .8	0. 53	12.03 54	333	0.8 8	293. 04
9	100 4	33. 467	289	34. 5	1	237	1.46	345 .3	489	598 .6	0. 58	16.10 62	315	0.9 6	302. 4
10	100 0	33. 333	271	34. 9	1	230	1.45	342 .7	469 .5	581 .2	0. 59	18.58 5	307	0.9 7	297. 79

Anexa 1. Valorile parametrilor electrici obtinuți la funcționarea în sarcină pentru turația de 1000 rpm, cu excitație constantă