

**CONDUCEREA ȘI SUPRAVEGHEREA
SISTEMELOR ELECTROENERGETICE.
SIMULATOARE SOFTWARE ȘI FIZICE**

Florina SCARLATACHE
Gheorghe GRIGORAȘ

**CONDUCEREA ȘI SUPRAVEGHEREA
SISTEMELOR ELECTROENERGETICE.
SIMULATOARE SOFTWARE ȘI FIZICE**

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Ion Triștiu
Universitatea "Politehnica" București

Conf. dr. ing. Ovidiu Ivanov
Șef lucr. dr. ing. Bogdan-Constantin Neagu
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași

Tehnoredactare computerizată:

Florina Scarlatache
Gheorghe Grigoraș

„Oamenii de știință visează să facă lucruri mărețe. Inginerii le fac.”

James A. Michener

Semper ad meliora. – Întotdeauna spre lucruri mai bune!

CUPRINS

PREFAȚA 11

PARTEA 1. SIMULATORUL SOFTWARE SIMULINK-MATLAB..... 13

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE ÎN SIMULINK-MATLAB..... 15

- 1.1. Prezentare generală..... 15
- 1.2. Particularități ale Simulink-Matlab..... 16
- 1.3. Lansarea în execuție..... 18
- 1.4. Crearea și salvarea modelelor..... 22
- 1.5. Simularea unui model construit în Simulink-Matlab..... 24
- 1.6. Aplicații..... 25

**CAPITOLUL 2. SIMULINK-MATLAB ÎN SIMULAREA ȘI ANALIZA
REGIMURILOR SEE..... 27**

- 2.1. Sisteme numerice. Semnale și informații în SEE..... 27
 - 2.1.1. Interacțiunea cu procesul..... 28
 - 2.1.2. Semnale și informații..... 30
 - 2.1.2.1. Semnale..... 30
 - 2.1.2.2. Generarea funcțiilor..... 31
 - 2.1.3. Generarea semnalelor în Simulink-Matlab..... 34
 - 2.1.4. Aplicații..... 38
- 2.2. Achiziția datelor în SEE..... 39
 - 2.2.1. Amplificatoare operaționale 40
 - 2.2.2. Filtre numerice..... 41
 - 2.2.3. Multiplexoare..... 42

2.2.4. Demultiplexoare.....	43
2.2.5. Transformări ale semnalelor.....	44
2.2.5.1. Eșantionare și reconstrucție.....	45
2.2.5.2. Teorema eșantionării.....	45
2.2.6. Convertoare analog-numerice și numeric-analogice.....	46
2.2.7. Schema unui sistem de achiziție a datelor în Simulink-Matlab.....	47
2.2.8. Aplicații.....	50
2.3. Biblioteca SimPowerSystems din Simulink-Matlab.....	51
2.3.1. Prezentarea generală.....	51
2.3.2. Construirea modelelor de simulare.....	52
2.3.3. Construirea modelului pentru simularea unui circuit electric.....	55
2.3.4. Aplicații.....	56
2.4. Modelarea și simularea unui SEE.....	57
2.4.1. Etapele modelării unui SEE cu 3 noduri.....	57
2.4.2. Aplicații.....	63
PARTEA 2. SIMULATORUL POWERWORLD.....	65
CAPITOLUL 3. SIMULATORUL POWERWORLD.....	67
3.1. Prezentare generală.....	67
3.2. Caracteristici ale simulatorului PowerWorld.....	68
3.2.1. Construirea modelelor asociate componentelor unui SEE.....	69
3.2.2. Modelarea și simularea unui SEE cu 3 noduri.....	71
3.2.3. Aplicații.....	78
3.3. Conducerea operativă a unui SEE.....	78
3.3.1. Scopul conducerii prin dispecer a SEN.....	79
3.3.2. Modelarea și simularea regimurilor de funcționare ale SEE.....	80
3.3.3. Aplicații.....	82
3.4. Conducerea operativă a micro-rețelelor.....	82
3.4.1. Caracteristicile micro-rețelelor.....	83
3.4.2. Modelarea și simularea micro-rețelelor.....	84

3.4.3. Aplicații..... 85

**PARTEA 3. SIMULATOR FIZIC DE
SISTEM ELECTROENERGETIC.....87**

**CAPITOLUL 4. SIMULATOR FIZIC DE
SISTEM ELECTROENERGETIC LUCAS NUELLE..... 89**

- 4.1. Sisteme de comunicații în simulatorul fizic Lucas Nuelle..... 89
 - 4.1.1. Moduri de comunicații..... 89
- 4.2. Simularea și analiza funcționării unei centrale hidroelectrice..... 95
 - 4.2.1. Organizarea conducerii operative a centralelor hidroelectrice..... 95
 - 4.2.2. Simularea și analiza funcționării unei centrale hidroelectrice
cu acumulare prin pompare (CHAP)..... 97
 - 4.2.2.1. Principiul de funcționare a CHAP..... 98
 - 4.2.3. Aplicații..... 99
 - 4.2.3.1. Lucrarea 1. Reglajul manual turbină-generator99
 - 4.2.3.2. Lucrarea 2. Modul semi-automat de funcționare a
CHAP..... 102
 - 4.2.3.3. Lucrarea 3. Compensarea puterii active /reactive..... 105
- 4.3. Simularea și analiza funcționării unei centrale eoliene..... 108
 - 4.3.1. Funcționarea unui turbine eoliene cu generator dublu-alimentat..... 108
 - 4.3.1.1. Lucrarea 1. Influența vitezei mecanice asupra tensiunii
generatorului..... 109
 - 4.3.1.2. Lucrarea 2. Influența frecvenței variabile din rotor... 111
 - 4.3.1.3. Lucrarea 3. Influența curentului din rotor..... 113
 - 4.3.1.4. Lucrarea 4. Conectarea sincronă la rețea a unui generator
eolian..... 115
- 4.4. Conducerea operativă a stațiilor electrice..... 118
 - 4.4.1. Stații electrice și echipamente de comutație..... 119
 - 4.4.2. Topologia unei stații electrice cu sistem dublu de bare..... 122
 - 4.4.3. Conducerea și supravegherea unei stații electrice cu sistem dublu de
bare..... 124

4.4.3.1. Lucrarea 1. Stație electrică cu sistem simplu de bare și un singur distribuitor de intrare.....	128
4.4.3.2. Lucrarea 2. Stație electrică cu sistem simplu de bare cu doi distribuitori de intrare.....	130
4.4.3.3. Lucrarea 3. Stație electrică cu sistem dublu de bare cu distribuitori de intrare și ieșire.....	132
4.4.3.4. Lucrarea 4. Transferul sarcinii între sistemele de bare ale unei stații	135
BIBLIOGRAFIE	139
Anexa A	141
Anexa B	147

PREFAȚĂ

Conducerea și supravegherea sistemelor electroenergetice (SEE) implică dotarea camerelor de comandă din stațiile/centralele electrice și a dispeceratelor energetice cu calculatoare de proces și programe dedicate astfel încât sistemele informaționale să permită atât informarea operatorilor/dispecerilor în timp real asupra stării proceselor cât și asistarea acestora în luarea deciziilor privind conducerea operativă.

Lucrarea de față se adresează studenților din domeniul *Inginerie Energetică*, permițând o familiarizare a acestora cu procesul de conducere operativă a sistemelor electroenergetice prin module de laborator dedicate inițierii în utilizarea simulatoarelor software Matlab-Simulink și PowerWorld, dar și personalului de exploatare din instalațiile electroenergetice care pot să-și continue și să-și perfecționeze pregătirea profesională în cadrul unor cursuri asistate de exemple practice pe un simulator fizic de sistem care integrează sistemul SCADA.

Cartea, concepută ca un îndrumar de laborator, include o primă parte de modelare și simulare a sistemelor dinamice, în general, folosind pachetul de simulare software **Simulink-Matlab**, și a sistemelor electroenergetice, în particular, folosind biblioteca de elemente funcționale specializate (**SimPowerSystems**). Partea a doua este dedicată modelării și simulării interactive folosind un simulator software care integrează module asociate analizei sistemelor electroenergetice (**PowerWorld Simulator**). Partea a treia prezintă simulatorul fizic de sistem electroenergetic Lucas Neulle care permite realizarea de montaje experimentale pentru controlul și supravegherea parametrilor de stare asociați proceselor de producere, transport și distribuție a energiei electrice prin intermediul sistemului SCADA.

Prin conținutul lor, lucrările de laborator cuprind în ansamblu toate etapele fundamentării științifice a procesului de luare a deciziilor în conducerea și supravegherea unui sistem electroenergetic.

Autorii

PARTEA 1

Simulatorul software Simulink-Matlab

CAPITOLUL 1

- **Prezentare generală**
- **Particularități ale Simulink-Matlab**
- **Lansarea în execuție**
- **Crearea și salvarea modelelor**
- **Simularea unui model construit în Simulink-Matlab**
- **Aplicații**

CAPITOLUL 2

- **Sisteme numerice. Semnale și informații în SEE**
- **Achiziția datelor în SEE**
- **Librăria SimPowerSystems din Simulink-MATLAB**
- **Modelarea și simularea unui SEE**
- **Aplicații**

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE ÎN SIMULINK-MATLAB

1.1. Prezentare generală

Sistemele electroenergetice (SEE), constituite din linii de transport la foarte înaltă tensiune (FIT) și distribuție la înaltă tensiune (IT), fideri/distribuitori de medie tensiune (MT) și joasă tensiune (JT), stații electrice de transformare (FIT/IT, IT/MT) și posturi de transformare (MT/JT), aflate în administrarea operatorilor de transport și distribuție a energiei electrice, presupun două categorii de activități principale, și anume: activități de planificare-dezvoltare și activități de conducere operativă.

Aceste activități reclamă astăzi utilizarea unor sisteme informatice complexe, constituite din rețele de calculatoare, interconectate prin sisteme de telecomunicații moderne.

Activitățile de planificare-dezvoltare ale sistemelor electroenergetice, în general, și ale rețelelor electrice, în particular, prin proiectarea de noi stații de transformare, linii electrice și unități de generare, implică analiza unui număr mare de soluții asociate diverselor variante constructive.

Pe lângă criteriile de cost, de mediu sau asociate aspectelor sociale, criteriile tehnice sunt esențiale în identificarea soluțiilor optimale, iar instrumentele informatice reprezintă puncte forte pentru reducerea timpului de calcul.

Activitățile de conducere operativă presupun analize ale regimurilor de funcționare, utilizând programe software adecvate în efectuarea calculului pentru estimarea stării SEE,

analize de scurtcircuite sau tehnico-economice și, pe de altă parte, prelucrarea bazelor de date de mari dimensiuni, ce sunt actualizate în timp real, pentru a permite îndeplinirea obiectivelor avute în vedere:

- continuitatea serviciilor de înaltă calitate;
- funcționarea sigură a SEE;
- funcționarea economică și acceptabilă din punct de vedere a mediului;
- protecția echipamentului principal și a integrității SEE;
- conducerea în stare de avarie și postavarie.

În aceste condiții, activitățile de conducere operativă sau planificare-dezvoltare sunt susținute de programe software performante care permit decidenților să identifice rapid soluțiile optime. Dintre aceste pachete software face parte și Matlab care, prin intermediul modulului Simulink, permite simularea regimurilor de funcționare ale SEE, dând posibilitatea utilizatorului de a modifica topologia și datele de consum/generare în mod simplu și ușor de implementat.

1.2. Particularități ale Simulink-Matlab

Pachetul software Matlab se caracterizează printr-un limbaj de programare orientat către efectuarea de calcule numerice și simbolice specifice diferitelor domenii ale științelor ingineresti, precum și prin posibilitățile de modelare și simulare a diverselor sisteme dinamice (implementarea schemelor bloc dezvoltate cu limbajul de programare Simulink, din 1990) și a sistemelor fizice particulare (implementarea schemelor funcționale dezvoltate cu limbajul de programare Simscape, din 2008).

Structura Matlab este formată dintr-un nucleu de bază care conține pe lângă elementele fundamentale ale programului, un număr mare de pachete de funcții implicite (toolbox-uri) care oferă facilități de calcul general sau proceduri specifice anumitor domenii ale științelor ingineresti.

Principalele caracteristici de calcul ale Matlab sunt următoarele:

- Elemente fundamentale de programare: funcții matematice uzuale, reprezentarea grafică 2-D și 3-D, generarea funcțiilor definite de utilizator, definirea și manipularea polinoamelor, funcții pentru controlul datelor și a fișierelor, pentru

integrarea și derivarea numerică, rezolvarea numerică a ecuațiilor și sistemelor de ecuații algebrice și transcendente, rezolvarea numerică a ecuațiilor și sistemelor de ecuații liniare și neliniare;

- Analiza statistică (*Statistics Toolbox*) și numerică (*Curve Fitting Toolbox*) a datelor experimentale: metode de aproximare a funcțiilor prin interpolare și regresie (folosind polinoame, funcții putere, exponențiale, trigonometrice, Gauss, Weibull, sau Fourier), funcții specifice pentru analiza parametrilor de calitate ai aproximărilor (nivelul de încredere, intervalele de eroare, parametri numerici de calitate sau reprezentarea grafică a reziduurilor).
- Analiza, proiectarea și controlul sistemelor dinamice folosind metode numerice specializate (*Control Systems Toolbox*): definirea sistemelor dinamice prin metode de transfer, intrare→stare→ieșire, multi-zero-uri, respectiv analiza performanțelor dinamice și de stabilitate ale sistemelor dinamice în domeniul timp (răspuns la semnal treaptă) și în domeniul frecvență (diagrama Bode).
- Modelarea sistemelor dinamice folosind metoda schemelor bloc pentru simularea sistemelor dinamice continue, sistemelor dinamice discrete și discontinuităților. Procesele de simulare folosesc operații matematice de bază, operații logice, operații la nivel de bit, aproximarea funcțiilor 1-D, 2-D și n -D, elemente pentru vizualizarea grafică și numerică a semnalelor de intrare și ieșire, modificarea parametrilor și a domeniului de variație a semnalelor.
- Modelarea și simularea sistemelor electrice de putere folosind metoda schemelor funcționale cu biblioteci de elemente funcționale specializate (**SimPowerSystems**) pentru toate componentele lanțului de generare, transport și distribuție a energiei electrice din SEE.
- Implementarea unor algoritmi specifici pentru generarea, manipularea, vizualizarea și analiza semnalelor analogice și numerice: interfețe grafice specializate, analiză spectrală a diferitelor tipuri de semnalelor (*Signal Processing Toolbox*).
- Funcții pentru generarea interfețelor grafice de tip GUI (*Graphic User Interface*) cu ajutorul interfeței GUIDE (*Graphic User Interface Development Environment*).
Principalele tipuri de fișiere specifice manipulate de Matlab sunt următoarele:

- Fișiere cu extensia *.m (fișiere de tip *script* sau *function*).
- Fișiere cu extensia *.fig (fișiere ce conțin informații de tip grafic).
- Fișiere cu extensia *.mdl (fișiere ce conțin scheme bloc de tip *Simulink*).
- Fișiere cu extensia *.mat (fișiere care conțin date formate, utilizate pentru salvarea datelor din spațiul de lucru Matlab, folosind comanda *save*, respectiv pentru încărcarea datelor în spațiul de lucru Matlab, folosind comanda *load*).

Simulink este un mediu de programare special dezvoltat pentru modelarea, simularea și analiza sistemelor și proceselor dinamice, integrat în pachetul software Matlab, folosind capacitățile de calcul ale acestuia.

Principalele etape ale procesului de simulare a sistemelor dinamice utilizând simulatorul **Simulink** se referă la:

- Modelarea sistemului fizic supus analizei, prin crearea unui model grafic cu ajutorul editorului special de modele. Realizarea modelului grafic trebuie să se facă în concordanță cu relațiile matematice care descriu procesul asociat sistemului fizic analizat. Prin urmare, modelarea sistemului fizic se desfășoară în două etape:
 - ✓ Crearea modelului analitic al sistemului fizic reprezentat de un set de ecuații care descriu comportarea dinamică a sistemului.
 - ✓ Crearea modelului numeric de simulare reprezentat de modelul grafic obținut cu ajutorul editorului de modele.
- Simularea comportării dinamice a sistemului fizic analizat, prin intermediul soluționării numerice a sistemului de ecuații, pe baza căreia a fost realizat modelul grafic al sistemului fizic.

1.3. Lansarea în execuție

Modelarea și simularea sistemelor dinamice în mediul de programare Simulink presupune parcurgerea mai multor etape, atât în faza de modelare, cât și în faza de simulare referitoare la:

- lansarea în execuție;
- identificarea bibliotecilor de blocuri;
- crearea, salvarea, deschiderea și printarea modelelor;

- introducerea comenzilor și identificarea ferestrelor pentru introducerea datelor;
- introducerea, modificarea parametrilor, formatarea și conectarea blocurilor;
- selectarea obiectelor într-o schemă bloc;
- introducerea textelor explicative într-o schemă bloc;

După inițierea unei sesiuni de lucru Matlab, lansarea în execuție a simulatorului

Simulink se poate face folosind una din următoarele moduri de lucru:

- selectarea pictogramei simulatorului **Simulink** din bara cu butoane;
- introducerea comenzii *Simulink* direct în fereastra de comenzi.

Ulterior, fereastra principală denumită **Simulink Library Browser** a simulatorului **Simulink** se va deschide, așa cum se indică în Figura 1.1.

Fereastra SLB conține toate blocurile grupate în biblioteci asociate diverselor sisteme/componente. Accesul la un anumit bloc se face prin identificarea bibliotecii corespunzătoare și prin selectarea blocului respectiv.

Cele mai folosite biblioteci folosite în modelarea și simularea sistemelor și proceselor dinamice sunt următoarele:

- Biblioteca **Sources**, prezentată în Figura 1.2, conține blocuri pentru precizarea tipului semnalului de intrare: semnal temporizat (blocul *Clock*); semnal constant (blocul *Constant*); semnal tip sinusoidal (blocul *Sine Wave*); semnal tip treaptă (blocul *Step*); semnal tip rampă (blocul *Ramp*); semnal tip impuls (blocul *Pulse Generator*); semnal tip secvență repetitivă (blocul *Repeating Sequence*); bloc generator de semnal (blocul *Signal Generator*) etc.
- Biblioteca **Signal Routing**, prezentată în Figura 1.3, conține blocuri utilizate în procesul de achiziție și prelucrare a semnalelor: multiplexarea/demultiplexarea semnalelor (blocurile *Mux* și *Demux*); scrierea/citirea valorilor unor semnale și memorarea folosind variabile (blocurile *Goto* și *From*) etc.
- Biblioteca **Sinks**, prezentată în Figura 1.4, conține blocuri asociate mărimilor de ieșire: vizualizarea valorilor numerice (blocul *Display*); vizualizarea variației în timp a unor semnale (blocul *Scope*); vizualizarea dependenței dintre două semnale (blocul *XZ Graph*), etc.

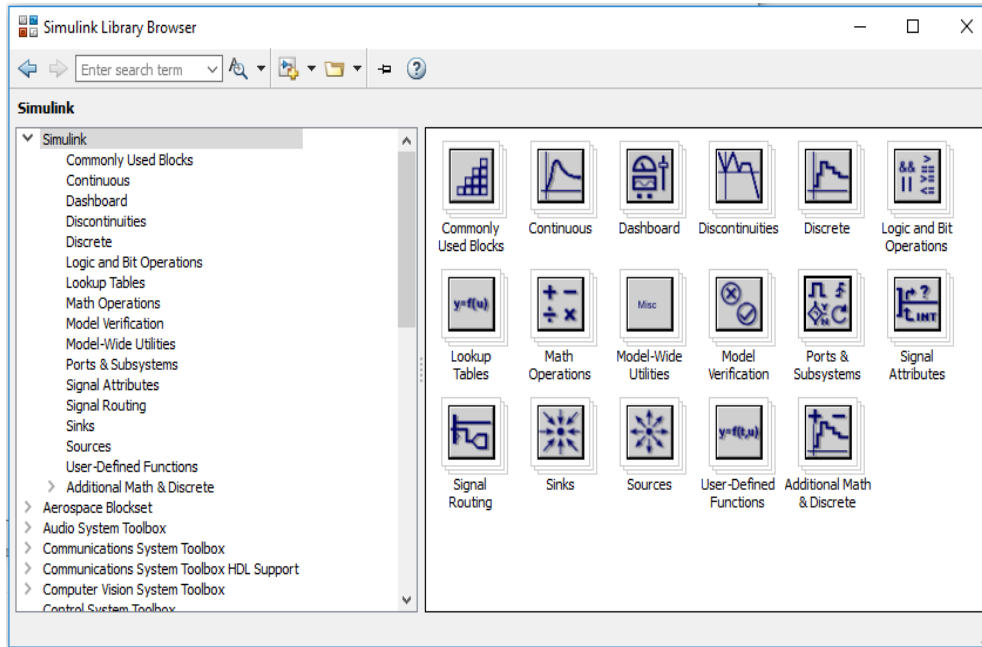


Figura 1.1. Fereastra *Simulink Library Browser*

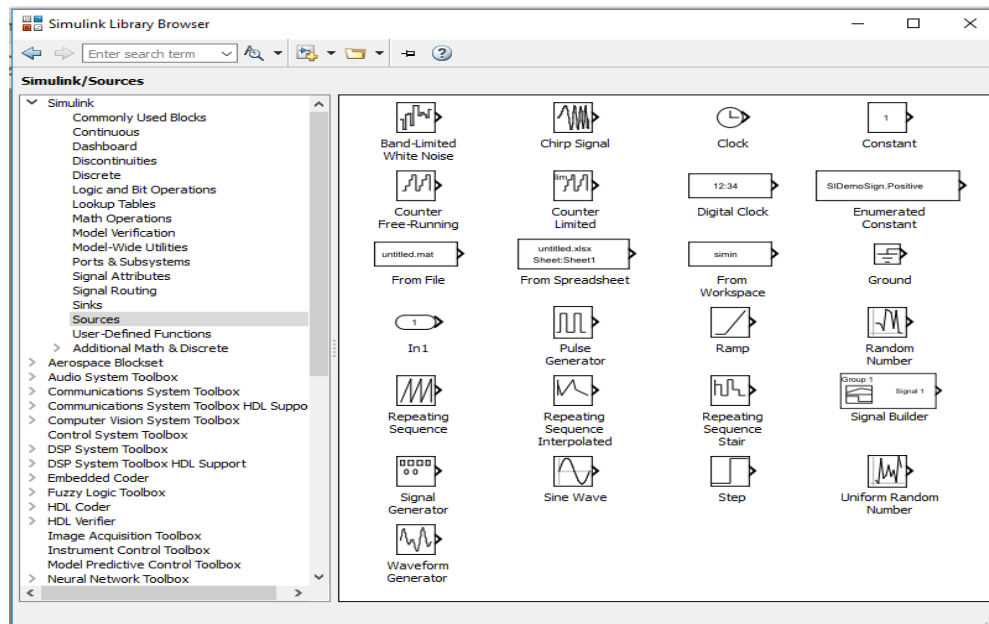


Figura 1.2. Blocurile componente din biblioteca *Sources*

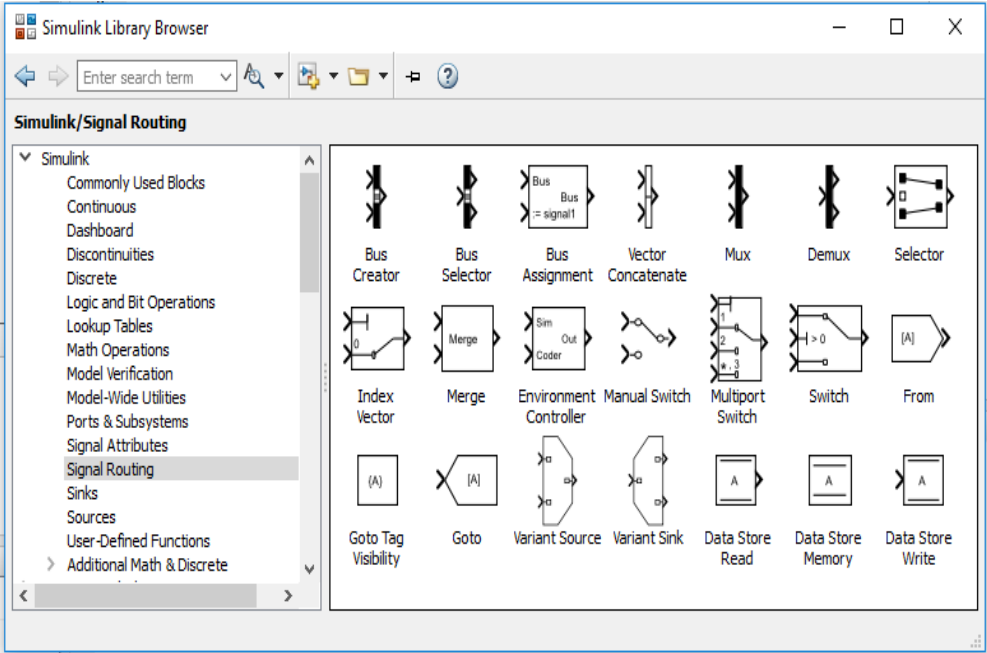


Figura 1.3. Blocurile componente din biblioteca **Signal Routing**

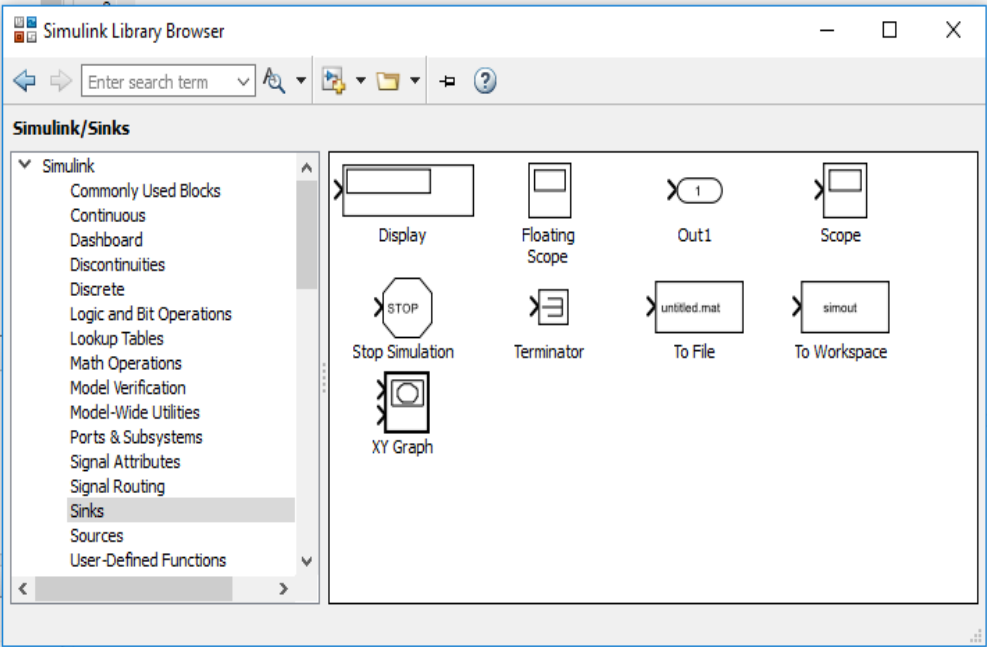


Figura 1.4. Blocurile componente din biblioteca **Sinks**

- Biblioteca **Power Grid Elements**, prezentată în Figura 1.5, conține blocuri pentru modelarea echipamentelor primare de comutație, liniilor electrice la/de la barele unei stații electrice de transformare (cuadripoli în π pentru modelarea liniilor electrice - blocul *Pi Section Line*). De asemenea, biblioteca **Passives** are în componență blocuri ce fac referire la elemente de rețea monofazate/trifazate cum ar fi secțiuni de tip RLC serie sau paralel (blocurile *Series/Paralel RLC Branch*), sarcini de tip RLC serie sau paralel (blocurile *Series/Paralel RLC Load*) etc.

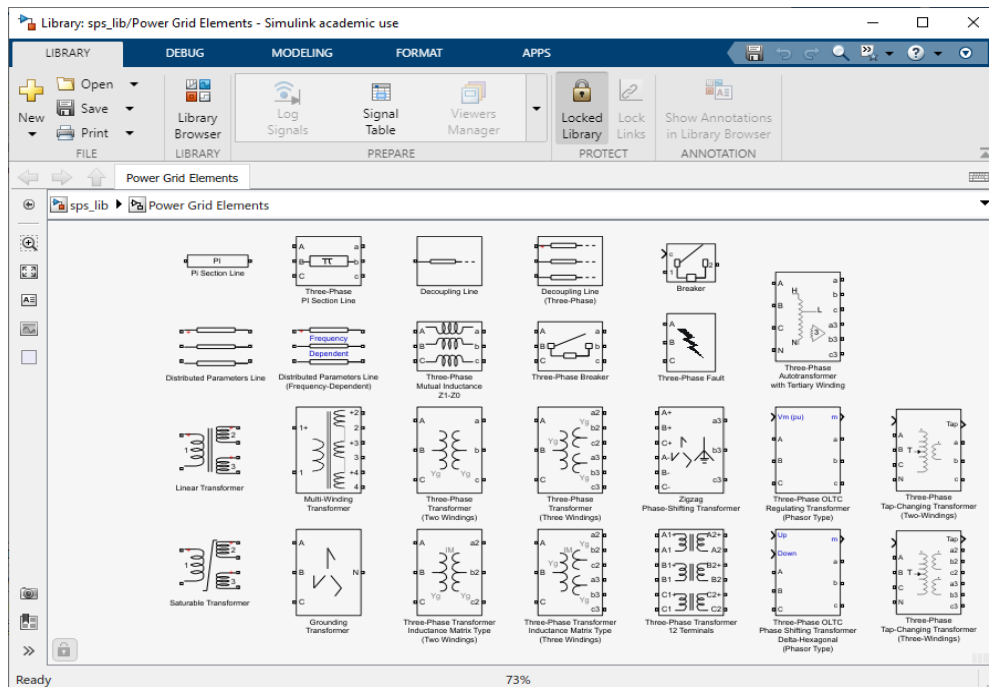


Figura 1.5. Elementele specifice bibliotecii **Power Grid Elements**

1.4. Crearea și salvarea modelelor



Crearea unui model Simulink se realizează printr-o succesiune de comenzi *File/New/Model* sau, mai ușor, prin selectarea butonului *New model* din bara de butoane a programului.

Salvarea unei scheme bloc se realizează selectând succesiv două comenzi *File/Save* sau prin apăsarea butonului *Save* din bara de butoane a programului.

Pentru a introduce blocuri în fereastra de lucru a unui model se selectează blocul corespunzător utilizând mouse-ul pentru a face clic. Butonul mouse-ului se menține apăsat pe bloc pentru a-l insera în fereastra de lucru unde va fi construit modelul, după care se eliberează (metoda *drag&drop* folosind butonul stâng al mouse-ului). În cazul în care într-o schemă bloc se folosește de mai multe ori același bloc, acesta se poate introduce de fiecare dată folosind tehnica *drag&drop* cu butonul stâng al mouse-ului din fereastra **Simulink** în spațiul de lucru al modelului sau imediat după prima introducere a blocului se poate utiliza tehnica *Duplicate*. Pentru aceasta se efectuează *drag&drop* asupra blocului existent, dar cu butonul drept al mouse-ului. O altă metodă pentru multiplicarea unui bloc deja introdus în spațiul de lucru al modelului este metoda *Copy-Paste*.

Conectarea blocurilor se poate face în mod automat sau manual. Conectarea automată se realizează prin selectarea blocului *sursă* și apoi prin apăsarea tastei *Ctrl* și selectarea blocului *destinație*.

Conectarea manuală a blocurilor presupune parcurgerea mai multor etape:

- se poziționează cursorul pe portul de ieșire al blocului sursă astfel încât modelul de tip săgeată  să se transforme în model tip cruce ;
- se apasă și se menține apăsat butonul stânga al mouse-lui;
- se deplasează cursorul peste portul de intrare al blocului destinație astfel încât cursorul se transforme în model tip cruce dublă;
- se eliberează butonul mouse-ului.

Modificarea parametrilor caracteristici ai blocurilor se face în conformitate cu specificațiile numerice ale ecuațiilor care caracterizează comportamentul sistemului analizat. Astfel se efectuează dublu click pe suprafața blocului respectiv pentru a se deschide fereastra de dialog care permite modificarea parametrilor caracteristici ai blocului. Numărul și tipul parametrilor caracteristici depind de tipul blocului.

De exemplu, pentru blocul de generare a semnalelor (blocul *Signal Generator*), fereastra de dialog include alegerea tipului semnalului, durata de timp, amplitudinea și frecvența semnalului, așa cum se observă în Figura 1.6.

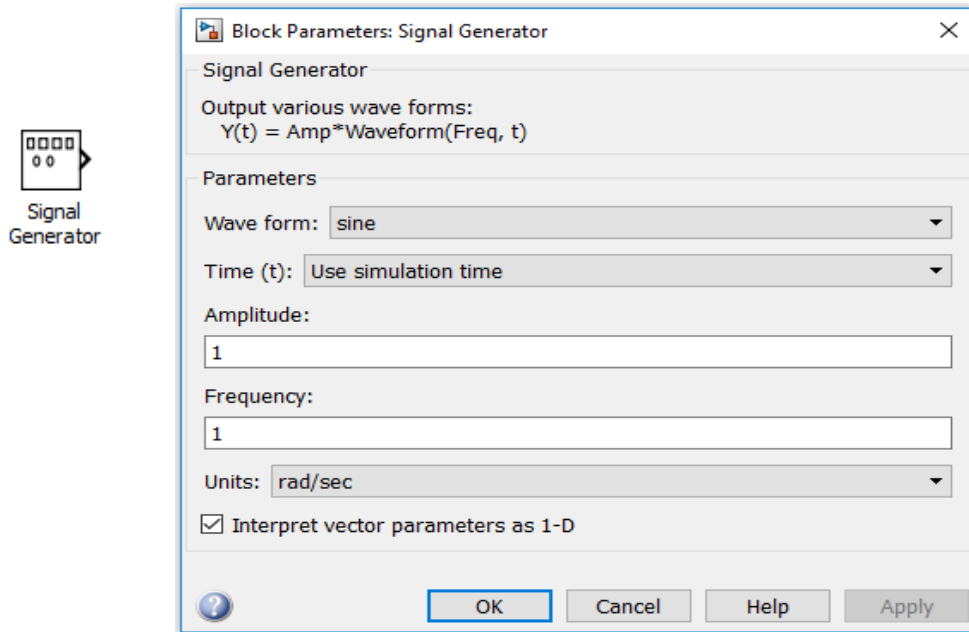


Figura 1.6. Parametrii caracteristici ai blocului Signal Generator

1.5. Simularea unui model construit în Simulink-Matlab

După finalizarea fazei de modelare, în care a fost creată schema bloc pe baza modelului analitic al sistemului fizic de analizat, urmează faza de lansare în execuție a modelului simulat. Principalele etape specifice fazei de simulare a sistemelor sunt:

- *Inițializarea modelului* - necesită verificarea următoarelor aspecte:
 - ✓ evaluarea expresiilor care definesc valorile parametrilor tuturor blocurilor din structura schemei bloc;
 - ✓ determinarea caracteristicilor semnalelor și verificarea existenței unor eventuale incompatibilități între semnale și tipurile blocurilor din structura schemei bloc;
 - ✓ determinarea pasului de eșantionare pentru toate blocurile din structura schemei bloc pentru care nu a definită în mod explicit o valoare.
- *Execuția modelului.* În această etapă, pe baza informațiilor obținute în procesul de inițializare, stările și ieșirile sistemului, la intervale de timp cuprinse între momentul de start și momentul de sfârșit al simulării, sunt calculate. Intervalul de

timp cuprins între doi pași de timp succesivi se numește interval elementar de calcul.

1.6. Aplicații

1. Se vor studia aspecte teoretice referitoare la:
 - modul de lansare în execuție a simulatorului **Simulink-Matlab**;
 - identificarea bibliotecilor de blocuri folosite în modelarea sistemelor dinamice;
 - crearea modelelor de simulare;
 - accesarea blocurilor din diversele biblioteci și modul de inserare a acestora în fereastra modelului de simulare;
 - salvarea și lansarea în execuție a modelului simulat.
2. Se va simula procesul de conectare/deconectare unei linii electrice la/de la barele unei stații electrice considerând echipamentele primare de comutație și timpii de comutare a acestora.

Exemplu. Se consideră un întrerupător conectat în serie cu o impedanță, caracteristică unui circuit RL serie ($R=1 \Omega$, $L=0,1 \text{ H}$), la o sursă de tensiune cu frecvența de 50 Hz, Figura 1.7.

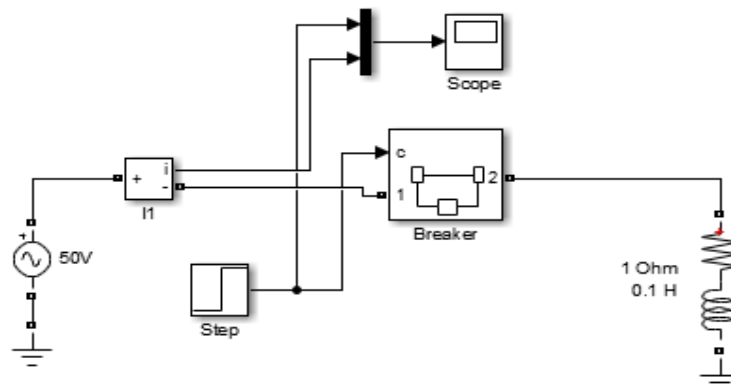


Figura 1.7. Simularea conectării/deconectării unui linii electrice

Timpii de comutare ai întrerupătorului sunt controlați cu ajutorul unui semnal treaptă. Întrerupătorul este pe poziția inițial deschis, închizându-se după o perioadă

de timp $t = 1,5$ secunde, moment în care linia electrică este conectată. Se va simula, de asemenea, procesul de deconectare a liniei electrice.

Etape:

- Se va construi modelul din Figura 1.7 corespunzător simulării procesului de conectare/deconectare a liniei electrice.
- Se vor defini parametrii caracteristici ai blocurilor din model: sursa de tensiune (*AC Voltage Source*), întrerupător controlat cu ajutorul unui semnal de tip treaptă (*Step Block*), circuitul RL (*Series/Paralel RLC Branch*);
- Se va utiliza un echipament de măsură (ampermetru) pentru măsurarea curentului și un osciloscop (*Scope*) pentru vizualizarea grafică a momentului conectării/deconectării liniei electrice la/de la barele stației electrice (la momentul de timp $t = 1,5$ secunde).

CAPITOLUL 2

SIMULINK-MATLAB ÎN SIMULAREA ȘI ANALIZA REGIMURILOR SEE

2.1. Sisteme numerice. Semnale și informații în SEE

Structurile moderne de conducere ale SEE au la bază sisteme informatice integrate, capabile să realizeze funcții complete de monitorizare, automatizare și protecție pentru echipamentele din stații și de pe liniile electrice aferente. Aceste sisteme informatice, bazate pe sisteme cu microprocesoare, distribuite geografic și ierarhic pe nivele de conducere, începând cu celula din stație/post de transformare și până la treapta de dispecer cea mai înaltă, sunt sisteme inteligente care realizează funcții specifice implementate prin programe adecvate.

Activitățile desfășurate în cadrul SEE referitoare la planificarea dezvoltării și conducerea operativă reclamă astăzi utilizarea unor sisteme informatice adecvate, constituite din sisteme informatice, interconectate prin rețele de telecomunicații moderne. Obiectivul principal al celor mai multe sisteme inteligente aflate în diverse puncte (la nivelul subordonat sau coordonator de conducere) este de a oferi operatorului /dispecerului suficiente informații și facilități de comandă, pentru a supraveghea și conduce procesele din subordine în condiții de siguranță, securitate și economicitate.

Sistemele informatice sunt adecvate rezolvării unui spectru larg de probleme matematice, științifice, inginerești sau de management, dar ele își dovedesc limitele în domenii în care omul excelează, cum ar fi percepția și învățarea din experiență.

Un proces poate fi asociat unei secvențe de operații sau acțiuni condiționate de datele de intrare și care produc semnale de ieșire. Datele de intrare pot fi perturbații sau mărimi de comandă. Perturbațiile sunt semnale de intrare care nu sunt în general cunoscute sau asupra cărora nu se dorește să se acționeze. Mărimile de comandă sunt semnale ale căror valori sunt impuse procesului de către operator, de exemplu, sau de sistemul de comandă. Semnalele de ieșire reprezintă activitatea utilă a procesului. Observarea lor permite aprecierea stării procesului.

Noțiunea de proces este o noțiune dinamică, care permite descrierea unui fenomen sau sistem. Un proces complex se poate descompune în procese elementare care comunică între ele, după cum se poate vedea în Figura 2.1.

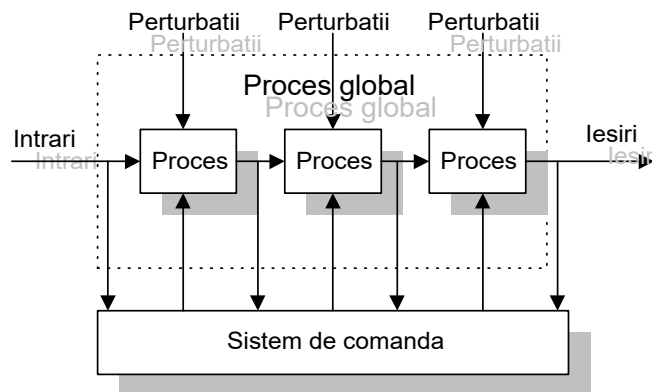


Figura 2.1. Descompunerea unui proces complex în procese elementare

2.1.1. Interacțiunea cu procesul

Interacțiunea cu un proces se poate realiza la nivelul semnalelor de ieșire, în vederea determinării stării procesului, și la nivelul semnalelor de intrare, pentru a realiza comanda procesului. Se pot distinge diferite moduri de interacțiune cu un proces: achiziția de semnale, comanda, reglaj și comanda automată.

- **Achiziția de semnale (de date).** Achiziția de semnale reprezintă măsurarea semnalelor de ieșire ale unui proces. Interacțiunea cu procesul se reduce la determinarea stării acestuia, în vederea cunoașterii sau estimării evoluției sale, fără însă a acționa asupra procesului propriu zis. Sistemele de achiziție a datelor

privitoare la consumul de energie electrică reprezintă un exemplu de achiziție de semnale.

- **Comanda.** În cazul comenzii unui proces, operatorul sau sistemul informatic acționează asupra procesului impunându-i semnale de intrare de comandă. Un asemenea sistem este deschis și perturbații necontrolabile pot provoca modificări ale stării procesului.
- **Reglaj.** În vederea ameliorării preciziei comenzilor prin reducerea influenței perturbațiilor, comanda procesului se realizează într-o buclă închisă. Mărimea de comandă C_m este derivată dintr-o mărime C , prin comparare cu semnalul de ieșire (S) și prelucrată într-un regulator R . Bucla de reacție tinde să mențină starea sistemului la valorile impuse, oricare ar fi valoarea perturbațiilor, cu condiția ca acestea să rămână între anumite limite după cum se observă în Figura 2.2.

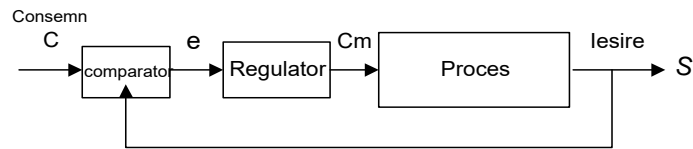


Figura 2.2. Comanda unui proces în buclă închisă

- **Comanda automată.** Comanda automată este un sistem mixt de reglaj-comandă. Aceasta se realizează cu automate programabile sau microcalculatoare.

Într-un sistem numeric, semnalele de ieșire ale calculatorului nu sunt citite în mod continuu, ci la anumite momente de timp bine determinate. Această eșantionare a semnalului se aplică și la nivelul comenzilor, care sunt furnizate apoi sistemului informatic numai la anumite momente de timp pentru a le prelucra.

Pentru semnalele numerice de ieșire S ale procesului, citirea se face la momente de timp (t_0, t_1, \dots) ce reprezintă multiplii ai perioadei de eșantionare Δt . După fiecare citire (prelevare) a unui eșantion, sistemul informatic trebuie să execute o prelucrare de durată Δt_1 pentru a determina comanda C_m care trebuie aplicată procesului. Pentru ca sistemul să funcționeze corespunzător este necesar ca procesul să aibă o evoluție între două citiri sau două comenzi succesive.

2.1.2. Semnale și informații

În majoritatea aplicațiilor, datele prelucrate sunt valori variabile în timp asociate unor mărimi fizice care caracterizează procesele. Problema care trebuie rezolvată se referă la modalitatea de obținere a informațiilor asociate proceselor fizice studiate în vederea memorării, redării acestor informații, pentru comunicație și controlul în timp real.

2.1.2.1. Semnale

Un semnal X este reprezentarea fizică a unei informații. Informația este asociată unui proces de comunicare: transferul unui mesaj de la sursă la destinație. Modelul matematic al unui semnal este o funcție de una, două sau trei variabile (în analiza matematică, o funcție este definită ca o regulă de corespondență între două mulțimi de numere reale sau complexe):

- $X(t)$ - semnale unidimensionale;
- $X(x,y)$ - semnale bidimensionale, imagini;
- $X(x,y,t)$ - succesiune de imagini bidimensionale.

În primul caz (cel mai frecvent întâlnit în practică), variabila t este în mod uzual timpul (însă ea poate reprezenta și o altă mărime, de exemplu distanța). Funcția $X(t)$ reprezintă evoluția unei mărimi electrice, sau convertită în această formă prin intermediul unui traductor (semnal acustic, semnal video etc.). Al doilea caz, $X(x,y)$ este cel al semnalelor bidimensionale. Acestea sunt în general funcții dependente de coordonatele spațiale x și y și sunt denumite în mod curent imagini. Ultimul caz, $X(x,y,t)$, corespunde succesiunii unor imagini, în care timpul apare ca al treilea parametru (imagini 3D/4D).

Semnalele primare purtătoare de informații sunt practic întotdeauna de tip analogic, având amplitudine și timp continue. Traductoarele furnizează, în general, semnale analogice (de timp continuu). Majoritatea sistemelor de prelucrare nu observă aceste semnale într-o manieră continuă, ci prelevează valoarea lor la anumite momente de timp. Structura generală a unui sistem de achiziție, prelucrare și transmitere de date este prezentată în Figura 2.3.

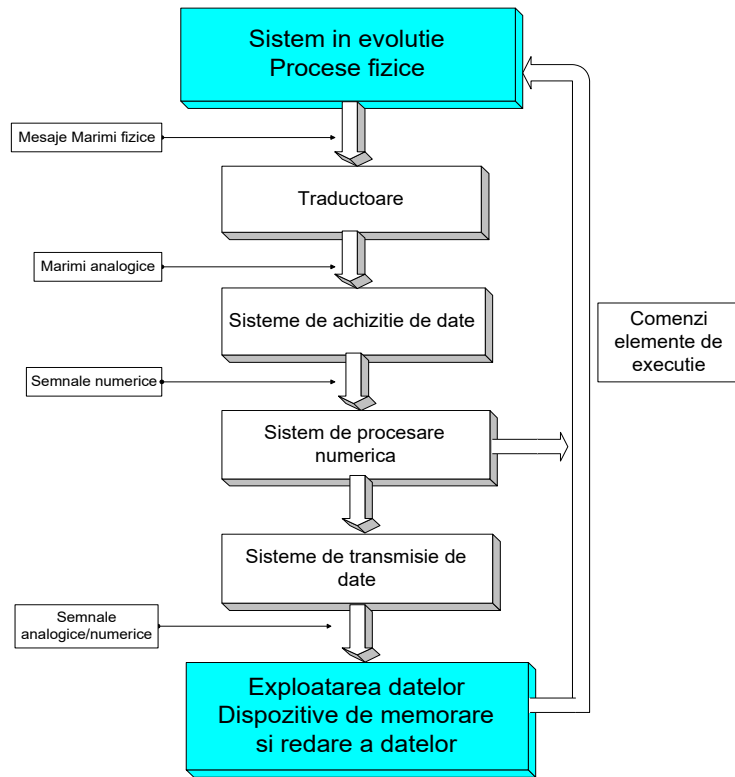


Figura 2.3. Structura generală a unui sistem de achiziție, prelucrare și transmitere de date

2.1.2.2. Generarea funcțiilor

Funcția semn

$$\text{sgn}(t) = \begin{cases} -1 & t < 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases} = \frac{t}{|t|} \text{ pentru } t \neq 0 \quad (2.1)$$

Valoarea în origine este în principiu arbitrară, situată între ± 1. Pentru a avea o relație simetrică, se admite ca această valoare să fie nulă prin convenție.

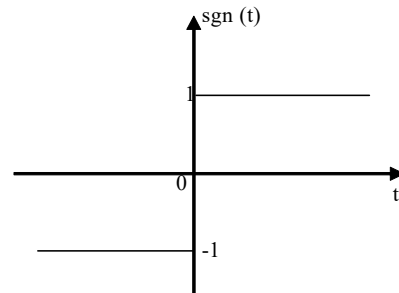


Fig. 2.4. Funcția semn

Funcția treaptă

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{sgn}(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases} \quad (2.2)$$

Valoarea în origine este arbitrară cuprinsă între 0 și 1. Se fixează prin convenție valoarea $\frac{1}{2}$. Pentru unele aplicații este preferabil să i se atribuie valoarea 1.

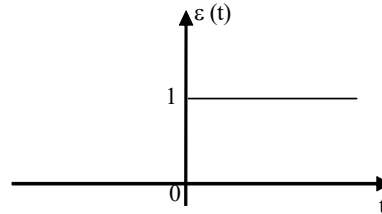


Fig. 2.5. Funcția treaptă

Funcția rampă

Funcția rampă, Figura 2.6, poate fi definită cu ajutorul expresiei matematice:

$$r(t) = \int_{-\infty}^t \varepsilon(\tau) d\tau = t\varepsilon(t) \quad (2.3)$$

Invers, funcția treaptă poate fi de asemenea definită prin:

$$\varepsilon(t) = \frac{dr(t)}{dt} \quad \text{pentru } t \neq 0 \quad (2.4)$$

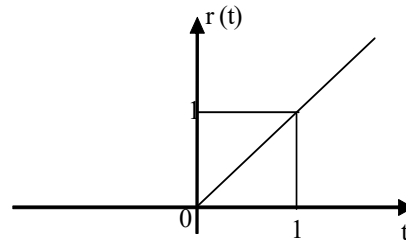


Fig. 2.6. Funcția rampă

Funcția dreptunghiulară

Funcția dreptunghiulară normalizată (integrala unitate), Figura 2.7, denumită și funcție poartă, este definită cu ajutorul expresiei:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon\left(t' + \frac{1}{2}\right) - \varepsilon\left(t' - \frac{1}{2}\right) = \begin{cases} 1 & |t'| < \frac{1}{2} \\ 0 & |t'| > \frac{1}{2} \end{cases} \quad (2.5)$$

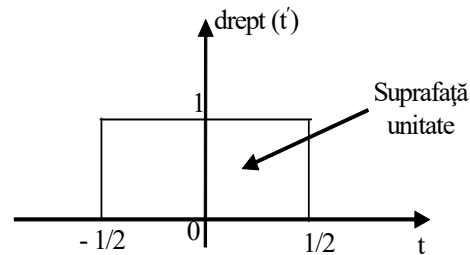


Fig. 2.7. Funcția dreptunghiulară

unde semnul prim indică o variabilă adimensională. Valoarea convențională atribuită absciselor $t'=1/2$ este $\frac{1}{2}$.

Considerând schimbarea de variabilă $t'=t/T$, se obține forma mai generală a unui impuls dreptunghiular de durată T , amplitudine A , centrat în $t=t_0$, după cum se poate vedea în Figura 2.8:

$$x(t) = A \cdot \text{drept}[(t - t_0) / T] \quad (2.6)$$

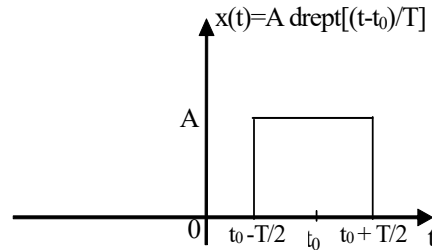


Fig.2.8. Impuls dreptunghiular

Funcția triunghiulară

Funcția triunghiulară normalizată (integrala unitate și variabila t' adimensională), reprezentată în Figura 2.9. este notată și definită astfel:

$$\text{tri}(t) = \begin{cases} 1 - |t'| & |t'| \leq 1 \\ 0 & |t'| > 1 \end{cases} \quad (2.7)$$

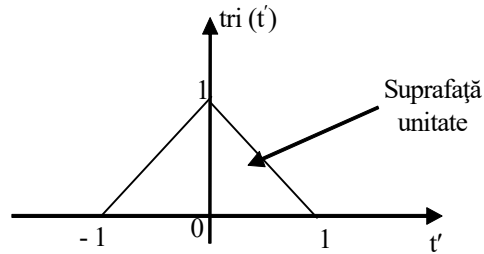


Fig. 2.9. Funcția triunghiulară

Introducând schimbarea de variabilă $t'=t/T$, un impuls triunghiular de amplitudine A și bază $2T$, centrat în $t=t_0$, va fi notat:

$$x(t) = A \cdot \text{tri}[(t - t_0) / T] \quad (2.8)$$

Impulsul (distribuția) Dirac

Impulsul Dirac $c \cdot \delta(t - t_0)$ se reprezintă convențional printr-o săgeată plasată în $t=t_0$ de lungime c . Impulsul Dirac $\delta(t)$, denumit și impuls unitate sau distribuția delta, poate fi definit formal prin produsul scalar:

$$x(0) = \langle x, \delta \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \delta(t) dt \quad (2.9)$$

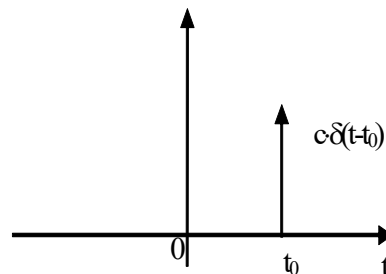


Fig. 2.10. Impulsul Dirac

Impulsul Dirac $\delta(t)$ este un operator de eșantionare, care restituie valoarea $x(0)$ a unei funcții $x(t)$, continuă în origine. Dimensiunea sa este în consecință inversul celei a variabilei de integrare. În general, pentru orice funcție $x(t)$, continuă în t_0 , avem:

$$x(t_0) = \langle x, \delta \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \delta(t - t_0) dt \quad (2.10)$$

Astfel, impulsul Dirac poate fi interpretat ca limita unui impuls dreptunghiular de suprafață unitate și a cărui durată tinde la 0:

$$\delta(t) = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{1}{T} \text{drept}(t / T) \quad (2.11)$$

Produsul unei funcții continue și impulsul Dirac

Dacă $x(t)$ este o funcție continuă în $t=0$ sau $t=t_0$, ecuațiile de mai sus implică următoarele echivalențe:

$$\begin{aligned} x(t) \cdot \delta(t) &= x(0) \cdot \delta(t) \\ x(t) \cdot \delta(t - t_0) &= x(t_0) \cdot \delta(t - t_0) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Tren de impulsuri Dirac

Un tren de impulsuri Dirac care se repetă pe axa timpului cu o perioadă T , fiind notat cu $\delta_T(t)$:

$$\delta_T(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(t - kT) \quad (2.13)$$

Această secvență este denumită și funcție de eșantionare permițând reprezentarea operației de prelevare periodică a unei secvențe de eșantioane dintr-un semnal $x(t)$ la o cadență de eșantionare $f_e = 1/T$.

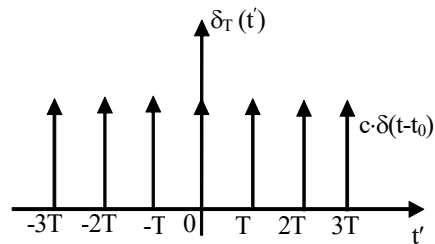


Fig. 2.11. Tren de impulsuri Dirac

2.1.3. Generarea semnalelor în Simulink-Matlab

Generarea unui semnal în simulatorul **Simulink** se poate face prin intermediul blocurilor identificate în interiorul librăriei **Sources** ce conține două structuri distincte: *Model & Subsystem Inputs* și *Signal Generators*, așa cum se indică în Figura 2.12.

Libraria **Sources** permite generarea de semnale de undă de diferite forme. De exemplu, generarea unui semnal de tip treaptă se poate face selectând blocul pas sau

treaptă (*Step Block*) care oferă un pas între două nivele definite la un moment dat de timp.

Figura 2.13 prezintă semnalul tip treaptă modelat în Simulink.

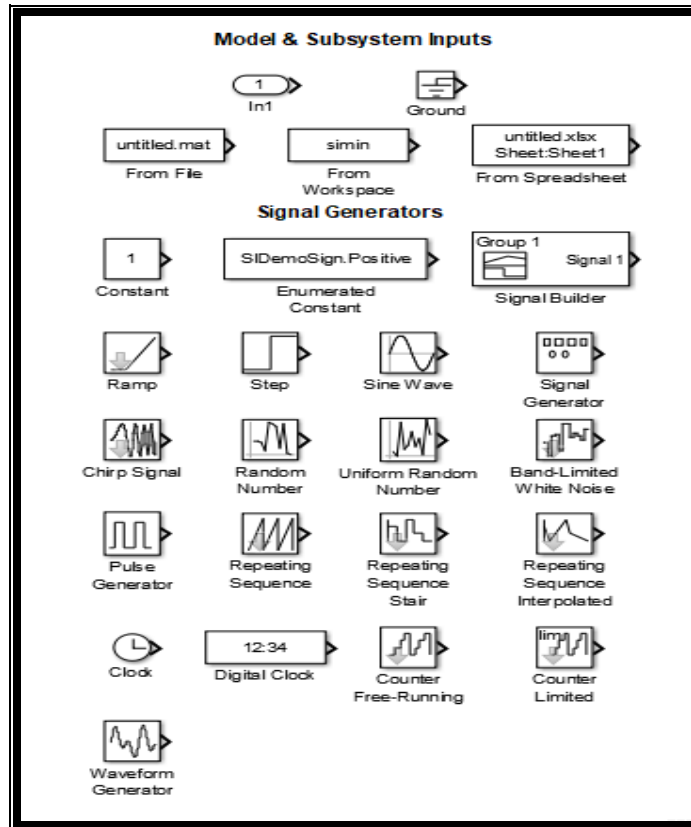


Figura 2.12. Elementele componente ale bibliotecii Sources

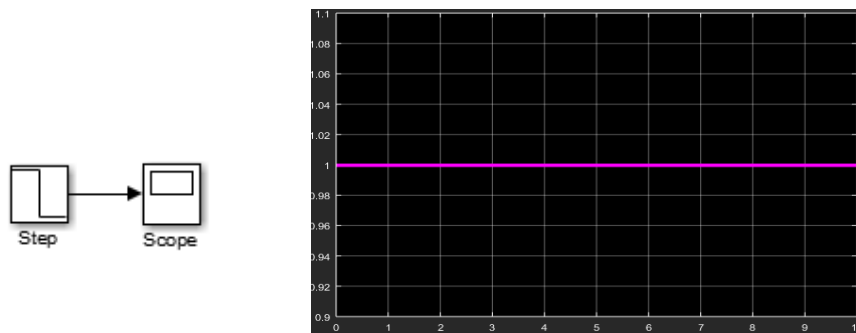


Figura 2.13. Modelul Simulink de generare a unui semnal treaptă

Generarea un semnal de tip rampă se poate face prin utilizarea blocului rampă (*Ramp Block*), inițializând un semnal la un anumit moment cu o anumită valoare modificată în timp, având o rată specificată. Parametrii specifici ce caracterizează panta de înclinare, parametrii de intrare și de ieșire ai blocului determină caracteristicile semnalului de ieșire. Un semnal rampă modelat în Simulink se prezintă în Figura 2.14.

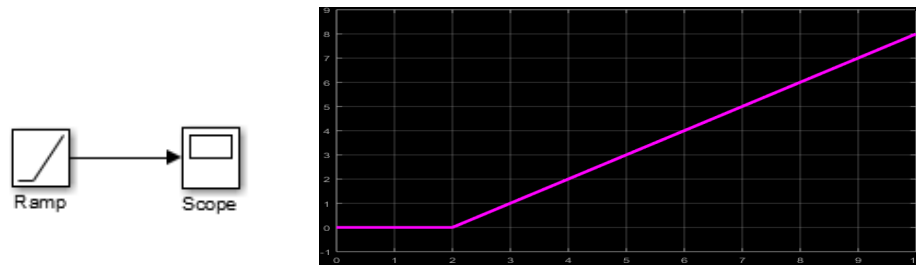


Figura 2.14. Modelul Simulink de generare a unui semnal rampă

Componenta principală a bibliotecii **Sources** este blocul generator de semnale (*Signal Generator*) care poate genera una din cele patru forme de undă diferite: sinusoidală, dreptunghiulară, tip fierăstrău și aleatorie. Parametrii semnalului pot fi exprimați în Hertz sau radiani/secundă.

În modelul Simulink prezentat în Figura 2.15 pot fi identificate trei configurații posibile ale blocului *Signal Generator* ce conduc la generarea a trei din cele patru semnale: sinusoidal, dreptunghiular și aleatoriu.

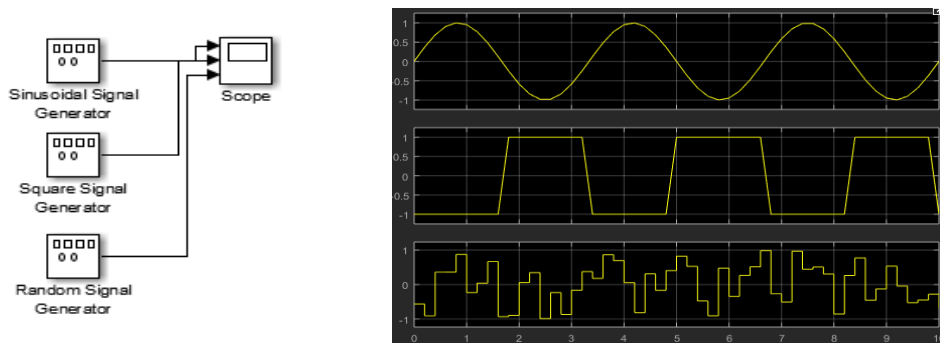


Figura 2.15. Modelul Simulink de generare a formelor de undă sinusoidală, dreptunghiulară și aleatorie

Parametrii ce caracterizează cele trei configurații sunt amplitudinea ($A=1$) și frecvența ($f=0,3$ Hz).

Un alt bloc important al bibliotecii **Sources** este reprezentat de generatorul de impulsuri (*Pulse Generator*) care simulează semnalele dreptunghiulare. Parametrii ce caracterizează aceste semnale sunt amplitudinea (A), durata impulsurilor (T_1 , T_2), perioada (T) și momentul inițial (t_0).

În modelul din Figura 2.16 este prezentat blocul *Pulse Generator* care generează un semnal dreptunghiular caracterizat de următorii parametri specifici: amplitudine ($A=1$), perioadă ($T= 3$), durata impulsurilor ($T_1= T_2= 50$) și momentul inițial ($t_0=1$).

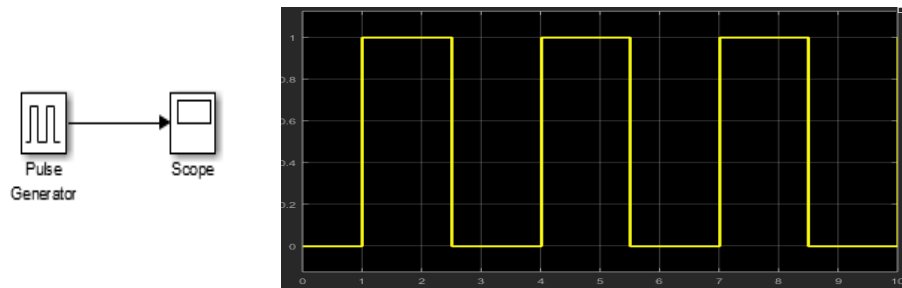


Figura 2.16. Modelul Simulink de generare a unui semnal dreptunghiular

În scopul generării unui semnal triunghiular este necesară utilizarea blocului *Signal Builder* care permite crearea de grupuri interschimbabile de surse de semnal liniar care pot fi folosite în interiorul modelului. Procedura de construire a unui semnal liniar cu ajutorul acestui bloc necesită cunoașterea coordonatelor timp – amplitudine (T , A). Pentru semnalul triunghiular reprezentat în Figura 2.17 s-au folosit următoarele coordonate (T , A): (0,0), (1,1), (2,0), (3,-1), (4,0), (5,1), (6,0), (7,-1), (8,0), (9,1), (10,0).

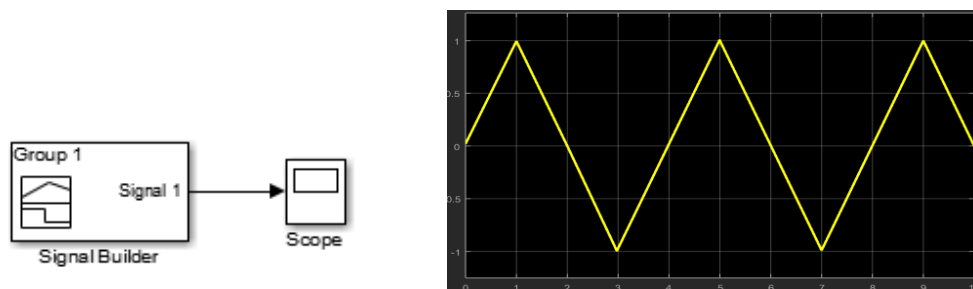


Figura 2.17. Modelul Simulink de generare a unui semnal triunghiular

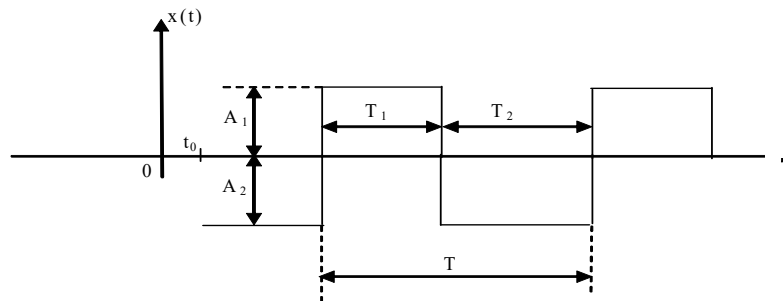
2.1.4. Aplicații

1. Se consideră un semnal sinusoidal caracterizat de următorii parametri: $A=10\text{ V}$ și $f=50\text{ Hz}$.

Să se construiască modelul de simulare în Simulink care generează semnalul sinusoidal având caracteristicile precizate.

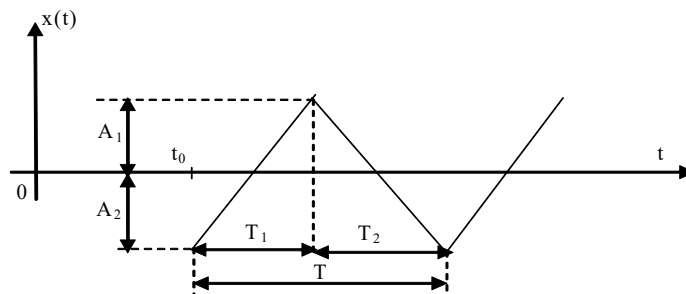
2. Se consideră un semnal dreptunghiular caracterizat de următorii parametri specifici: amplitudinile celor două paliere ale semnalului ($A_1=3\text{ V}$, $A_2=-3\text{ V}$), perioada ($T=5\text{ secunde}$), durata impulsurilor ($T_1=T_2=20\text{ secunde}$) și momentul inițial $t_0=1\text{ secundă}$.

Să se construiască modelul de simulare în Simulink care generează semnalul dreptunghiular având caracteristicile precizate.



3. Se consideră un semnal triunghiular caracterizat de următoarele coordonate (T,A) : $(0,0)$, $(1,1)$, $(2,0)$, $(3,1)$, $(4,0)$, $(5,1)$, $(6,0)$, $(7,1)$, $(8,0)$, $(9,1)$ și $(10,0)$.

Să se construiască modelul de simulare în Simulink care generează semnalul triunghiular având caracteristicile precizate.



4. Toate semnalele generate la punctele 1 – 3 vor fi integrate într-un singur model de unitar în **Simulink** astfel încât să fie reprezentate grafic folosind un singur bloc de vizualizare.

2.2. Achiziția datelor în SEE

Orice sistem informatic este destinat prelucrării mărimilor fizice având diverse forme inițiale. Pentru a le putea prelucra este nevoie de o primă verigă care să transforme mărimea fizică într-o mărime electrică. După efectuarea acestei transformări și până la aducerea la o formă care să permită introducerea directă în sistemul de calcul semnalul suferă o serie de prelucrări prin intermediul unor componente speciale. Un asemenea lanț destinat prelucrării informației, de natură electrică și neelectrică, și aducerii ei la o formă capabilă să fie introdusă într-un sistem informatic de prelucrare a datelor formează un sistem de achiziție a datelor (SAD). Schema de principiu a unui SAD este prezentată în Figura 2.18.

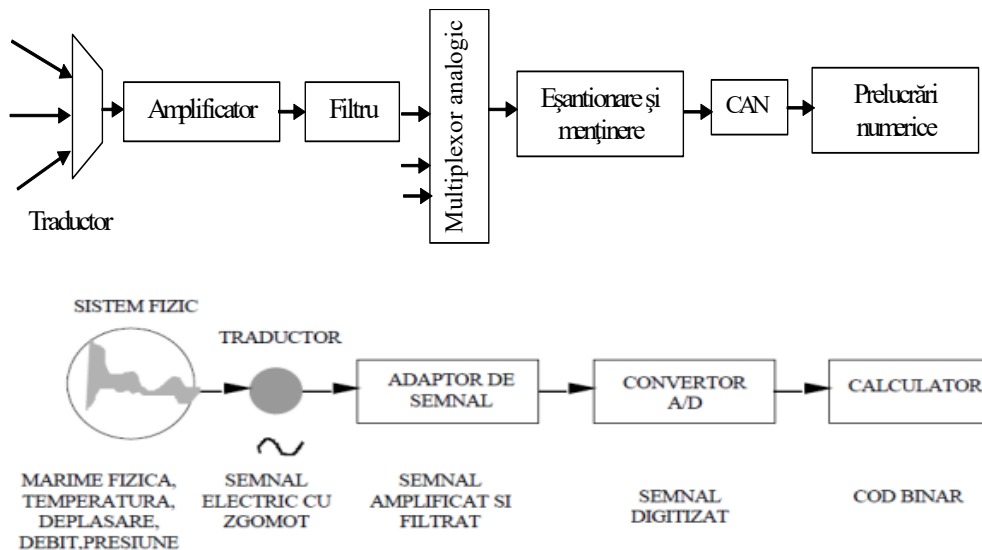


Figura 2.18. Schema bloc a unui SAD

De regulă, după traductor urmează un bloc preamplificator, care asigură o amplificare a semnalului în scopul aducerii la nivelul de "lucru". Acest nivel este cerut de

circuitele de intrare ale blocurilor care urmează. Un filtru trece jos, pentru eliminarea componentelor de înaltă frecvență sau a zgomotului din afara benzii semnalului, reprezintă ultima componentă a acestei prime părți de prelucrare pur analogică a semnalului. Semnalul filtrat și amplificat este aplicat unui multiplexor analogic, bloc care realizează multiplexarea în domeniul timp între un număr de diferite semnale de intrare. Circuitul de eșantionare și menținere preia un eșantion din semnalul aplicat la intrarea sa, menținându-l fără a-i altera amplitudinea un timp determinat, până blocul de conversie analog-numerică (CAN) realizează transformarea sa într-o mărime numerică pe care o transmite sistemului informatic de prelucrare a datelor.

Utilizarea blocurilor CAN și CNA ca dispozitive periferice ale unui sistem informatic, a condus la obținerea unor sisteme de achiziție a datelor complexe, ieftine și fiabile.

2.2.1. Amplificatoare operaționale

Amplificatoarele operaționale (AO) sunt circuite integrate specializate, destinate în principal transformărilor liniare ale semnalelor (amplificare/atenuare → înmulțirea semnalului cu o constantă). Un AO se caracterizează prin:

- *amplificare diferențială în tensiune:*

$$a = v_o / (v_p - v_n) = \infty \quad (2.14)$$

unde: (v_n , v_p sunt tensiunile de pe intrarea negativă, respectiv pozitivă, iar v_o este tensiunea de ieșire a AO);

- *amplificare de mod comun:*

$$a = 2v_o / (v_p + v_n) = 0 \text{ (foarte mică, în electronică 1\%)} \quad (2.15)$$

- *banda de trecere infinită* (aceeași amplificare indiferent de frecvența semnalului de intrare, fără efect de filtru trece jos ca în cazul amplificatoarelor reale);
- *rezistența de intrare infinită* (ceea ce presupune un curent de intrare neglijabil);
- *rezistența de ieșire zero* (toată tensiunea de ieșire se poate regăsi pe o rezistență echivalentă de intrare în circuitul care primește semnalul de la ieșirea AO).

2.2.2. Filtre numerice

Numeroase operații de prelucrare a semnalelor se reduc la transformarea unui semnal $x(n)$ de intrare într-un semnal de ieșire $y(n)$ prin intermediul unui sistem. Caracterizarea acestui sistem poate fi făcută dacă semnalul de ieșire poate fi calculat în funcție de semnalul de intrare. El poate fi reprezentat printr-un operator F :

$$y(n) = F[x(n)] \quad (2.16)$$

Sistemul este cauzal dacă condiția,

$$x(n) = 0 \quad \text{pentru } n < n_0 \quad (2.17)$$

implică faptul că:

$$y(n) = 0 \quad \text{pentru } n < n_0 \quad (2.18)$$

Sistemul este linear dacă:

$$F[\alpha \cdot x_1(n) + \beta \cdot x_2(n)] = \alpha \cdot F[x_1(n)] + \beta \cdot F[x_2(n)] \quad (2.19)$$

Filtrarea semnalelor reprezintă o operație de bază în prelucrarea informației. Poate fi realizată analogic (cu ajutorul unor rețele RLC) sau numeric (cu circuite logice). Filtrul numeric este un sistem de prelucrare a semnalelor numerice. Prelucrarea se face liniar și are ca rezultat schimbarea formei semnalului aplicat la intrare.

Reprezentarea filtrelor numerice

Reprezentarea simplificată a unui filtru numeric este indicată în Figura 2.19.



Figura 2.19. Filtru numeric

În cazul filtrelor numerice, între intrarea $x(n)$ și ieșirea $y(n)$ există o legătură caracterizată de o ecuație cu diferențe finite:

$$\begin{aligned} a_0(n) \cdot y(n) + a_1(n) \cdot y(n-1) + \dots + a_p(n) \cdot y(n-p) = \\ = b_0(n) \cdot x(n) + b_1(n) \cdot x(n-1) + \dots + b_q(n) \cdot x(n-q) \end{aligned} \quad (2.20)$$

sau

$$\sum_{i=0}^p a_i(n) \cdot y(n-i) = \sum_{i=0}^q b_i(n) \cdot x(n-i) \quad (2.21)$$

Dacă sistemul este invariant în timp, atunci $a_i(n) = a_i$ și $b_i(n) = b_i$ (coeficienții sunt constanți). Relația (2.20) se mai poate scrie și sub următoarea formă:

$$y_n = \sum_{i=0}^q b_i(n) \cdot x(n-i) - \sum_{i=0}^p a_p \cdot y(n-i) \quad (2.22)$$

Calculul valorilor de ieșire $y(n)$ se face iterativ pentru orice n , cu condiția de a dispune de primele q valori ale intrării și primele p valori ale răspunsului. Există deci o perioadă de amorsare a filtrului, de lungime $\max(q, p)$.

În general, filtrarea temporală se definește ca fiind operația de întrerupere sau atenuare a unui semnal. A filtra temporal semnalul $x(t)$ prin $f(t)$ înseamnă a realiza produsul lui $x(t)$ cu $f(t)$, așa cum se indică în Figura 2.20.

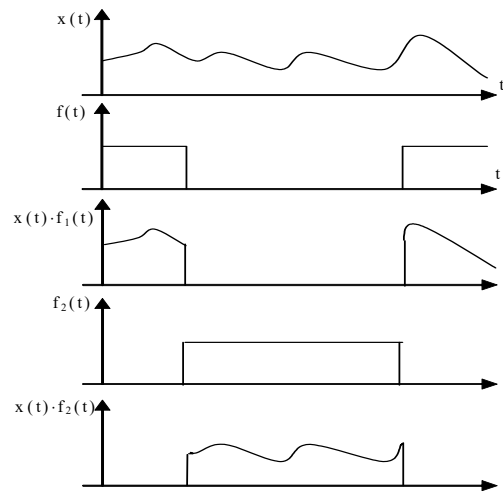


Figura 2.20. Operații de filtrare temporală

2.2.3. Multiplexoare

Aceste circuite sunt dispozitive combinaționale (un circuit logic combinațional este reprezentat printr-un multipol la care variabilele/funțiile de ieșire depind numai de variabilele de intrare) controlate de o adresă de selecție (n intrări) cu ajutorul căreia una din cele 2^n intrări de date $[I_0, I_1, \dots, I_{2^n-1}]$ este conectată la ieșire. Ele permit conectarea

uneia din intrări la ieșirea unică. Uneori aceste circuite mai au o intrare de autorizare E (Enable), după cum se observă în Figura 2.21.

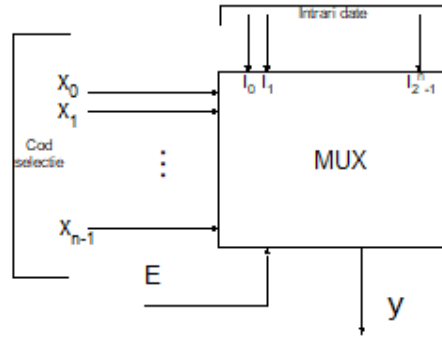


Figura 2.21. Reprezentarea simplificată a unui multiplexor

Pentru $E = 0$, indiferent de codul de selecție ($x_{n-1} \dots x_1 x_0$) sau de valorile datelor de intrare ($I_{2^n-1} \dots I_0$), ieșirea $y = 0$.

Pentru $E = 1$, ieșirea y va reproduce intrarea de date selectată: $y = I_k$, unde $k_{10} = x_{n-1} x_{n-2} \dots x_1 x_0$.

2.2.4. Demultiplexoare

Un demultiplexor este un circuit logic combinațional care permite transmiterea datelor de pe o intrare de date comună pe una din ieșiri. Circuitul are o singură intrare de date, n intrări de cod de selecție și cel mult 2^n ieșiri. În funcție de codul de selecție, una din ieșiri va fi conectată la intrarea de date (ieșirea de date selectată de cod reproduce intrarea de date). În general, demultiplexorul mai are și o intrare de autorizare (E), așa cum se indică în Figura 2.22.

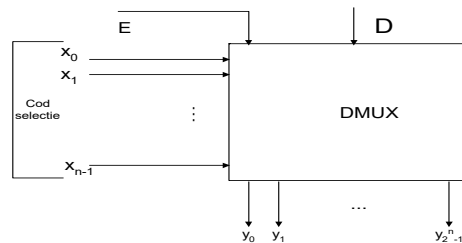


Figura 2.22. Reprezentarea simplificată unui demultiplexor

Pentru $E = 0$, variabilele de ieșire $y_2^{n-1}, y_2^{n-2}, \dots, y_1, y_0$ sunt zero indiferent de valoarea codului de selecție, $x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$, aplicat la intrarea circuitului.

Circuitul este selectat și devine activ pentru $E = 1$, caz în care ieșirea $y_k = D$, unde $k_{(10)} = x_{n-1}x_{n-2} \dots x_1x_0$, celelalte ieșiri $y_i = 0, i \neq k$.

2.2.5. Transformări ale semnalelor

Semnalele existente în natură depind de timp în mod continuu. Semnalele naturale se prezintă sub forma unor funcții continue în timp. Ele pot fi: permanente ($-\infty < t < \infty$), cauzale ($0 \leq t < \infty$) și de durată limitată ($t_1 \leq t \leq t_2$). Aceste funcții pot fi reale, $x(t)$, sau complexe, $s(t) = x(t) + j \cdot y(t)$.

În sistemele de prelucrare, aceste semnale sunt eșantionate pentru a obține semnale discrete, accesibile metodelor de calcul.

Un semnal continuu va fi notat $x(t)$ reprezentând valoarea în funcție de timpul t . Această funcție poate fi întâlnită și într-o reprezentare discretă, prin eșantioanele sale într-un număr de puncte. Această reprezentare discretă poate fi exprimată ca o listă:

$$\dots, x(-3\Delta t), x(-2\Delta t), x(-\Delta t), x(0\Delta t), x(\Delta t), x(2\Delta t), x(3\Delta t), \dots \quad (2.23)$$

Pentru secvențele discrete se utilizează frecvent și notația:

$$\dots, x_{-3}, x_{-2}, x_{-1}, x_0, x_1, x_2, x_3, \dots \quad (2.24)$$

sau

$$\dots, x(-3), x(-2), x(-1), x(0), x(1), x(2), x(3), \dots \quad (2.25)$$

Semnalele numerice sunt versiuni eșantionate (în timp) și cuantificate (în amplitudine) ale semnalelor naturale, ceea ce introduce trei restricții:

- *durata unui semnal numeric este limitată*: reprezentată de durata de eșantionare (notată cu T);
- *timp discret*: pasul de eșantionare, $\Delta t = T / N$; frecvența de eșantionare $f_e = 1/\Delta t = N / T$;
- *valori discrete*: erori de cuantificare.

Există deci o pierdere de informație în momentul eșantionării semnalelor continue în timp. În cazul reprezentării unui semnal în timp, $x(t)$ sau $x(n)$, variabila t sau n este asociată unei durate parcurse în mod continuu sau în salturi discrete.

2.2.5.1. Eșantionare și reconstrucție

Semnalele primare purtătoare de informații sunt în cele mai multe situații de tip analogic (amplitudine și timp continue). Dacă trebuie să se prelucreze un semnal pe cale numerică, acesta trebuie să fie reprezentat printr-o secvență de valori prelevate la intervale regulate de timp. Majoritatea sistemelor de prelucrare nu observă aceste semnale într-o manieră continuă, ci extrag valoarea lor la anumite momente de timp.

Eșantionarea unui semnal continuu $x_C(t)$ este operația care transformă acest semnal într-o secvență discretă, $x_D(n)$, prelevând valori la momente t_n discrete:

$$x_D(n) = x_C(t_n), \quad t_n = n\Delta t \quad (2.26)$$

Această operație de eșantionare poate fi realizată atât asupra reprezentării temporale cât și asupra reprezentării frecvențiale, după transformarea Fourier.

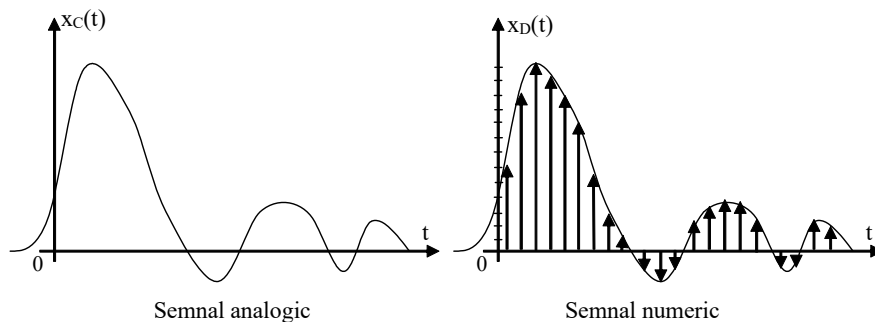


Figura 2.23. Operația de eșantionare a unui semnal

Prin eșantionare se realizează două operații foarte restrictive:

- durată finită de eșantionare a semnalului: $0 \leq t \leq T$;
- număr finit de eșantioane: $t = n \cdot \Delta t$, $\Delta t = T/N$, $0 \leq n \leq N - 1$.

2.2.5.2. Teorema eșantionării

Secvențe de eșantioane prelevate periodic dintr-un semnal $x_C(t)$, cu o frecvență fixă, $f_e = 1/\Delta T$, se poate asimila cu semnalul $x_E(t)$ obținut prin multiplicarea semnalului analogic cu o funcție de eșantionare ideală asociată trenului de impulsuri Dirac:

$$x_E(t) = x_C(t) \cdot \delta_{\Delta t}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_C(k\Delta t) \delta(t - k\Delta t) \quad (2.27)$$

Se poate reconstitui un semnal continuu $x_c(t)$ plecând de la semnalul eșantionat $x_D(n)$ (eșantionare uniform perfectă) cu un pas Δt dacă:

- *semnalul continuu este de bandă limitată: $x_c(f) = 0$ pentru $|f| > fm$;*
- *perioada de eșantionare verifică relația: $\Delta t < 1/2fm$.*

2.2.6. Conversie analog-numerică și numeric-analogică

Orice sistem de procesare numerică a datelor necesită o operație preliminară de conversie analog-numerică (CAN). Atunci când informația procesată trebuie restituită sub formă analogică se procedează la operația inversă, conversie numeric-analogică (CNA). Schema de principiu a unui sistem de prelucrare numerică este prezentată în Figura 2.24.

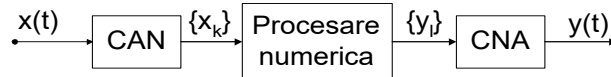


Figura 2.24. Schema de principiu a unui sistem de prelucrare numerică a datelor

Conversia analog-numerică face să corespundă unui semnal analogic de intrare $x(t)$ o secvență de numere $\{x_k\}$, în mod uzual codate sub formă binară. Fiecare număr corespunde amplitudinii $x(t_k)$ a unui eșantion al semnalului prelevat la un moment dat t_k .

Fiecare eșantion poate lua în principiu orice valoare datorită naturii analogice a semnalului. În realitate însă, precizia cu care amplitudinile semnalului sunt cunoscute este limitată din diferite considerente practice. Valoarea exactă a unui eșantion este înlocuită cu cea mai apropiată valoare aproximativă dintr-un număr finit de valori discrete, realizându-se o cuantificare.

Fiecare valoare discretă este asociată unui număr exprimat sub forma binară printr-o codare adecvată. Acest număr este cuprins între două valori limită care fixează plaja de conversie. Fiecare număr x_k reprezintă astfel un ansamblu de valori analogice conținute în intervalul de lățime Δ_k numit pas de cuantificare. Atunci când plaja de conversie este divizată în intervale de cuantificare egale avem o cuantificare uniformă, după cum se poate observa în Figura 2.25.

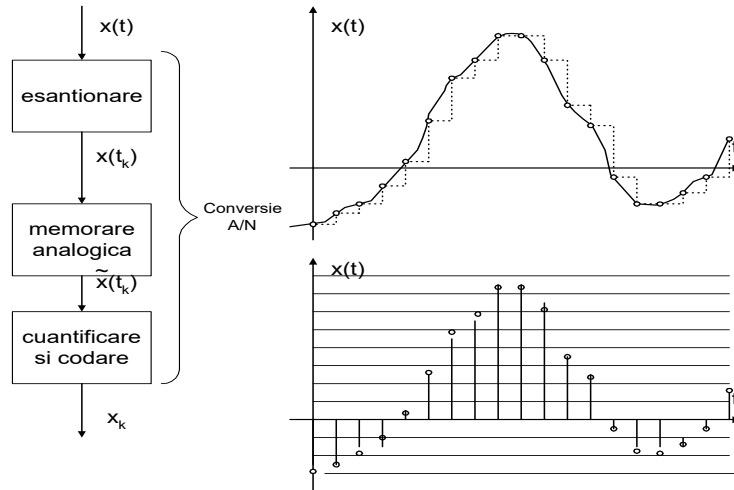


Figura 2.25. Principiul realizării conversiei analog-numerică

La conversia numeric-analogică, secvența $\{y_i\}$ este transformată într-o secvență de eșantioane de amplitudini discrete $y(t_i)$. Reconstrucția finală a semnalului analogic de ieșire este în final realizată printr-o operație de interpolare sau extrapolare între eșantioane, așa cum se indică în Figura 2.26.

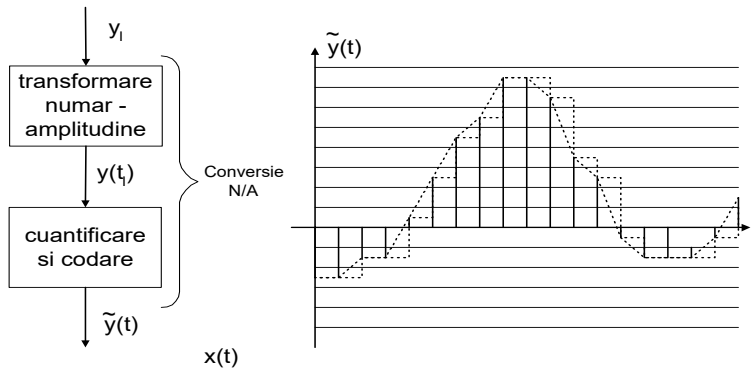


Figura 2.26. Principiul realizării conversiei numeric-analogică

2.2.7. Schema unui sistem de achiziție a datelor în Simulink-Matlab

Pentru a construi schema bloc a unui sistem de achiziție a datelor în **Simulink-Matlab** este necesar, într-o primă etapă, accesarea bibliotecii **Sources** pentru a alege blocul specific tipului de semnal generat de sistemul analizat.

Filtrul numeric operațional este parte componentă a sistemului de achiziție a datelor, astfel încât pentru a-l putea reprezenta trebuie accesată biblioteca **Discrete** în cadrul căreia se găsește blocul de filtrare a unui semnal (*Discrete Filter*). Blocul simulează funcționarea filtrelor de răspuns la impulsuri de durată infinită sau finită.

Blocul unui filtru discret trebuie să aibă specificată funcția de transfer care, de regulă este un raport de polinoame în z^{-1} . De asemenea, se poate alege dacă blocul va avea una sau mai multe ieșiri ce vor corespunde unui set de filtre care au același numitor dar cu numărători diferiți în cadrul funcției de transfer.

În modelul din Figura 2.27.a a fost integrat blocul *Discrete Filter* care filtrează un semnal sinusoidal caracterizat de amplitudine ($A = 2$ V) și frecvență ($f = 0,3$ Hz). Funcția de transfer specifică filtrului este:

$$H(z) = 5/(1+0,5z^{-1}),$$

iar pasul de eșantionare a semnalului este 0,01 secunde.

Răspunsul filtrului la semnalul de intrare este prezentat în Figura 2.27.b, semnal care corespunde nivelului de "lucru".

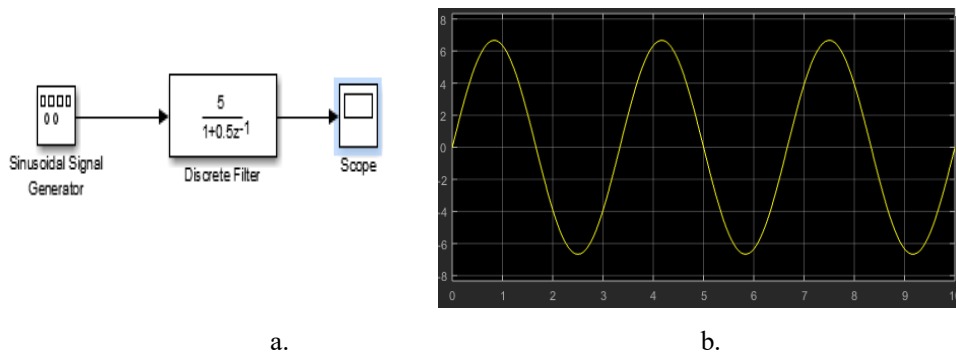


Figura 2.27. Modelul Simulink de filtrare discretă a unui semnal de intrare sinusoidal
(a) blocul *Discrete Filter*; (b) Răspunsul filtrului la semnalul sinusoidal de intrare

Un alt element component al a sistemului de achiziție a datelor este multiplexorul. Pentru a putea modela blocul specific unui multiplexor în **Simulink-Matlab** se accesează biblioteca **Signal Routing** ce conține blocul specific *Mux Block*.

Convertorul analog-numeric (CAN) este elementul care realizează transformarea semnalului de intrare într-o mărime numerică (sau într-un semnal numeric eșantionat).

Semnalul codificat binar este transformat într-un semnal în format zecimal în interiorul CAN, pentru a putea fi în continuare prelucrat numeric.

Simulink-Matlab conține și un bloc specific asociat unui CAN în biblioteca **Simulink Extras-Additional Discrete** denumit *Idealized ADC quantizer*. Acest bloc are prevăzute 2^n coduri numerice de ieșire pentru conversia a n biti. Fiecare valoare reprezintă o parte egală din semnalul de intrare analogic cu pasul 1 LSB (bitul cel mai puțin semnificativ). Punctul central corespunde valorii actuale care introduce eroarea de cuantificare, care nu depășește niciodată $1/2$ LSB în intervalul de scală completă.

În Figura 2.28 se prezintă, ca exemplu, modelul unui sistem de achiziție a datelor având două intrări analogice, prin intermediul cărora sunt achiziționate semnale periodice sinusoidale, reprezentând curenții monitorizați în două puncte de măsură. Amplitudinile celor două semnale sunt $2A$, respectiv $1A$.

Cu ajutorul blocului *Discrete Filter* semnalele sunt adaptate la o valoare de lucru cu ajutorul funcției de transfer care amplifică și filtrează semnalul având la bază transformata z , $H(z)$. După ce semnalele de intrare au fost filtrate și multiplexate, blocul CAN permite conversia efectivă a semnalului codificat binar într-un semnal discret în amplitudine și în timp.

Dacă se consideră un eșantion din primul semnal de intrare la o anumită perioadă de timp, de exemplu, $t = 3,8$ secunde, înainte de a se realiza conversia, eșantionul se va regăsi în memoria sistemului informatic având codul **101** (codificat binar) ceea ce înseamnă că după conversia în format numeric va fi afișată valoarea $5 A$. ($5_{10}=101_2$).

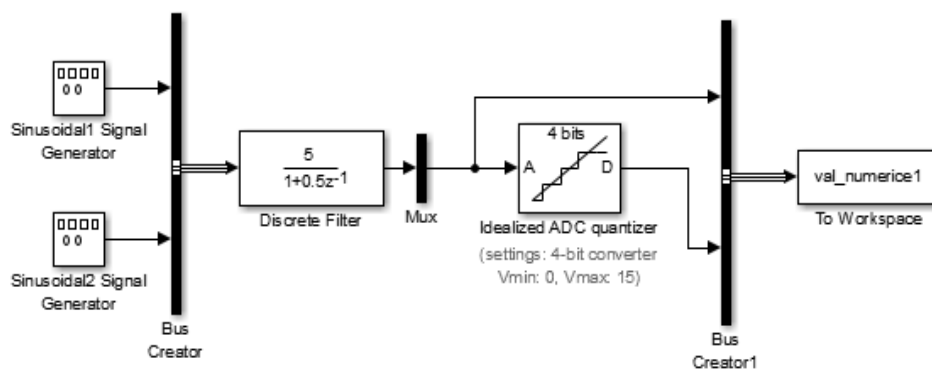


Figura 2.28. Modelul simplificat al unui SAD construit în Simulink-Matlab

Valorile numerice ale semnalelor de ieșire în perioada de timp analizată, folosind pas de eșantionare având valoarea de 0,01 secunde, pot fi afișate sub formă de vectori sau matrice în spațiul de lucru (workspace) al Matlab-ului cu ajutorul blocului *To Workspace* din biblioteca **Sinks**.

Tabelul 2.1 prezintă primele cinci eșantioane asociate semnalului discret în amplitudine și în timp.

Tabel 2.1. Extras din workspace pentru semnalul discret în amplitudine și în timp

Time	Data:1	Data:2
4.2200	7	4
4.2400	7	4
4.2600	7	3
4.2800	7	3
4.3000	7	3

2.2.8. Aplicații

1. Se va realiza schema de simulare a unui sistem de achiziție a datelor având următoarele caracteristici:

- Patru semnale de intrare de tip sinusoidal: două având amplitudinile de 1A și 2A, cu frecvența de 0,3 Hz, și două având amplitudinea de 3A, având frecvența de 0,1 Hz;
- Două funcții de transfer de forma:

$$H_1(z) = \frac{1}{(1 + 0.5z^{-1})} \quad ; \quad H_2(z) = \frac{5}{(1 + 0.5z^{-1})}$$

- Un multiplexor cu două intrări;
- Un bloc de vizualizare în timp a semnalelor filtrate și multiplexate;
- Un bloc de afișare a semnalelor numerice discrete în amplitudine și în timp înregistrate în spațiul de lucru al Matlab-ului.

Blocurile componente vor fi interconectate folosind următoarea structură:

- Primele două generatoare de semnal se conectează la prima funcție de transfer;

- Următoarele două generatoare de semnal se conectează la a doua funcție de transfer;
 - Intrările multiplexorului sunt conectate la generatoarele de semnal și la funcțiile de transfer;
 - Ieșirea multiplexorului se conectează la blocul de conversie analog - numerică;
 - Datele numerice din blocul de conversie se conectează la blocul de afișare numerică în spațiul de lucru al Matlab-ului.
2. Se va simula procesul de achiziție, astfel încât semnalele obținute în intervalul de timp [0...10] secunde să poate fi reprezentate grafic la intrarea și ieșirea din filtrul discret, respectiv la ieșirea din blocul CAN.

2.3. Librăria SimPowerSystems din Simulink-MATLAB

2.3.1. Prezentarea generală

Librăria **SimPowerSystems** reprezintă un instrument de proiectare modern, integrat în Simulink din pachetul software Matlab, care permite modelarea ușoară și rapidă a tuturor componentelor/elementelor din SEE. **SimPowerSystems** oferă posibilitatea modelării și simulării regimurilor de funcționare ale SEE având la bază biblioteci specializate pentru toate componentele (generatoare, linii, transformatoare, motoare, echipamente de comutație etc.).

Deoarece **SimPowerSystems** aparține simulatorului **Simulink**, iar Simulink-ul utilizează toate resursele din toolbox-urile Matlab, proiectanții sau inginerii pot folosi în simulare și modelare atât instrumentele specifice Matlab-lui cât și blocurile din **Simulink**.

Blocurile corespunzătoare acestei librării sunt proiectate pentru a reprezenta instrumente eficiente în procesul de simulare, permițând construirea rapidă și eficientă a unor modele necesare în analiza regimurilor SEE.

Principalele caracteristici ale bibliotecii **SimPowerSystems** sunt următoarele:

- Simularea regimurilor de funcționare ale mașinilor electrice în curent continuu și curent alternativ;

- Simularea regimurilor de funcționare ale dispozitivelor electronice de putere;
- Analiza regimurilor deformante (armonici);
- Determinarea circulațiilor de putere în rețele electrice;
- Estimarea mărimilor de stare ce caracterizează funcționarea echipamentelor sau proceselor din SEE.

2.3.2. Construirea modelelor de simulare

Librăria **SimPowerSystems** conține modele ale tuturor elementelor din componența SEE cum ar fi: transformatoare, linii electrice, generatoare, motoare etc., precum și ale dispozitivelor electronice și de măsură.

Accesarea librării **SimPowerSystems** poate fi făcută prin scrierea cuvântului cheie *powerlib* (*sps_lib*) în fereastra de comandă a Matlab-ului. În urma acestei operații se va deschide fereastra principală asociată librării **SimPowerSystems**, după cum se poate observa în Figura 2.29.

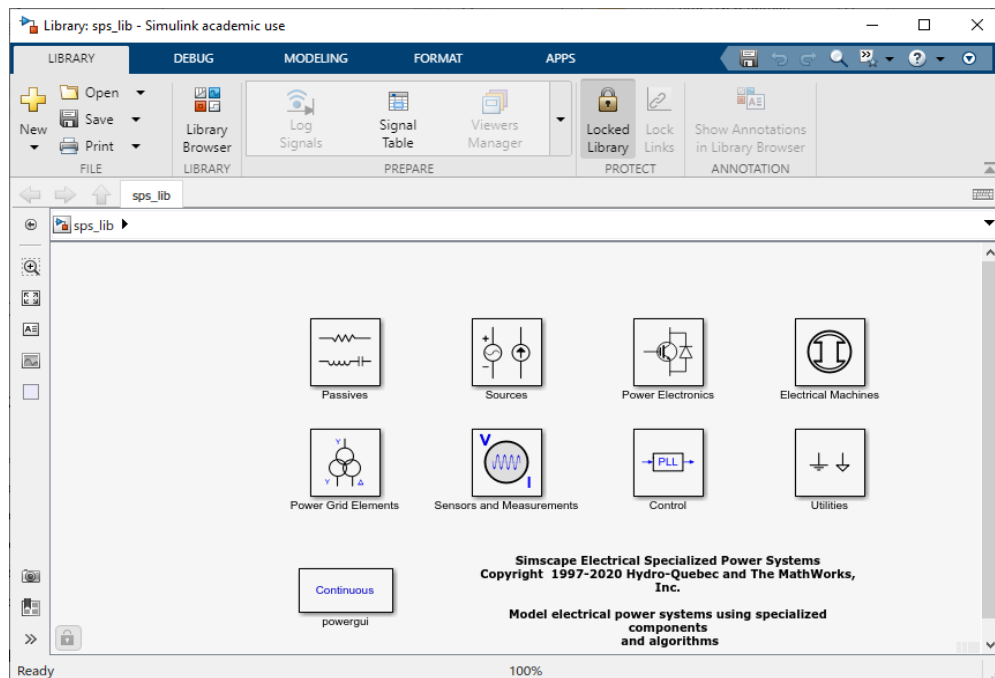


Figura 2.29. Fereastra principală a librării SimPowerSystems

După ce comanda a fost lansată, fereastra de simulare dezvăluie utilizatorului blocurile componente din structura internă a librăriei referitoare la:

- Modele ale surselor electrice (curent și tensiune);
- Modele ale elementelor din rețelele electrice (monofazate și trifazate): transformatoare, linii electrice etc.;
- Modele ale componentelor electronice;
- Modele ale mașinilor electrice (generatoare sincrone, motoare asincrone etc.);
- Modele ale echipamentelor de comutație;
- Aparate de măsură.
- Blocul *powergui* prin intermediul căruia permite se afișează mărimile de stare ale procesului simulat cu ajutorul unei interfețe grafice

În interiorul fiecărui bloc sunt integrate modele corespunzătoare diferitelor elemente, ce pot fi importate în propriul fișier de lucru. Fiecare element este reprezentat de un bloc special, având una sau mai multe intrări și ieșiri corespunzătoare diferitelor conectări cu alte elemente.

Aceste elemente folosesc un mediu de simulare ce permite construirea de modele utilizând tehnica de import *copy/paste*. Astfel, topologia proceselor simulate poate fi construită rapid, iar rezultatele pot fi accesate extrem de repede, în funcție de perioada de analiză. Interfața grafică face posibilă interconectarea simplă a componentelor din interiorul procesului simulat.

Cele mai folosite biblioteci în modelarea și simularea proceselor din sistemele electroenergetice sunt următoarele:

- Biblioteca **Sources**, prezentată în Figura 2.30, cuprinde blocuri care fac referire la diversele surse de curent (*AC Current Source*), surse de tensiune în curent continuu (*DC Voltage Source*) sau curent alternativ (*AC Voltage Source*), surse trifazate de tensiune etc.
- Biblioteca **Passives**, prezentată în Figura 2.31, are în componență blocuri asociate diverselor tipuri de elemente monofazate/trifazate întâlnite în rețelele electrice cum ar fi: circuite RLC serie sau paralel (*Series/Paralel RLC Branch*), sarcini de tip

RLC serie sau paralel (*Series/Paralel RLC Load*), cuadripoli in π pentru liniile electrice (*Pi Section Line*), transformatoare etc.

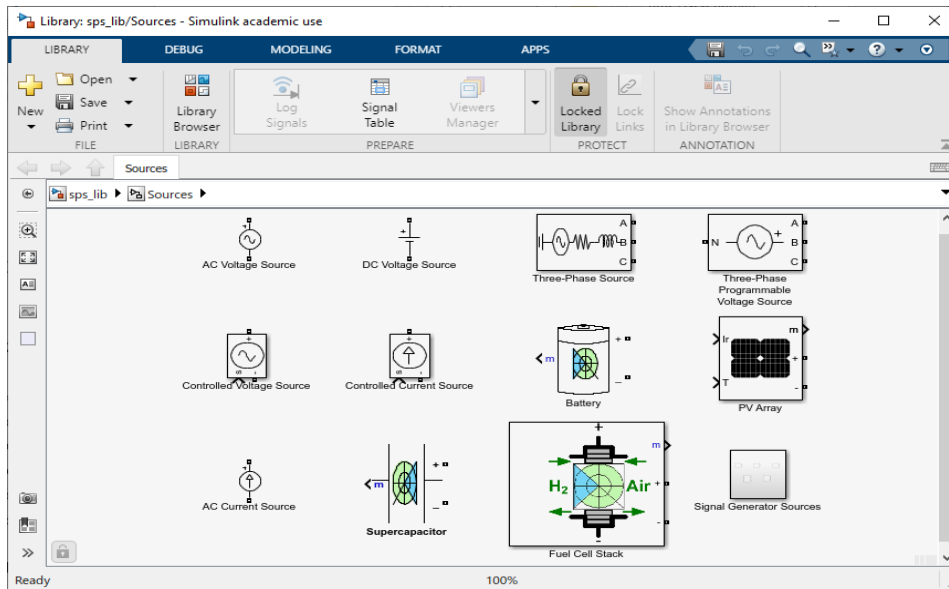


Figura 2.30. Elementele specifice bibliotecii **Sources**

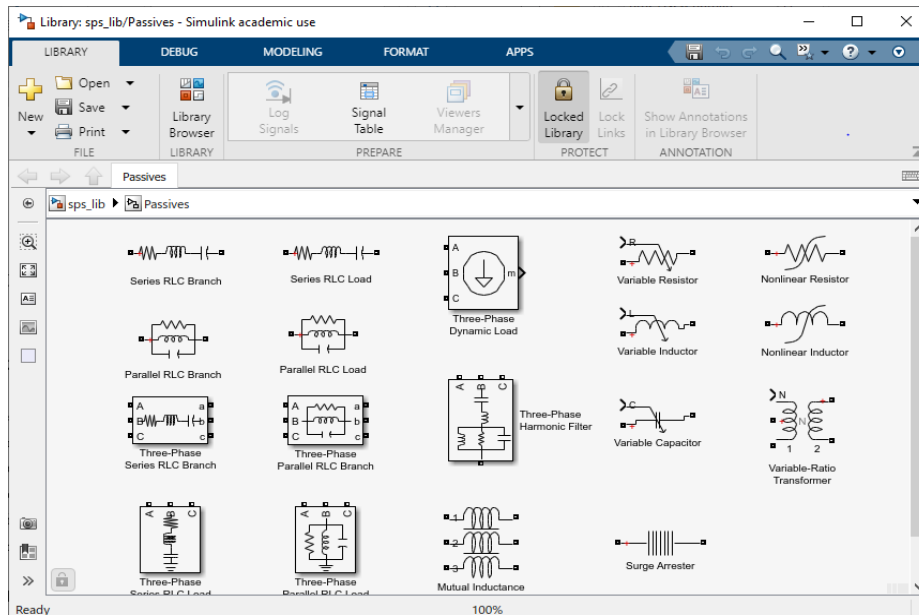


Figura 2.31. Elementele specifice bibliotecii **Passives**

- Biblioteca **Sensors and Measurements**, prezentată în Figura 2.32, are în componență blocuri asociate diverselor aparate de măsură monofazate/trifazate: pentru curent (*Current Measurement*), tensiune (*Voltage Measurement*) sau impedanță (*Impedance Measurement*), multimetru (*Multimeter*), dispozitiv de tip PMU sau digital Flickermeter, etc.

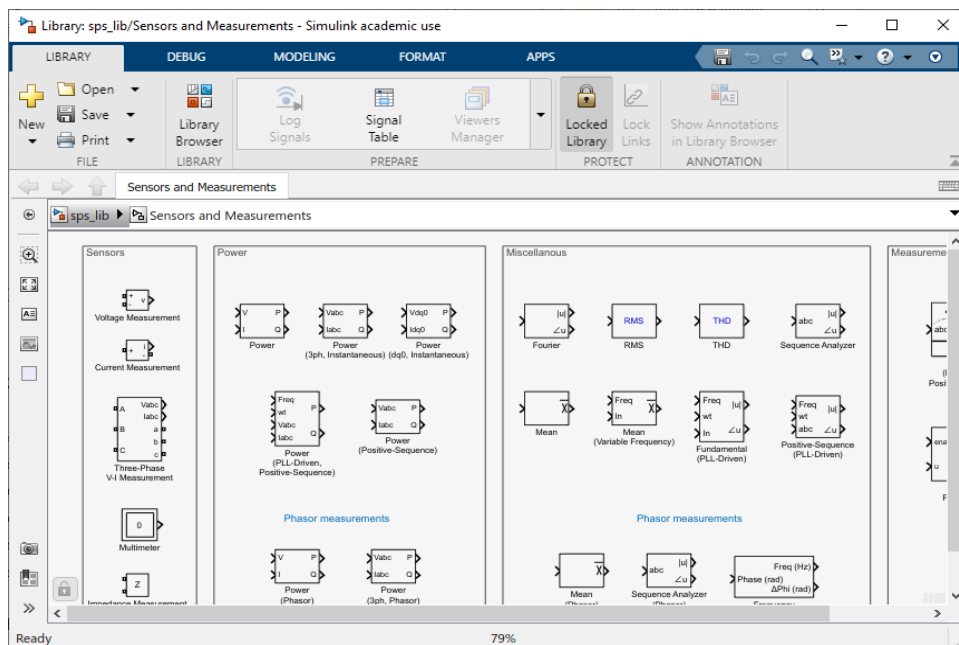


Figura 2.32. Elementele specifice bibliotecii *Sensors and Measurements*

2.3.3. Construirea modelului pentru simularea unui circuit electric

Pentru a putea înțelege modul în care se construiește un model de simulare folosind librăria **powerlib (sps_lib)**, se prezintă un exemplu de circuit electric cu două surse reale de tensiune de 50 V, respectiv 100 V, cu frecvența de 50 Hz, cu un defazaj de 10 grade, conectate în serie cu o rezistență de 100 Ω, pentru care se va urmări calculul și afișarea grafică a tensiunii. Sursele reale de tensiune au impedanțele echivalente Z_{ech1} și Z_{ech2} care au parametrii specifici: $R=180\ \Omega$, $L=26.5\ \text{mH}$ și $C=117.8\ \mu\text{F}$.

Pentru modelarea surselor de tensiune alternativă se folosește blocul *AC Voltage Source* din biblioteca **Sources**, care va fi importat în fereastra de lucru. În fereastra de dialog asociată acestui bloc vor fi introduse valorile următorilor parametri specifici:

amplitudinea (în [V]), faza inițială (în [grade]), frecvența (în [Hz]) și perioada de eșantionare (în [sec]). Dacă se dorește personalizarea acestui bloc, denumirea inițială va fi modificată și un nou nume ce conține parametrii caracteristici va fi introdus.

Modelarea impedanței echivalente a sursei se face cu ajutorul unui blocului *Series RLC Branch* din biblioteca **Passives** pentru care se definesc valorile rezistenței (în [Ω]), a inductanței (în [H]) și a capacității (în [F]).

Modelarea rezistenței se face cu ajutorul blocului *Series RLC Branch* din biblioteca **Passives** pentru care se introduce valoarea rezistenței în [Ω].

Valoarea tensiunii este măsurată cu ajutorul blocului *Voltage Measurement Block* integrat în librăria **Sensors and Measurements**. Afișarea grafică a tensiunii este realizată cu ajutorul blocului *Scope* importat din biblioteca **Sinks**.

Modelul de simulare împreună cu fereastra grafică, în care este reprezentată variația tensiunii, sunt prezentate în Figura 2.33.

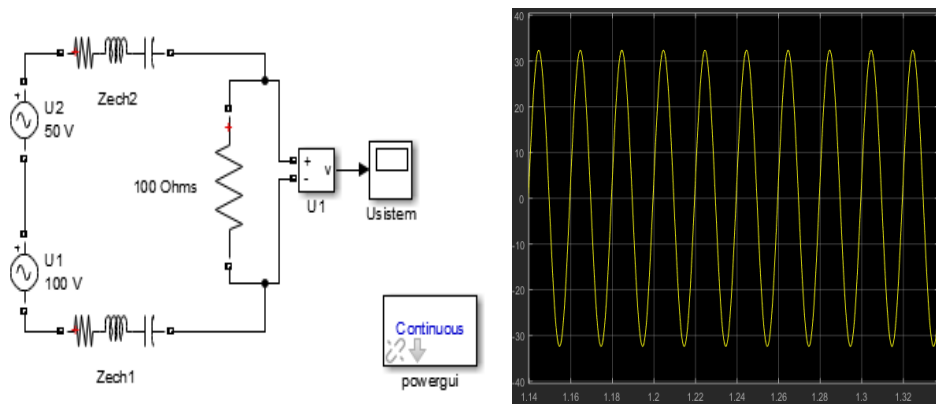


Figura 2.33. Modelul de simulare a două surse reale de tensiune și afișarea grafică a semnalului de tensiune

2.3.4. Aplicații

1. Se vor studia aspectele teoretice referitoare la:
 - Modul de accesare a librăriei **SimPowerSystems**;
 - Blocurile folosite în modelarea proceselor din SEE.
2. Se va construi cu ajutorul blocurilor din biblioteca **SimPowerSystems** modelul circuitului electric prezentat în Figura 2.33.

3. Se va analiza starea circuitului pe baza reprezentării grafice a tensiunii și a valorilor de stare înregistrate în interiorul blocului *powergui*.

2.4. Modelarea și simularea unui SEE

Modelarea SEE constă în construirea modelului schemei echivalente prin reprezentarea elementelor constructive și utilizarea datelor esențiale referitoare la nodurile consumatoare și generatoare. Modelul reprezintă o formă simplificată a procesului real, deseori fiind imposibilă o caracterizare amănunțită a tuturor elementelor constructive. În cele mai multe situații este suficient ca modelul rezultat să aibă caracteristici cât mai apropiate de cele reale.

2.4.1. Etapele modelării unui SEE test cu 3 noduri

Se consideră un SEE test cu trei noduri ce conține o linie de transport având lungimea de 150 km ce alimentează o zonă de consum, a se vedea Figura 2.34. Linia este compensată de două bobine de reactanță ce sunt amplasate la cele două capete (intrare și ieșire) ale liniei. Acestea se conectează în derivație pentru a absorbi puterea capacitivă a liniei de transport în regimurile de sarcină redusă sau în gol ale acestora, reducând astfel supratensiunile datorate circulațiilor curenților capacitivi.

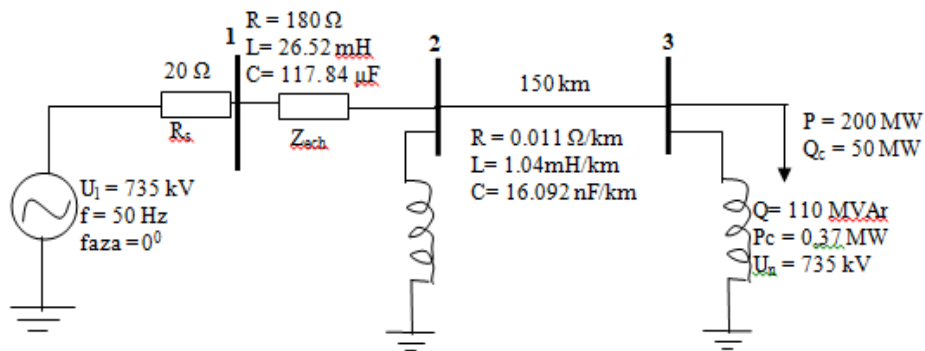


Figura 2.34. SEE test cu 3 noduri

Schema echivalentă a SEE ce urmează a fi modelat conține pentru fiecare element parametrii tehnici specifici. Procesul de simulare are două etape: în prima se urmărește

construirea modelului schemei echivalente a SEE folosind biblioteca **SimPowerSystems**, iar în cea de-a doua se calculează parametrii de stare (tensiune și curent) în toate nodurile, aceștia putând fi reprezentați grafic prin intermediul blocurilor de vizualizare.

Pașii parcurși în construirea modelului schemei echivalente sunt următorii:

- Din meniul **FILE** al ferestrei *powerlib (sps_lib)*, se deschide un fișier nou în care va fi construit modelul sistemului ce urmează a fi simulat. Fișierul va fi salvat în propriul director de lucru folosind un nume de identificare.
- Se deschide blocul corespunzător surselor electrice (*Sources*) de unde se va selecta sursa de tensiune alternativă. Blocul corespunzător sursei va fi copiat în fereastra de lucru. Urmează deschiderea ferestrei de dialog, Figura 2.35, în care vor fi introduși parametrii specificați în Figura 2.34, ce caracterizează fiecare componentă. Pentru identificarea rapidă a fiecărei componente, numele asociate acestora vor fi modificate.

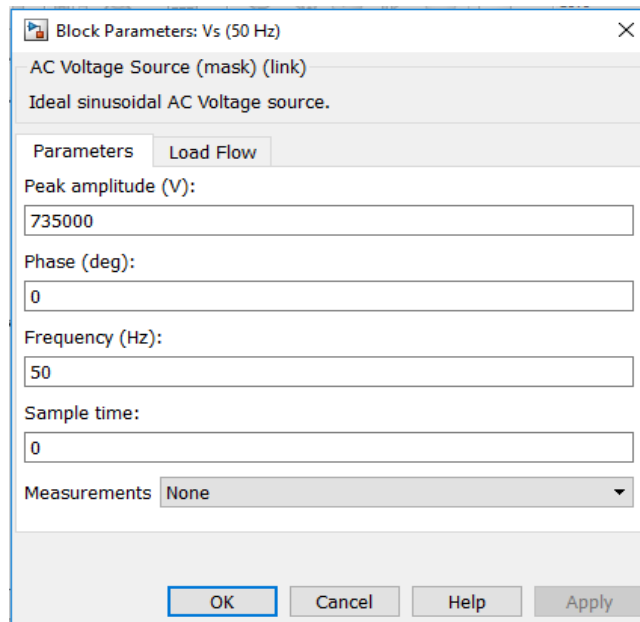


Figura 2.35. Fereastra de dialog a sursei de tensiune

- Pentru modelarea impedanței sursei reale de tensiune, caracterizată în acest caz doar de rezistență, se va copia din librăria **Passives**, circuitul RLC serie. Se va deschide fereastra de dialog a acestui bloc, în care se introduc parametrii

corespunzători. Pentru rezistența R_s se va introduce valoarea precizată, în timp ce pentru parametrii L și C se vor introduce valorile zero respectiv infinit (inf). În Figura 2.36 se prezintă fereastra de dialog specifică impedanței serie RLC, caracterizată numai de rezistența R_s , asociată sursei reale de tensiune.

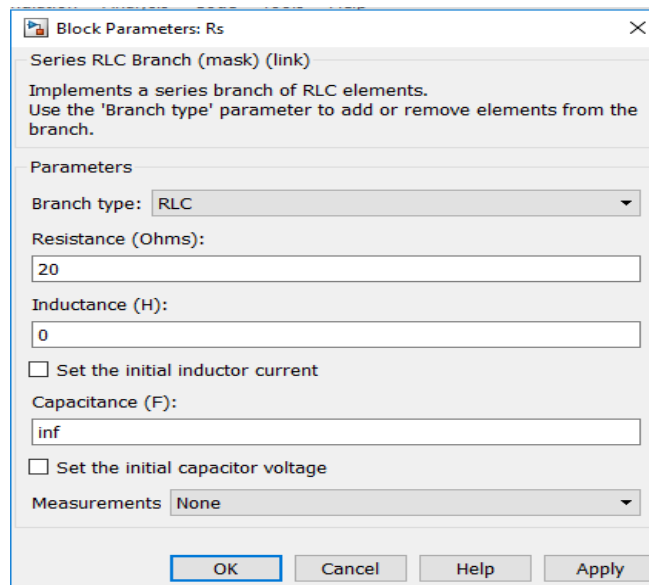


Figura 2.36. Fereastra de dialog a impedanței sursei de tensiune

- Pentru introducerea impedanței echivalente a circuitului echivalent aflat între sursa reală de tensiune și linia de transport analizată se va proceda la fel ca în pasul anterior. În Figura 2.37.a se prezintă prima parte a sistemului test analizat format din sursa reală de tensiune cu impedanța internă, caracterizată de rezistența sursei, și impedanța echivalentă a circuitului, Z_{ech} , iar în Figura 2.37.b se prezintă fereastra de dialog asociată impedanței echivalente a circuitului.
- Pentru introducerea liniei de transport, din biblioteca **Power Grid Elements** va fi copiat blocul corespunzător unei linii formată din cuadripoli în pi. În fereastra de dialog a acestui bloc, Figura 2.38, vor fi introduși parametrii caracteristici corespunzători unei linii electrice de transport.

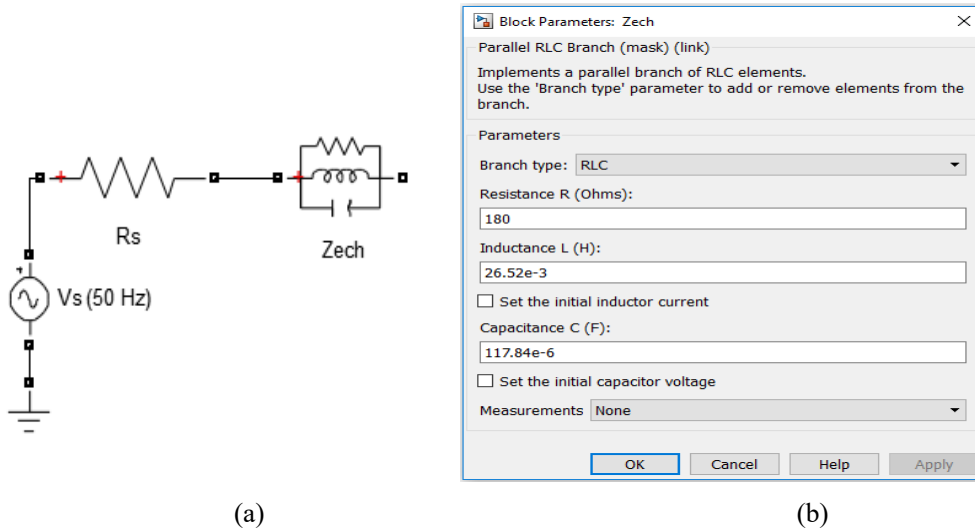


Figura 2.37. Partea inițială a modelului SEE cu V_s , R_s și Z_{ech} a circuitului și fereastra de dialog corespunzătoare impedanței Z_{ech} a circuitului

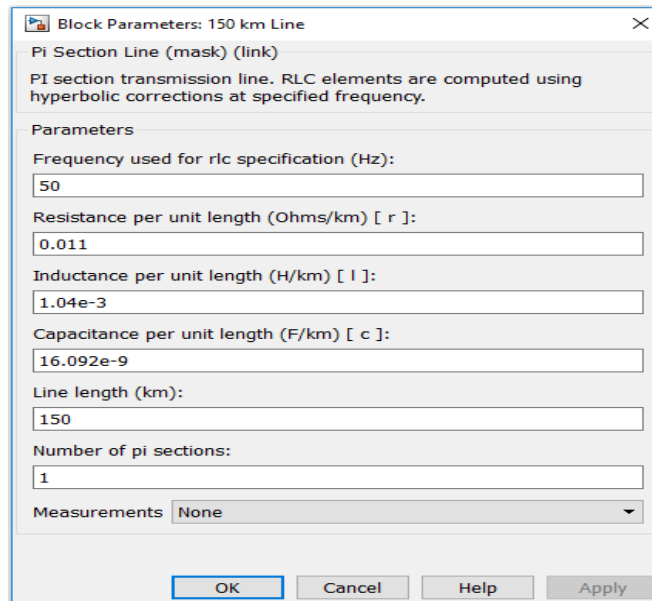


Figura 2.38. Fereastra de dialog a liniei de transport

- Bobinele de reactanță vor fi modelate printr-o sarcină serie RLC pe care utilizatorul o va identifica în biblioteca **Passives**. În fereastra de dialog corespunzătoare acestui bloc, Figura 2.39, se vor introduce parametrii specifici precizați în Figura 2.34.

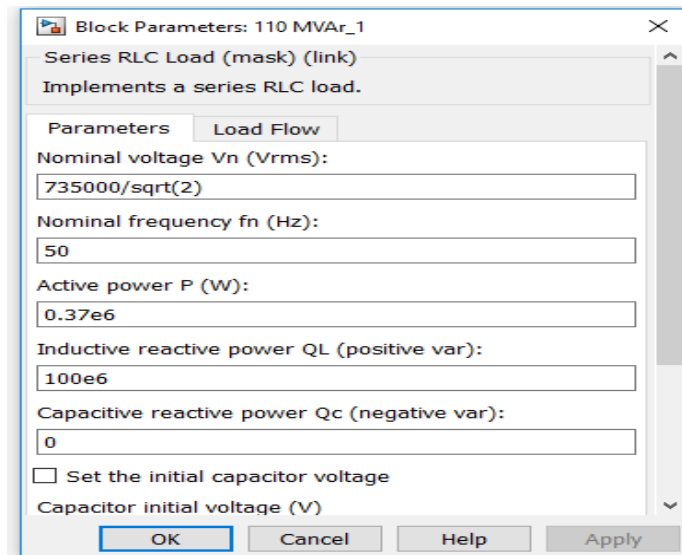


Figura 2.39. Fereastra de dialog a bobinelor de reactanță

- Consumul zonei alimentate va fi modelat printr-o sarcină paralel RLC pe care utilizatorul o va identifica în biblioteca **Passives**. În fereastra de dialog a acestui bloc, Figura 2.40, se vor introduce parametrii corespunzători zonei de consum.

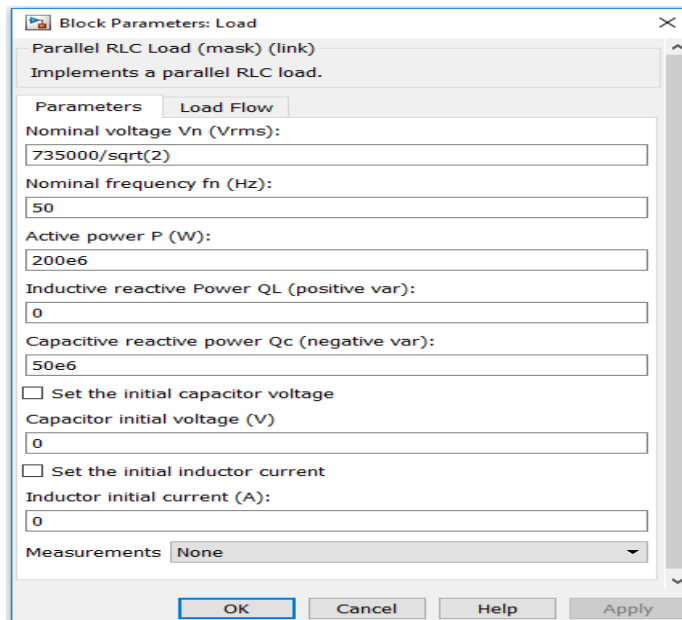


Figura 2.40. Fereastra de dialog a sarcinii alimentate din zona de consum

- Din biblioteca **Utilities** se va copia elementul corespunzător conectării la pământ a sursei de tensiune, a celor două bobine de reactanță și a sarcinii ce corespunde zonei de consum

Modelul final al SEE test cu 3 noduri din Figura 2.34, construit cu ajutorul blocurilor specifice bibliotecii **SimPowerSystems** (*powerlib/sps_lib*) este prezentat în Figura 2.41.

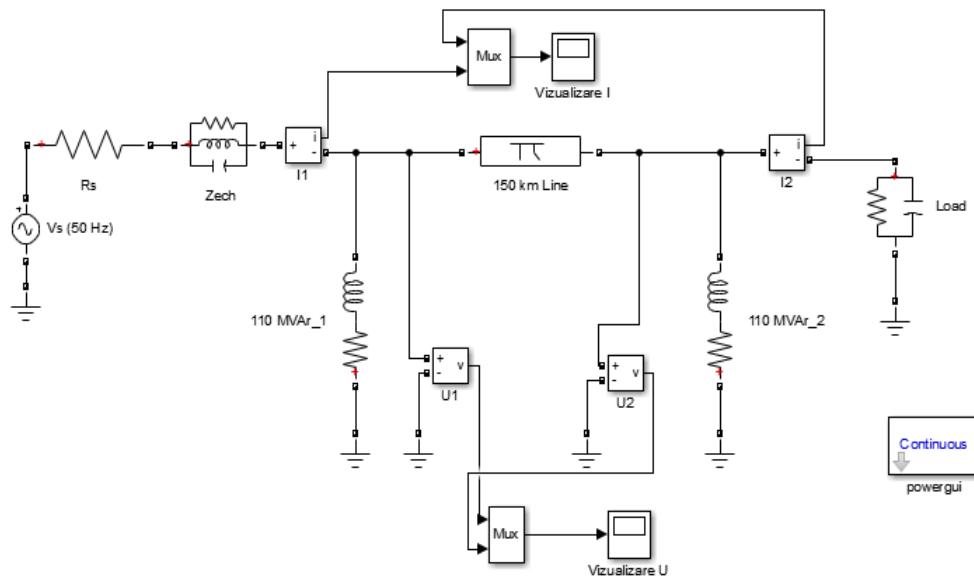


Figura 2.41. Modelul SEE test cu 3 noduri construit cu ajutorul blocurilor specifice bibliotecii **SimPowerSystems**

- Pentru monitorizarea variabilelor de stare (tensiuni și curenți) în diferite puncte ale SEE, se vor copia din biblioteca **Sensors and Measurements** elementele corespunzătoare dispozitivelor de măsură a tensiunii (voltmetru), respectiv curentului (ampermetru). Conectarea acestora se va face diferit (voltmetrele vor fi conectate în derivație, între fază și pământ, iar ampermetrele vor fi conectate în serie).
- Pentru reprezentarea grafică a tensiunii și curentului se va copia din librăria **Sinks** elementul de vizualizare (*Scope*). În scopul reprezentării în aceeași fereastră a celor două variabile, canalele de achiziție se vor conecta la intrarea în multiplexor.

- Pentru efectuarea simulării trebuie selectați parametrii de simulare. Aceasta se poate face deschizând fereastra *Simulation* → *Configuration Parameters*. În această fereastră se vor introduce timpii de pornire și de oprire ai duratei de simulare, se va alege metoda de simulare și tipul de pas (variabil sau fix).
- Din bara de meniu principală a modelului în care este reprezentată schema echivalentă a sistemului electroenergetic analizat se alege meniul *Simulation* → *Run*.
- Valorile efective și de vârf corespunzătoare tensiunilor și curenților (linie și fază) vor putea fi citite din fișierul de lucru asociat blocului *powergui*.

2.4.2. Aplicații

1. Se vor identifica componentele SEE test analizat și caracteristicile tehnice asociate acestora.
2. Folosind biblioteca **SimPowerSystems** se va construi modelul de simulare asociat SEE test.
3. Se vor introduce în modelul construit dispozitivele de măsură pentru vizualizarea variației în timp a tensiunii și curentului la cele două capete ale linie de transport citindu-se la finalul simulării din fișierul de lucru asociat blocului *powergui* valorilor efective și de vârf ale parametrilor de stare din fiecare nod al sistemului.
4. Se vor calcula tensiunea și curentul la cele două capete ale liniei și se va analiza valoarea acestor două mărimi de stare pentru diverse lungimi ale liniei cuprinse în intervalul 25-250 km. Tabelul 2.2 se va completa cu valorile obținute pentru fiecare caz analizat.
5. Se vor calcula tensiunea și curentul pe reactoarele asociate bobinelor de reactanță și se vor analiza cazurile în care fiecare reactor sunt este scos din funcțiune, pentru diverse lungimi ale liniei de transport (50, 150 și 250 km). Tabelul 2.3 se va completa cu valorile obținute pentru fiecare caz analizat.
6. Se vor analiza datele obținute și se vor formula concluzii.

PARTEA 2

SIMULATORUL POWERWORLD

CAPITOLUL 3

- **Prezentare generală**
- **Caracteristici ale simulatorului PowerWorld**
- **Conducerea operativă a unui SEE**
- **Conducerea operativă a micro-rețelelor**

CAPITOLUL 3

SIMULATORUL POWERWORLD

3.1. Prezentare generală

Pornind de la cerințele Operatorilor de Transport și Distribuție dictate de necesitatea optimizării activităților de proiectare, exploatare, întreținere și conducere operativă, pachetele software de simulare dedicate domeniului electroenergetic trebuie să răspundă prin robustețe, flexibilitate, interfață ”prietenosă” cu utilizatorul și, nu în ultimul rând, atractivitate din punct de vedere al facilităților de ordin tehnic și financiar.

În prezent, un software de simulare dedicat domeniului electroenergetic trebuie să îndeplinească următoarele funcții:

- Afișarea în timp real a mesajelor, inclusiv cele de eroare, și accesul on-line la meniul Help;
- Existența unei baze de date unice tip “nucleu”, în jurul căreia să se dezvoltă toate aplicațiile software;
- Posibilitatea utilizării, selectării și configurării simbolurilor grafice în formă ASCII, IEC, transferul acestora și dezvoltarea unor pictograme definite de utilizator;
- Aplicațiile software să fie concurente și să-și transmită reciproc rezultatele;
- Interfața grafică cu utilizatorul să fie interactivă și corectivă în timp real;
- Baza de date să fie orientată ODBC (Open Data Base Connectivity) - Microsoft Acces, SQL, Oracle;

- Programele software să fie prevăzute cu un limbaj care să permită utilizatorului integrarea și dezvoltarea unor aplicații proprii (implementarea unor noi modele asociate, de exemplu, sistemelor de reglare automată a tensiunii (RAT), sisteme de reglare a vitezei (SRV), sisteme de stabilizare a oscilațiilor (PSS), sisteme de excitație (SE) etc.);
- În cadrul activităților de management, programul să aibă o interfață grafică cu sistemele standard SCADA existente pe piață;
- Gestionarea formatului grafic, a caracteristicilor schemelor în ansamblu, precum și individual pentru fiecare element definit;
- Interfața grafică să permită compatibilitatea cu sistemele CAD standard, permițând astfel importarea directă a schemelor CAD ale utilizatorului în diverse formate *.dwg, *.dxf, *.wmf, *.plt, etc.
- Interfața grafică să integreze și un sistem de desenare CAD profesional, de sine stătător.

Procesul de conducere prin dispecer a proceselor din SEE presupune transmiterea într-un punct de comandă și control (PCC) a unui set de informații și eventual, de a permite operatorului sau dispecerului să intervină în orice moment, prin intermediul telecomenzilor în instalațiile supravegheate. Din acest motiv, în activitatea de conducere operativă se folosesc simulatoare performante care permit o interfațare grafică cu sistemele SCADA. Unul dintre aceste simulatoare este PowerWorld, acesta având posibilitatea de a simula, analiza și vizualiza într-un mod simplu și rapid orice tip de proces din SEE.

3.2. Caracteristici ale simulatorului PowerWorld

Simulatorul **PowerWorld** (PW Simulator) este un pachet software interactiv de analiză și simulare a proceselor din SEE, conceput în așa fel încât să simuleze regimurile de funcționare într-un interval de timp care poate varia de la câteva minute la câteva zile. Software-ul conține un pachet de simulare și analiză a regimului permanent a SEE și este recomandat, de asemenea, și în studiile privind analiza siguranței în alimentarea cu

energie a consumatorilor. PowerWorld este capabil de a efectua simulări și analize ale regimurilor SEE cu maxim 60.000 de noduri.

Tehnicile avansate de vizualizare folosite în mod interactiv au condus la o interfață grafică (Graphical User Interface - GUI) atractivă, extrem de intuitivă și ușor de utilizat. GUI include diagrame on-line animate cu suport pentru panoramare (ce face o prezentare generală asupra evenimentelor analizate), zoom și afișare condiționată a obiectelor.

PowerWorld permite utilizatorului să poată vedea în timpul procesului de simulare modul de funcționare a SEE, interacționând cu ușurință prin intermediul diverselor instrumente incluse și afișajelor animate. În plus, sarcinile din nodurile SEE pot fi configurate pentru a se modifica automat. Astfel, decidentul poate să efectueze o serie de modificări în sistem prin utilizarea unei diagrame dinamice on-line cu scopul de a influența starea SEE, modificări ce fac referire la puterea produsă de sursele de generare (MW), schimbarea plotului de funcționare a transformatoarelor sau a stării unui echipament de comutație (închis/deschis). Alte ferestre de dialog cu utilizatorul permit decidentului să interacționeze și cu alte zone ale SEE, pentru a monitoriza sau modifica diversele opțiuni asociate procesului de simulare. Actualizarea rapidă a datelor afișate permite decidentului să primească un feedback instantaneu asociat efectului acțiunilor sale.

Platforma interactivă integrează o multitudine de sarcini (task-uri) ce pot fi asociate analizei stării unui SEE. Dintre acestea, cele mai importante se referă la:

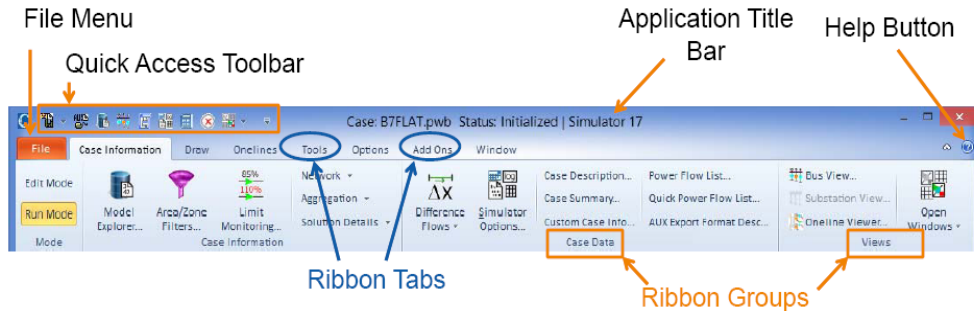
- calculul regimului permanent;
- repartiția optimă a puterilor active între centralele electrice;
- analiza contingențelor;
- analiza pierderilor de putere/energie;
- analiza sensibilității;
- analiza stabilității tranzitorii etc.

3.2.1. Construirea modelelor asociate componentelor unui SEE

PowerWorld este similar altor limbaje de programare sau softuri de simulare, având în partea superioară a interfeței cu utilizatorul meniurile și barele de instrumente,

iar în partea de jos proiectul în curs ce cuprinde procesul simulat (de exemplu, optimizarea regimurilor de funcționare ale unei rețele electrice de transport sau distribuție a energiei electrice).

Meniul de bază include funcțiile prezentate în Figura 3.1.



File:	- <i>open, save, close și print</i> a rețelei analizate;
Simulation:	- <i>start, pause, resume</i> simulare a rețelei analizate. Odată ce simularea a început o imagine animată cu circulațiile de putere va fi afișată;
Case Information:	- în acest meniu sunt cuprinse informațiile despre datele de intrare și despre datele de ieșire aferente rețelei analizate;
Options/Tools:	- pune la dispoziție instrumentele de analiză și opțiuni;
LP OPF:	- asigură opțiunile pentru calcul OPF;
Window:	- similar cu alte aplicații, toate fișierele deschise sunt indicate;
Help:	- acordă ajutor utilizatorilor.

Figura 3.1. Bara de meniu principală a softului de simulare PowerWorld

PowerWorld oferă două moduri de lucru: editare (*Edit Mode*) și rulare/simulare (*Run Mode*).

În modul de lucru *Edit* se poate crea un nou caz de simulare sau se pot modifica cazurile deja existente prin intermediul afișajelor text sau grafic. Toate barele de instrumente din meniu pot fi deschise, iar în interiorul fiecăruia pot fi identificate diferite

elemente componente ale SEE, ce pot fi integrate în propriul fișier de lucru. Pentru fiecare element sunt necesare o serie de informații care fac referire la parametrii caracteristici ai acestuia.

În modul de lucru *Run* pot fi identificate instrumentele de analiză și simulare a regimurilor permanente de funcționare sau de analiză a sensibilității: *Contingency Analysis*, *Time-Step Simulation*, *Optimal Power Flow (OPF)*, *PV and QV Curve Tools (PVQV)*, *Available Transfer Capability (ATC)*, *Security Constrained OPF (SCOPF)*, *Sensitivity Analysis*, *Loss Analysis*, *Fault Analysis*, *Transient Stability*.

3.2.2. Modelarea și simularea unui SEE cu 3 noduri

Se consideră un SEE test cu 3 noduri ce conține o linie electrică și un transformator de putere prin intermediul căroră este alimentată o zonă de consum, a cărui model de simulare este prezentat în Figura 3.2. Componentele SEE sunt caracterizate de parametri tehnici prezentați în Tabelul 3.1.


Tabelul 3.1. Parametri tehnici asociați elementelor componente

Generator:	$P_{max} = 350$ MW – valoarea maximă a puterii active generate, $Q = \pm 90$ MVar limitele de variație ale puterii reactive;
Linia electrică:	$R = 0.01$ p.u., $X = 0.06$ p.u., $B = 0.10$ p.u.;
Transformator:	U 110/20 kV, $X = 0.05$ p.u.;
Zona de consum:	$P = 100$ MW, $Q = 45$ MVar.



Figura 3.2. Modelul de simulare al SEE test cu 3 noduri construit în PowerWorld

Pașii parcurși în construirea modelului de simulare sunt următorii:

- Din meniul *File* se va selecta *New Case* pentru a construi modelul de simulare. În orice moment al simulării, acest model poate fi salvat selectând *Save Case* (sau *Save Case as...*) din meniul *File*.
- **Introducerea elementului tip nod**, se selectează *Bus* sau se apasă  butonul din bara de instrumente – *Insert*. În cazul în care bară de instrumente nu este disponibilă, aceasta poate fi integrată din meniul *Window* → *Toolbars* și selectând *Insert*. Utilizând mouse-ul, o fereastră de dialog se va deschide făcând click în orice punct din modelul de simulare, Figura 3.3:

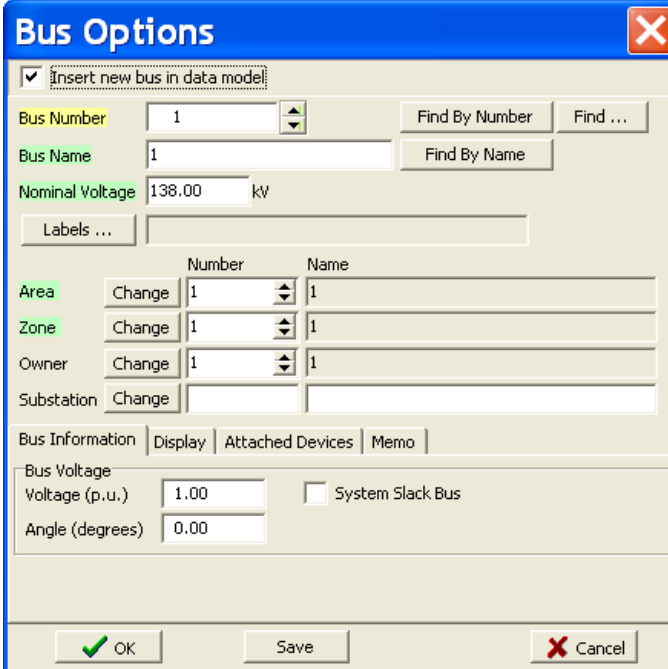



Figura 3.3. Fereastra de dialog pentru introducerea datelor asociate elementului tip nod

Se introduce tensiunea nominală $U_n = 110$ kV pentru nodul de echilibru (nodul 1). Modul de orientare a nodului se poate selecta utilizând opțiunea *Display*, după care se apasă butonul *OK*. Celelalte două noduri din modelul de simulare se vor introduce în același mod.

- **Introducerea elementului tip generator** se poate face folosind unul dintre următoarele două moduri: pentru primul se apasă butonul  din meniul *Insert/Generator*, iar al doilea presupune utilizarea într-o primă fază a butonului *Insert*, iar apoi se face clic cu mouse-ul pe nodul 1, care tocmai a fost introdus, în așa fel încât generatorul să fie asociat nodului. Fereastra de dialog asociată acestui element este prezentată în Figura 3.4.

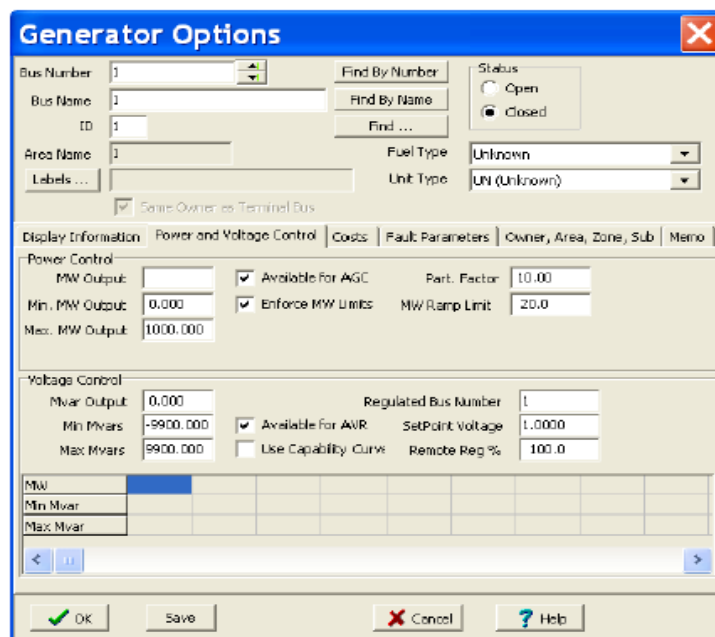



Figura 3.4. Fereastra de dialog pentru introducerea datelor asociate elementului tip generator

Deoarece nodul 1 este nod de echilibru, puterea injectată va fi determinată în urma calculelor de regim permanent. Totuși, valoarea puterii maxime generate de generator $P_{max} = 350$ MW trebuie introdusă în câmpul *Max MW Output*. Având în vedere că generatorul are limite de variație pentru puterea reactivă, se vor introduce valorile $Q_{min} = -90$ MVar și $Q_{max} = 90$ MVar în câmpurile *Min MVars* și *Max MVars*. În câmpul *Information Display* se va selecta orientare la stânga. După completarea tuturor câmpurilor se apasă butonul *OK*.

- **Introducerea elementului tip linie electrică** se poate face folosind unul dintre următoarele două moduri: pentru primul se apasă butonul  din meniul *Insert/Transmission Line*, iar al doilea presupune utilizarea într-o primă fază a butonului *Insert*, iar apoi se face click cu mouse-ul succesiv pe nodurile 1 și 2. În ambele moduri se va deschide fereastră de dialog din Figura 3.5.

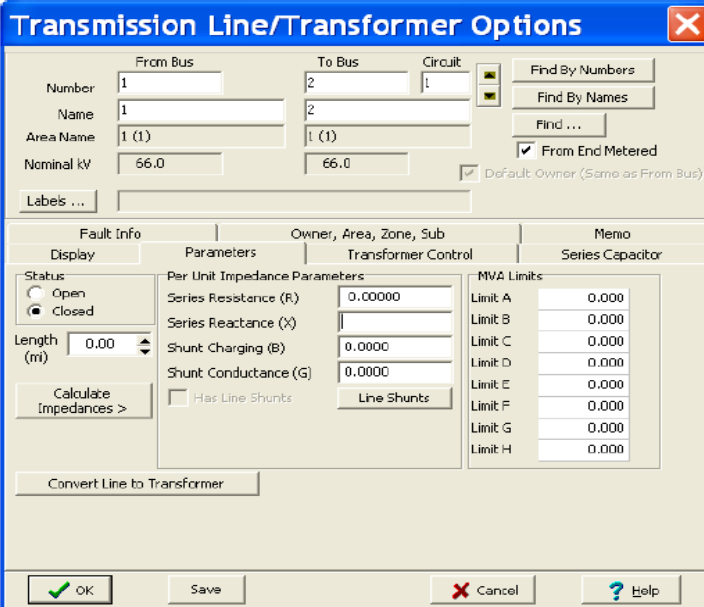



Figura 3.5. Fereastra de dialog pentru introducerea datelor asociate elementului tip linie electrică

Se introduc parametrii R , X , și B , în unități relative, și capacitatea maximă de transport în câmpul *Limit A*, după care se apasă butonul *OK*. În final, o linie electrică, având la fiecare capăt un întrerupător pentru conectare/deconectare și o diagrama circulară poziționată la mijloc cu rolul de a oferi informații privind încărcarea acesteia, va fi integrată în model.

- **Introducerea elementului tip transformator** se poate face folosind unul dintre următoarele două moduri: pentru primul se apasă butonul  din meniul *Insert/Transformer*, iar al doilea presupune utilizarea într-o primă fază a butonului

Insert, iar apoi se face click cu mouse-ul pe nodul 2 și dublu-clic pe nodul 3, după care se va deschide fereastră de dialog din Figura 3.6.

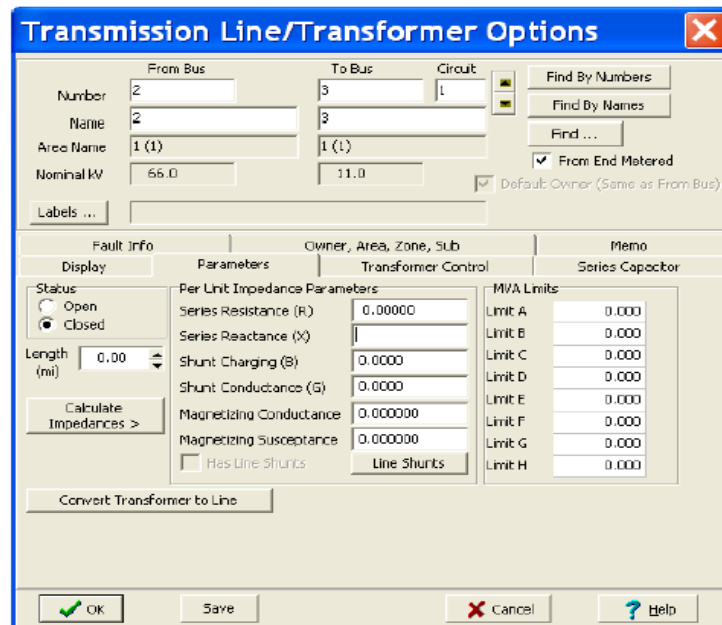



Figura 3.6. Fereastra de dialog pentru introducerea datelor asociate elementului tip transformator

Se introduce reactanța X , în unități relative, și puterea nominală în câmpul *Limit A*, după care se apasă butonul *OK*. De asemenea, există o opțiune pentru modificarea poziției plotului de funcționare a transformatorului din câmpul *Transformer Control* (se poate selecta opțiunea de a funcționa fără modificarea plotului - *off-nominal ratio* sau se poate alege opțiunea *Automatic Control Enabled*).

- **Introducerea elementului tip sarcină** se poate face folosind unul dintre următoarele două moduri: pentru primul se apasă butonul  din meniul *Insert/Load*, iar al doilea presupune utilizarea într-o primă fază a butonului *Insert*, iar apoi se face clic cu mouse-ul pe nodul 3 în așa fel încât sarcina să fie asociată nodului. Fereastra de dialog care definește elementul de tip linie este prezentată în Figura 3.7.

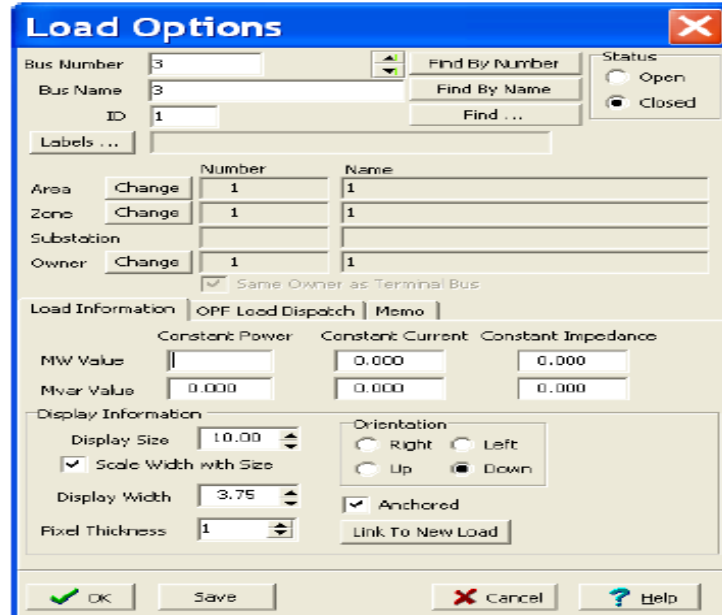


Figura 3.7. Fereastra de dialog pentru introducerea datelor asociate elementului tip sarcină

În câmpul *Constant Power* se vor introduce valorile puterilor active și reactive consumate ($P=100$ MW; $Q = 45$ MVar). După completarea tuturor câmpurilor se apasă butonul *OK*.

- **Introducerea elementului de compensare.** Adesea, într-o rețea electrică de distribuție la IT, MT sau JT este necesar să se adauge componentele de compensare a puterii reactive, cum ar fi bateriile de condensatoare sau bobinele de reactanță, cu scopul de a menține nivelul tensiunii între limitele admisibile. În acest context, o baterie de condensatoare va fi amplasată în nodul 3.


Introducerea elementului de compensare se poate face folosind unul dintre următoarele două moduri: pentru primul se apasă butonul  din meniul *Insert/ Switched Shunt*, iar al doilea presupune utilizarea într-o primă fază a butonului *Insert*, iar apoi se face clic cu mouse-ul pe nodul 3, care tocmai a fost introdus, în așa fel încât elementul să fie asociat nodului. Fereastra de dialog asociată elementului de compensare este prezentată în Figura 3.8.

Figura 3.8. Fereastra de dialog pentru introducerea datelor asociate elementului de compensare (baterie de condensatoare)

Se introduce valoarea 20 MVar în câmpul *Nominal MVar* (valoarea inițială). Dacă se dorește o compensare fixă se face clic pe *Fixed*, după care se apasă butonul *OK*. Dacă se dorește o compensare variabilă, se face apăsând clic pe butonul *Discrete* în *Control Mode*, astfel încât în fereastra de dialog se poate introduce numărul de trepte. Se apasă butonul dreapta a mouse-ului pe valoarea 20 MVar în diagrama de simulare pentru a se deschide fereastra de dialog din Figura 3.9.

Figura 3.9. Fereastra de dialog pentru introducerea datelor asociate elementului de compensare variabilă

Se introduce valoarea 0,5 în opțiunea *Delta per Mouse Click*. Acesta este valoarea treptei de compensare, în MVAR, care poate fi crescută sau micșorată la fiecare apăsare pe butonul care va fi disponibil atunci când se apasă *OK*.

După construirea modelului se va continua cu procesul de simulare în modul *Run*, aflat în bara de instrumente, selectând *Simulation* urmat de opțiunile *Solve* și *Animate*.

3.2.3. Aplicații

1. Se vor studia aspectele teoretice referitoare la:
 - modul de lansare în execuție a simulatorului PowerWorld;
 - identificarea funcțiilor de bază folosite în modelarea și analiza SEE;
 - crearea modelelor de simulare;
 - accesarea elementelor din bara de meniu și modul de inserare a acestora în fereastra de lucru a modelului de simulare;
 - salvarea și lansarea în execuție a modelului simulat.
2. Se va construi modelul din Figura 3.2 și se va simula regimul permanent de funcționare asociat datelor de intrare indicate de către cadrul didactic.

3.3. Conducerea operativă a unui SEE

Conducerea operativă prin dispecer a SEE asigură exploatarea coordonată a instalațiilor electrice și echipamentelor componente ale acestuia și se realizează în mod unitar, luând toate măsurile necesare ca instalațiile să funcționeze în condiții de siguranță la parametrii stabiliți, să asigure efectuarea lucrărilor de mentenanță în conformitate cu normele în vigoare, să asigure intervenția promptă în situații de avarii, cu disponibilizarea echipamentelor în timpul cel mai scurt posibil, conform cerințelor centrului de dispecer cu autoritate de decizie, să asigure formarea și perfecționarea personalului operațional pentru operarea corespunzătoare a echipamentelor și instalațiilor, în conformitate cu reglementările tehnice și normativele în vigoare.

Modul, principiile și cerințele care stau la baza activității de conducere operațională a SEE la nivel de dispecer și instalație (centrală, stație electrică) sunt reglementate în

România două normative: PE 029/97 - “*Normativ de proiectare a sistemelor informatice pentru conducerea prin dispecer a instalațiilor energetice din Sistemul Energetic Național*” și PE 117/92 - “*Regulament pentru conducerea prin dispecer în Sistemul Energetic Național*”.

3.3.1. Scopul conducerii prin dispecer a SEE

Scopul conducerii prin dispecer a SEE este asigurarea funcționării acestuia conform normelor, în condiții de siguranță, calitate și economicitate, prin exploatarea coordonată a instalațiilor și echipamentelor componente ale SEE, făcând posibilă realizarea următoarelor obiective:

- funcționarea unitară a SEE și alimentarea cu energie electrică a tuturor consumatorilor în condiții de siguranță, calitate și economicitate;
- utilizarea rațională a resurselor hidroenergetice și a combustibililor pentru producerea energiei electrice;
- asigurarea unui echilibru permanent între producția și consumul de energie electrică pentru menținerea frecvenței nominale;
- coordonarea regimurilor de funcționare și a manevrelor din instalațiile electrice ale SEE, în regim normal de funcționare și în situații de avarii;
- efectuarea manevrelor de coordonare, de execuție și prin telecomandă;
- reglarea schimburilor de energie electrică cu sistemele energetice ale altor țări, în cazul funcționării interconectate;
- corelarea producției energiei electrice cu cea termică, la centralele cu cogenerare, în conformitate cu reglementările în vigoare.

Activitatea de conducere operațională a SEE prin centre de dispecer se desfășoară în timp real, practic simultan cu procesul tehnologic (culegerea și înregistrarea datelor, reglajul frecvență-putere de schimb, reglajul puterilor pe centrale, reglajul tensiunilor, comanda în caz de incident etc.) sau în timp real extins, reprezentând decizii luate pe baza datelor culese în timp real (supravegherea stabilității funcționării SEE și optimizarea regimurilor de funcționare).

Există, de asemenea, cazul în care activitatea de conducere operațională se desfășoară off-line, ceea ce presupune:

- pregătirea regimurilor de funcționare;
- planificarea regimurilor grupurilor generatoare;
- analiza post-avarie a funcționării rețelei;
- analiza incidentelor;
- evaluarea siguranței în funcționare pe baza calculului indicatorilor de stare;
- prelucrarea și analiza statistică privind comportarea în exploatare a echipamentelor;
- pregătirea personalului.

Activitatea desfășurată în timp real (on-line), respectiv cea în timp real extins este realizată de către departamentul de comandă operativă, iar cea din off-line de departamentul de conducere funcțională.

3.3.2. Modelarea și simularea regimurilor de funcționare ale SEE

Se consideră SEE din Figura 3.10 cu 11 noduri (5 noduri generatoare și 6 noduri consumatoare), având tensiunea nominală de 220 kV. SEE este caracterizat de parametrii caracteristici ai elementelor componente prezentați în Tabelul 3.2. Tabelul 3.3 prezintă parametrii caracteristici ai liniilor electrice.

Tabelul 3.2. Parametrii caracteristici ai elementelor componente din SEE analizat

Nod	Elemente conectate	P[MW] / Q[MVAr]
Nod 1	Generator 1	400 MW
Nod 2	Consumator 1	190 MW/130 MVAr
Nod 3	Generator 2	600 MW
Nod 4	Consumator 2	200 MW/130 MVAr
Nod 5	Generator 3	600 MW
Nod 6	Consumator 3	190 MW/120 MVAr
Nod 7	Generator 4	250 MW
Nod 8	Consumator 4	150 MW/90 MVAr
Nod 9	Consumator 5	200 MW/140MVAr
Nod 10	Generator 5	600 MW
Nod 11	Consumator 6	220 MW/135 MVAr

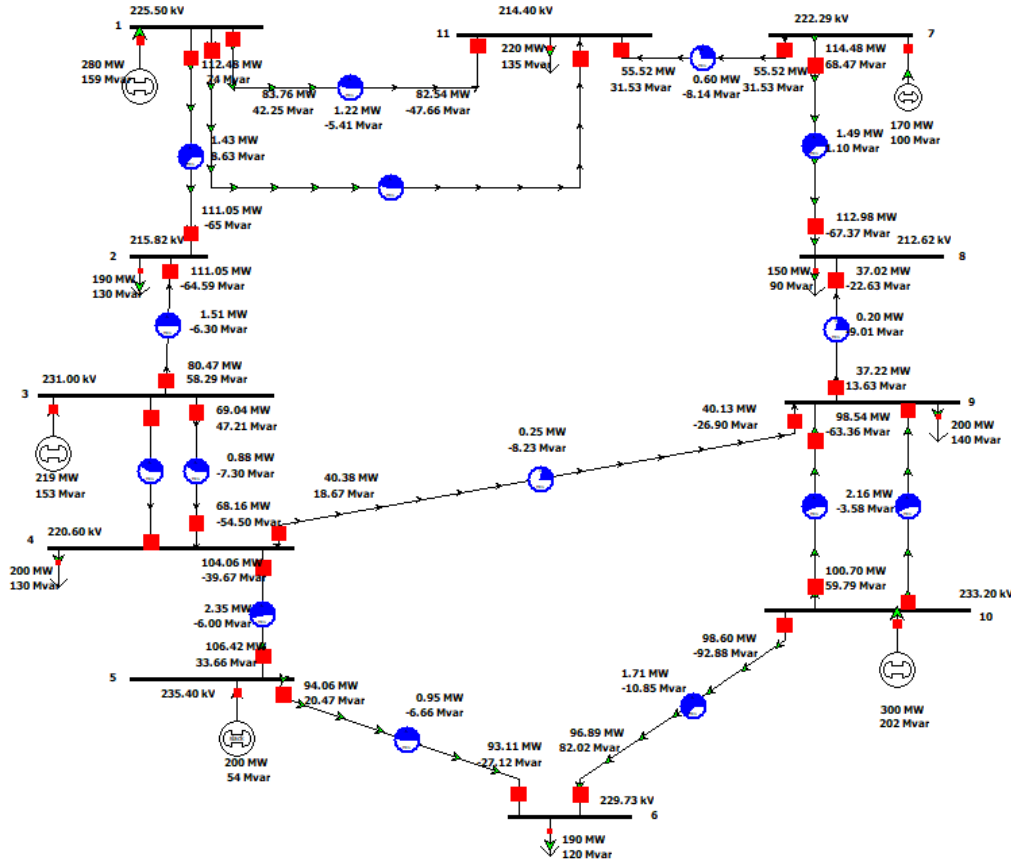


Figura 3.10. Sistemul test cu 11 noduri modelat în PowerWorld

Tabelul 3.3. Parametrii caracteristici ai liniilor electrice

Linia	R [p.u.]	X[p.u.]	B[p.u.]
Nod 1 Nod 2	0.00830	0.05000	0.08080
Nod 1 Nod 11	0.01360	0.08640	0.13170
Nod 2 Nod 3	0.01530	0.09340	0.15050
Nod 3 Nod 4	0.01260	0.07800	0.12070
Nod 4 Nod 5	0.02020	0.12980	0.19650
Nod 4 Nod 9	0.01140	0.06510	0.09780
Nod 5 Nod 6	0.01140	0.06920	0.11130
Nod 6 Nod 10	0.01100	0.00667	0.10740
Nod 7 Nod 8	0.00830	0.05000	0.08080
Nod 11 Nod 7	0.01370	0.07830	0.11760
Nod 8 Nod 9	0.01100	0.06670	0.10740
Nod 9 Nod 10	0.01630	0.10020	0.16120

3.3.3. Aplicații

1. Să se construiască modelul asociat SEE prezentat în Figura 3.10 și să se simuleze regimurile de funcționare asociate:
 - datelor de intrare prezentate în Tabelul 3.2;
 - deconectării liniei 3-4;
 - deconectării simultane a liniilor 1-11, 3-4, 5-6, 9-10, 7-11;
 - deconectării succesive a generatoarelor, într-o ordine stabilită aleatoriu, astfel încât condiția de continuitate în alimentare a consumatorilor să fie satisfăcută.
2. Se va analiza starea SEE în toate cazurile prezentate la punctul 1 și se va face o analiză comparativă a acestora raportată la regimul normal de funcționare referitoare la: tensiuni în noduri, circulații de puteri pe linii, gradul de încărcare al liniilor, pierderi de putere etc.

3.4. Conducerea operativă a micro-rețelelor

Cererea din ce în ce mai ridicată de energie, reducerea continuă a rezervelor naturale de combustibili fosili, respectiv îngrijorarea globală tot mai acută privind poluarea mediului, a împins omenirea către explorarea de noi mijloace de producere a energiei electrice utilizând surse regenerabile, nepoluante. Dintre tehnologiile energetice utilizând surse regenerabile, cele bazate pe conversia energiei solare și eoliene în energie electrică sunt tehnologii curate, silențioase, robuste, cu costuri mici de întreținere și cu impact ecologic redus. Lumina soarelui, respectiv energia cinetică a vântului sunt gratuite, practic inepuizabile, neimplicând reziduuri nocive sau emisii de gaze cu efect de seră. Pe lângă aceste avantaje, sistemele de producere utilizând energiile solară și eoliană ridică însă numeroase probleme tehnice datorită caracterului fluctuat.

Prin urmare, în regim autonom, pentru asigurarea continuității alimentării cu energie electrică a consumatorilor, este necesar a avea și alte surse de producere sigure și nefluctuante. Astfel de sisteme de producere descentralizată a energiei electrice utilizând surse combinate de energie sunt denumite sisteme hibride.

Folosind o combinație de mai multe surse regenerabile de energie, un sistem hibrid vizează obținerea unei siguranțe sporite în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor la parametri optimi de calitate, în condițiile asigurării unei cantități de energie minime impusă pe o anumită perioadă de timp. Problematika conducerii operative în cazul unor astfel de sisteme hibride impune o planificare optimală a producției de energie electrică din aceste surse, precum și a transportului și distribuției acesteia, pentru asigurarea alimentării consumatorilor în condiții de siguranță, calitate și economicitate.

3.4.1. Caracteristicile micro-rețelelor

SEE conține principalele verigi asociate producerii, transportului, distribuției și utilizării energiei electrice. Astfel, energia electrică este produsă în centrale electrice având unități generatoare de mare putere, după care este transmisă prin intermediul rețelelor de transport la foarte înaltă tensiune ($>110\text{kV}$) și distribuită consumatorilor prin intermediul unei infrastructuri de distribuție la IT, MT și JT. Astfel, tranzitul energiei electrice are o direcție bine definită de la centralele electrice spre consumatori. Acest model clasic este într-o continuă schimbare datorită numărului din ce în ce mai mare de sisteme de generare distribuită conectate în rețelele de MT și JT. Centralele electrice de mare putere sunt astfel concurate de generatoare de mică putere, dar numeroase, care modifică modul de proiectare a sistemelor de producere a energiei electrice.

Creșterea ponderii generării distribuite va necesita o implicare mai activă a Operatorilor de Distribuție în vederea creșterii stabilității sistemului prin implementarea de puncte de dispecerizare și control automat deoarece:

- profilul tensiunii se modifică de-a lungul rețelei (apărând regimuri tranzitorii ca rezultat al conectării și deconectării generatoarelor de mică putere);
- puterea de scurtcircuit într-un anumit punct al rețelei va crește;
- calitatea energiei și siguranța în funcționare pot fi afectate;
- protecțiile rețelei vor suferi modificări în selectarea parametrilor.

Tendința de utilizare a generării distribuite aduce și unele avantaje legate de autonomia și securitatea energetică a consumatorilor din zona de alimentare a acestor unități generatoare. Astfel, au apărut micro-rețelele formate din grupuri generatoare de

mică putere și consumatori, care pot funcționa conectate la rețelele electrice ale SEE (on-grid) sau în regim izolat (off-grid), asigurând alimentarea consumatorilor din zonă. În același timp, creșterea numărului unităților generatoare de mică putere duce la imposibilitatea dispecheratelor de a prelua și prelucra informația referitoare la puterea generată astfel încât să se poată evalua impactul asupra rețelelor electrice.

3.4.2. Modelarea și simularea micro-rețelelor

Se consideră o micro-rețea cu 5 noduri, având tensiunea nominală de 20 kV, ce integrează o centrală eoliană, panouri fotovoltaice (PV), o centrală pe cogenerare, o micro-hidrocentrală, linii de distribuție prin intermediul cărora sunt alimentate sarcinile din nodurile rețelei. Structura micro-rețelei este prezentată în Figura 3.11. Tabelul 3.4 prezintă puterile nominale ale unităților generatoare și sarcinile din nodurile micro-rețelei, iar Tabelul 3.5 conține parametrii caracteristici ai liniilor electrice.

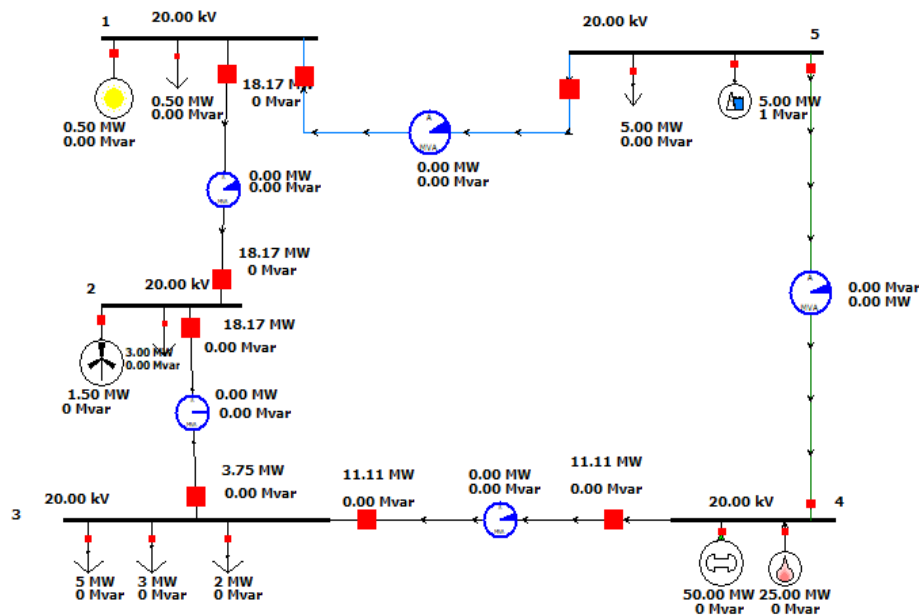


Figura 3.11. Schema micro-rețelei de 20 kV cu 5 noduri modelată în PowerWorld

Tabelul 3.4. Puterile nominale ale generatoarelor și sarcinile

Nod	Elemente conectate	P[MW] / Q[MVAr]
Nod 1	Centrală PV	0.5 MW
	Consumator 1	0.5 MW/0.2 MVAr
Nod 2	Centrală eoliana	1.5 MW
	Consumator 2	3 MW
Nod 3	Consumator 3	5 MW
	Consumator 4	3 MW
	Consumator 5	2 MW
Nod 4	Centrala pe cogenerare	25 MW
	Reteaua publică	50 MW
Nod 5	Micro hidrocentrala	5 MW
	Consumator 6	5 MW

Tabelul 3.5. Parametrii caracteristici ai liniilor electrice

Linie	R [p.u.]	X[p.u.]	B[p.u.]
Nod 1 - Nod 2	0.01273	0.0093	0.002
Nod 1 - Nod 5	0.01273	0.0093	0.002
Nod 2 - Nod 3	0.00636	0.00046	0.001
Nod 3 - Nod 4	0.02546	0.0186	0.004
Nod 4 - Nod 5	0.01273	0.0093	0.002

3.4.3. Aplicații

- Se va construi modelul de simulare din Figura 3.11 și să se simuleze regimul normal de funcționare. Să vor analiza:
 - variațiile tensiunilor în noduri;
 - pierderile de putere activă pe elemente și total micro-rețea.
- Să va deconecta sursa de generare din nodul 5 și linia dintre nodurile 1 – 5 astfel încât continuitatea în alimentare a consumatorilor să nu fie afectată. Să vor analiza:
 - modificările circulațiilor de putere pe liniile electrice din micro-rețea;
 - gradul de încărcare a liniilor electrice;
 - variațiile de tensiune în nodurile;
 - pierderile totale de putere activă.

3. Se vor compara cele două cazuri analizate din punct de vedere al mărimilor de stare.
4. Se vor formula concluzii referitoare la regimurile de funcționare analizate.

PARTEA 3

SIMULATOR FIZIC DE SISTEM ELECTROENERGETIC

LUCAS NUELLE

CAPITOLUL 4

- **Sisteme de comunicații în simulatorul fizic Lucas Nuelle**
- **Simularea și analiza funcționării unei centrale hidroelectrice**
- **Simularea și analiza funcționării unei centrale eoliene**
- **Conducerea operativă a stațiilor electrice**

CAPITOLUL 4

SIMULATOR FIZIC DE SISTEM ELECTROENERGETIC LUCAS NUELLE

4.1. Sisteme de comunicații în simulatorul fizic Lucas Nuelle

SCADA este un acronim pentru Supervisory Control and Data Acquisition - sistem de conducere la nivel de supraveghere și achiziție de date. Pentru desfășurarea activității de conducere dispecerul/operatorul din camera de comandă are nevoie de un volum mare de date în timp real provenite de la componentele sistemului SCADA. Toate aceste informații reprezintă suportul în procesul de decizie. Un sistem SCADA cuprinde un sistem hardware (interfața pentru semnalele de intrare și de ieșire, controlere - PLC, relee, echipamente de comunicații etc) și un sistem software (interfața cu utilizatorul, baze de date, aplicații etc). Pentru conducerea unui proces este nevoie de dispozitive de achiziție și transmisie a datelor (senzori, circuite de condiționare și transmisie), elemente de execuție și de control în timp real, reprezentate de unități telecomandate de la distanță (Remote Terminal Units - RTU), toate interconectate la o magistrală de comunicație cu un centru de comandă și control care este prevăzut cu o interfață om-mașină (de obicei un computer echipat cu un software special de comunicație și control).

4.1.1. Moduri de comunicații

În faza inițială, în interiorul unui sistem SCADA trebuie stabilită legătura pentru comunicarea bidirecțională între sistemele de achiziție și nivelele superioare de conducere.

Modurile de comunicații dintre dispozitivele de achiziție a datelor și sistemul informatic de prelucrare a datelor (SIPD) sunt descrise în continuare.

1. Modul de comunicație folosind magistrala CAN (Controller Area Network)

Pentru a conecta SIPD la dispozitivele dintr-un sistem SCADA printr-o magistrală CAN se utilizează adaptorul LM9024 și cablul serial LM9040, a se vedea Figura 4.1.



Figura 4.1. Adaptoare pentru comunicațiile prin magistrală CAN: LM9024 (a) și cablul serial LM9040 (b)

2. Modul de comunicație Ethernet

În acest caz se utilizează adaptorul USB Ethernet **LM9056**, switch-ul de rețea **LM9988** și cablul **LM9057** pentru a conecta SIPD la dispozitive periferice printr-un port Ethernet, a se vedea Figura 4.2. Dispozitivul de achiziție comunică prin portul Ethernet cu switch-ul de rețea la care se conectează și SIPD.



Figura 4.2. Adaptorul USB Ethernet **LM9056** (a), cablul **LM9057** (b), switch-ul de rețea **LM9988** (c) pentru modul de comunicație bazat pe sistemul Ethernet

3. Modul de comunicație folosind protocolul RS232

Pentru a conecta echipamentul la SIPD prin intermediul portul **RS232**, se utilizează adaptorul **USB-RS232**, **LM9062**, sau **LM9040**, a se vedea Figura 4.3. Dacă SIPD-ul este deja echipat cu portul serial **RS232**, atunci adaptorul **LM9062** nu va mai fi integrat în configurația sistemului de comunicații.



Figura 4.3. Adaptoare pentru comunicațiile folosind protocolul **RS232**

4. Modul de comunicație folosind protocolul RS485

Pentru conectarea SIPD prin portul RS485 trebuie să se utilizeze adaptorul **LM9025/USB - RS485**, a se vedea Figura 4.4, folosind următorii pași:

- Se conectează adaptorul LM9025 la unul dintre porturile USB ale SIPD.
- Se va folosi un cablu **Profibus LM9181** cu o lungime corespunzătoare a putea face legătura cu conectorii **Profibus LM9182**. Pentru această operație se va folosi un clește **LM9184**.



a.

b.

c.

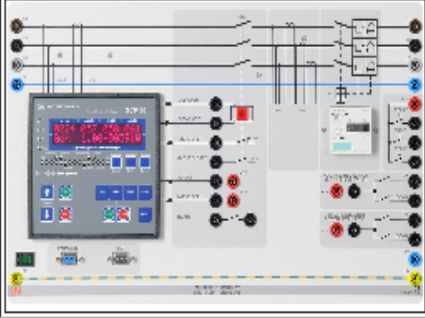

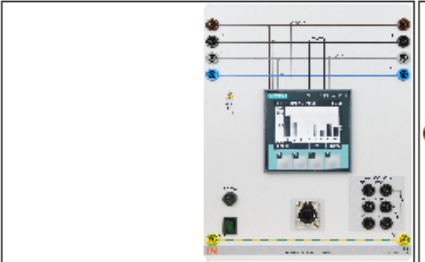
d.

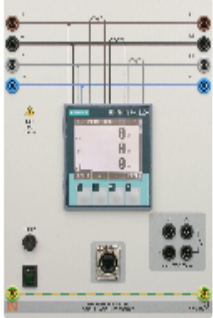
Figura 4.4. Adaptorul **LM9025** (a), cablu **Profibus LM9181** (b), conector **LM9182** (c) și cleștele **LM9184** (d) pentru comunicațiile prin **RS485**

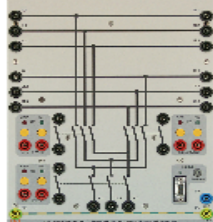
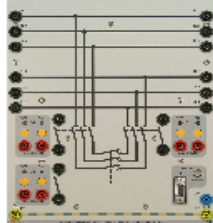
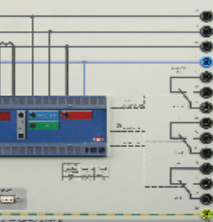
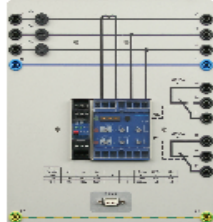
5. Modul de comunicație folosind portul USB

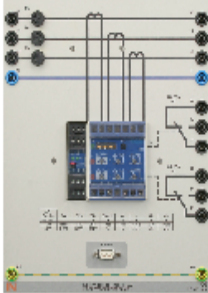
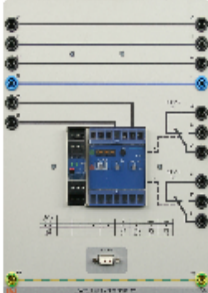
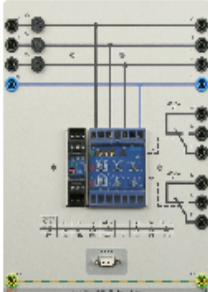
Pentru a putea folosi direct portul USB al SIPD se instalează driverul corespunzător acestui port, după care se conectează dispozitivul prin interfața USB la un port liber de pe al SIPD. În final, dispozitivul de achiziție este identificat de către sistemul de operare Windows instalat pe SIPD.


Modurile de conectare (**CAN, Ethernet, RS232, RS485 și USB**) ale dispozitivelor de achiziție/control asociate simulatorului fizic de sistem electroenergetic Lucas Neulles sunt prezentate în continuare.

Connection via CAN bus		
	CO3301-5X	Multi-function relay, power controller, cos(f)-controller, synchronization unit
Connection via Ethernet		
	CO3301-5K	Pumped-Storage power station control unit
	CO5127-1S	Power quality meter with graphic display and long-term storage

	CO5127-1Y	Analog/digital multimeter, power & power-factor meter, software
---	-----------	---

Connection via RS485		
	CO3301-3R	Double busbar, 3-phase, incoming / outgoing feeder
	CO3301-3S	Double busbar, 3-phase, coupler panel
	CO3301-4D	Directional time overcurrent relay
	CO3301-4G	Power / directional power relay

	CO3301-4J	Time overcurrent relay
	CO3301-4K	Ground fault voltage relay
	CO3301-4N	Time overvoltage / undervoltage relay

Connection via USB		
	CO5127-1Z	Analog / digital multimeter, power / power factor meter, software

4.2. Simularea și analiza funcționării unei centrale hidroelectrice

Pentru desfășurarea corespunzătoare a activității de conducere operativă, dispecerul are nevoie de un volum mare de date în timp real provenite de la componentele sistemului SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Toate aceste informații reprezintă pentru dispecer suportul în procesul de decizie. Astfel, sistemele SCADA oferă capacitatea de a realiza următoarele sarcini:

- supravegherea, comanda și automatizarea procesului condus;
- preluarea informațiilor de la alte sisteme informatice;
- generarea unor informații utile în procesul de decizie.

4.2.1. Organizarea conducerii operative a centralelor hidroelectrice

Organizarea conducerii operative a centralelor hidroelectrice se face pe nivele, astfel: *nivelul 1 – nivelul de conducere local* se realizează comanda acționărilor și preluarea informațiilor din proces, *nivelul 2 – nivelul centralizat* este reprezentat de camerele de comandă ale centralelor hidroelectrice și *nivelul 3 – nivelul dispecerului hidroenergetic* (DHE).

Obiectivele concrete ale conducerii operative la nivelul DHE se referă la:

- supravegherea și asigurarea continuității în exploatare a instalațiilor și echipamentelor aflate în autoritatea de conducere operativă și de comandă nemijlocită;
- urmărirea schemelor de funcționare ale instalațiilor și ale parametrilor prin estimarea stărilor și luarea de măsuri preventive pentru evitarea incidentelor.

Pentru îndeplinirea acestor obiective, DHE trebuie să dispună de date, care pot fi clasificate pe baza următoarelor funcții:

- înregistrarea și consemnarea mărimilor, schimbărilor de stare, a semnalizărilor și evenimentelor în regimurile normale și de avarie ale instalațiilor, a informațiilor care au condus la deciziile de efectuare a manevrelor sau de stabilire a regimurilor de funcționare;
- verificarea încadrării mărimilor între limitele admisibile;

- exploatarea optimă a acumulărilor de apă în regim normal și de viitură prin:
 - ✓ calcularea puterilor/ energiilor produse în centrale;
 - ✓ calcularea debitelor afluate, turbinate, deversate și evacuate pe fiecare grup și pe centrală prin calculul bilanțurilor hidroenergetice și prin efectuarea prognozei hidrologice a bazinului hidrografic pentru 1, 6 sau 24 de ore și respectiv pentru 7 zile.
- calcularea puterilor și energiilor produse în fiecare centrală;
- calcularea debitelor afluate, turbinate, deversate și evacuate pe fiecare grup și centrală;
- calculul bilanțurilor hidroenergetice pe sub-bazine și global pe întreg sistemul.
Pe baza acestor informații DHE va asigura conducerea operativă:
- a instalațiilor și echipamentelor amenajării hidroenergetice;
- a echipamentelor de legătură a acestor instalații între stații pe de o parte și între dispeceratul hidroenergetic, pe de altă parte, în conformitate cu autoritatea de conducere operativă;
- în corelație cu programele de funcționare și dispozițiile nivelului superior de dispecer asigură activitatea complexă de coordonare a producției de energie electrică cu necesitățile de folosire complexă a apei din amenajare (surse de apă, irigații sau controlul inundațiilor).
În scopul conducerii prin dispecer și a exploatării eficiente sunt necesare o serie de măsurări, semnalizări, telecomenzi și telereglaje.

Mărimile principale care condiționează starea variabilelor specifice ale instalațiilor se referă la:

- puterile active și reactive pe grupuri, pe centrale și pe grupuri de centrale;
- puterile active și reactive pe liniile electrice aeriene de racord între amenajarea hidroenergetică și sistemul energetic;
- tensiunile la barele centralelor, la barele stațiilor aferente centralelor;
- frecvențele la barele centralei, la barele stațiilor;
- curenții statorici și rotorici pe generator și pe centrală.

Drept **mărimi secundare**, măsurabile în cadrul sistemului DHE sunt:

- nivelul apei în amonte și în aval de centrală;
- debite afluate și turbinate;
- pierderi de presiune pe grătar;
- debite neenergetice prelevate;
- energii active și reactive pe grupuri și pe centrale;
- consumuri energetice pe serviciile interne;
- date hidrologice și meteorologice.

Semnalele furnizate DHE se referă la:

- starea întrerupătoarelor și separatoarelor;
- poziția ploturilor la transformatoarele de reglaj;
- semnalele specifice semnalelor de automatizare;
- semnalizări preventive și de alarmare;
- semnalizări de incident, de avarie în centrală sau în amenajarea hidrotehnică;
- nivelul amonte și aval al lacului (maxim/minim).

Telecomenzile stabilesc comenzi pentru reglajul de comutație, porniri/opriri de grupuri și cererile de telemăsură.

Telereglajele prin care se stabilesc referințe de consemn pentru puterea activă și respectiv reactivă furnizate, precum și ordine de reglaj frecvență-putere.

4.2.2. Simularea și analiza funcționării unei centrale hidroelectrice cu acumulare prin pompare (CHAP)

Centralele hidroelectrice cu acumulare prin pompare (CHAP) reprezintă o componentă importantă a sistemelor moderne de producere a energiei electrice deoarece fac parte din clasa instalațiilor de stocare a energiei la scară mare. Dezvoltarea instalațiilor moderne de pompare-stocare este în plină ascensiune tehnologică, întrucât în vederea realizării unui echilibru energetic durabil CHAP vor permite ca și regiunile greu accesibile să devină utilizabile.

CHAP este capabilă să treacă dintr-un regim de funcționare staționar la capacitate maximă de producție într-un interval de timp foarte scurt (de ordinul minutelor). Datorită limitărilor de proiectare, grupurile din centralele electrice clasice (cărbune sau nucleare)

nu pot fi încărcate atât de rapid, acestea având o inerție mare (de ordinul orelor) pentru a fi oprite și/sau pornite.

4.2.2.1. Principiul de funcționare a CHAP

CHAP se caracterizată printr-o stație de pompare-stocare cu ajutorul căreia apa din lacul de acumulare din aval este pompată, în momentele de timp când cererea de energie este redusă (gol de sarcină), în lacul de acumulare din amonte, pentru ca la vârf de sarcină să injecteze în rețea cantitatea de energie stocată anterior. Randamentul unui ciclu complet de stocare este de aproximativ 75%. Schema de principiu a unei amenajări asociate unei CHAP este prezentată în Figura 4.5.

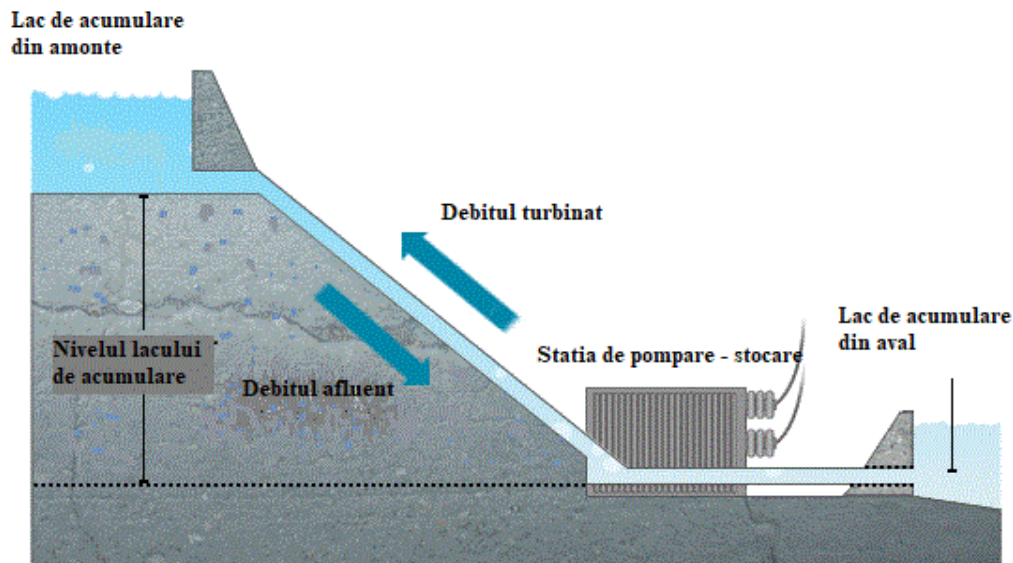


Figura 4.5. Schema de principiu a unei amenajări hidroelectrice cu stație de pompare-stocare

Mașinile sincrone din stația de pompare-stocare pot funcționa în regim de motor, atunci când apa este pompată în lacul de acumulare din amonte pentru stocarea energiei, sau în modul generator, când apa este turbionată pentru producerea de energie electrică.

4.2.3. Aplicații

4.2.3.1. Lucrarea 1. Reglajul manual turbină-generator

Obiective

- Pornirea unei mașini sincrone trifazate în regim de motor;
- Încărcarea unei mașini sincrone cu /fără cuplu;
- Analiza influenței curentului de excitație.

Instrucțiuni de realizare a montajului experimental

Detalii privind caracteristicile tehnice ale echipamentele și dispozitivele utilizare în cadrul montajului sunt prezentate în Anexa A.

- Se va realiza montajul experimental din Figura 4.6.

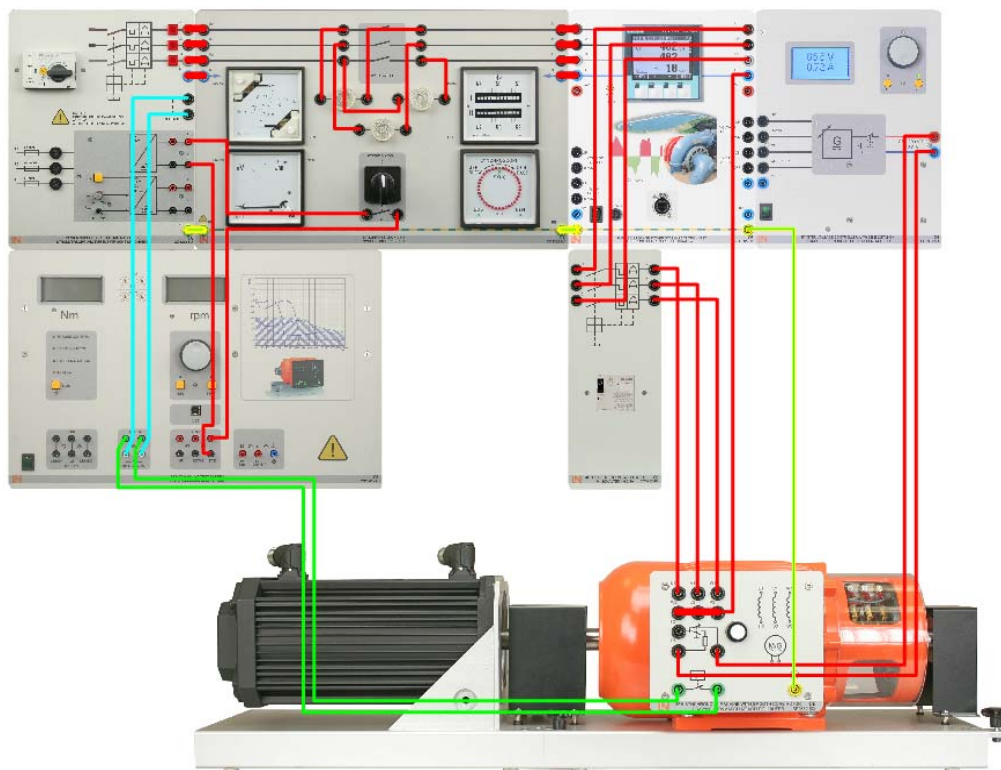


Figura 4.6. Montajul experimental pentru efectuarea reglajului manual al cuplului motor-generator

- Pentru modulul *Machine test bench CO3636-6W* se va alege regimul *Speed Control & Synchronization*.
- Prin rotirea butonului de reglaj asociat modulului *Excitation voltage controller CO3301-5G* se va regla tensiunea de ieșire la aproximativ 45 V.
- Se va comuta pe alimentare trifazată modulul *Power supply for electric machines CO3212-5U*.
- Se va acționa comutatorul de protecție a motorului de pe panoul frontal al modulul *Motor protection switch CO3212-1P*.

Etape

- Se va menține apăsat butonul de pe mașina sincronă până va apărea un nou mesaj (aceasta scurtcircuitează rotorul mașinii printr-un rezistor, iar mașina pornește în regim de motor asincron).
 - ✓ Se va activa tensiunea de excitație apăsând butonul *ON* al controlerului corespunzător;
 - ✓ Se va învîrți comutatorul rotativ al unității de sincronizare *CO3212-6V*, pentru a porni mașina sincronă în regim de motor;
- Se va elibera butonul în momentul în care mașina sincronă are un regim permanent de funcționare.
- Se va porni modulul *Machine test bench CO3636-6W* prin apăsarea butonului *RUN*. Modulul are rolul de a controla cuplul la pornirea motorului: rotirea butonului de reglaj va conduce la creșterea/scăderea valorii cuplului, în timp ce viteza mașinii se va modifica în funcție de curentul absorbit. Prin urmare, rotirea butonului de reglaj va modifica puterea activă a mașinii sincrone.
- Puterea reactivă a mașinii sincrone poate fi reglată prin modificarea tensiunii de excitație.

Atenție!!! Se va regla puterea aparentă a mașinii sincrone la 0 VA (puterile activă și reactivă au valoarea zero). Pentru achiziția de date se va folosi modulul *Control Unit For Pumped-Storage Power Station CO3301-5K*

OPRIRE stand experimental

- Se va aduce valoarea curentul mașinii sincrone la valoarea de 0 A.
- Se va deschide comutatorul rotativ al unității de sincronizare.
- Se va dezactiva tensiunea de excitație apăsând butonul *OFF*.
- Se va opri mașina sincronă utilizând butonul *STOP*.

Desfășurarea lucrării

1. Se va identifica rolul și modul de funcționare al fiecărui modul folosit pentru realizarea standului experimental.
2. Se vor măsura curenții și puterile (aparentă, activă și reactivă) mașinii sincrone și se vor completa următoarele tabelele:

Faza	I [A]
L1	
L2	
L3	

Puteri măsurate	
ΣS [VA]	
ΣP [W]	
ΣQ [Var]	

Se va răspunde la următoarele întrebări:

3. La o putere de +500 W, mașina sincronă funcționează ca ...
 - a) Generator;
 - b) Motor.
4. Se vor monitoriza turația și cuplul. De ce se exercită cuplul, dacă puterea mașinii sincrone a fost stabilită la aproximativ 0 VA?
 - a) Cuplul este acționat automat pentru satisfacerea sarcinii cerute de rețea;
 - b) Fără cuplul aplicat servo mașinii, motorul sincron ar fi acționat de rețea;
 - c) Cuplul aplicat acoperă toate pierderile de putere care apar în această configurație experimentală;
 - d) Sunt implicate inexactități neglijabile în măsurătorile multimetrului.
5. Care afirmație este corectă?
 - a) Tensiunea de excitație necesară pentru a acționa o mașină sincronă la un factor de putere $\cos(\varphi) = 1$, deși este specifică mașinii sincrone, rămâne aproape constantă în regimul de funcționare.

- b) Tensiunea de excitație necesară pentru a acționa o mașină sincronă la un factor de putere $\cos(\varphi) = 1$ și trebuie reglată în regimul de funcționare al mașinii sincrone.
6. Cum se poate inversa sensul de rotație a mașinii sincrone utilizate?
- a) Prin schimbul de două faze (U1, V1 sau W1).
- b) Prin inversarea polarității tensiunii de excitație.
- c) Prin inversarea direcției cuplului aplicat.
- d) Prin inversarea sensului de rotație a mașinii sincrone.
7. Se va regla puterea activă a mașinii sincrone la 0 W. Monitorizați puterea activă în timp ce variați tensiunea de excitație o dată pe întreaga sa gamă. Se va păstra curentul maxim I_e al mașinii sincrone. Ce se observă?
- a) Puterea reactivă poate fi reglată numai împreună cu puterea activă;
- b) Semnul algebric al puterii reactive depinde de cel al puterii active;
- c) Semnul algebric al puterii reactive depinde de valoarea curentului de excitație;
- d) Puterea activă poate fi modificată prin ajustarea tensiunii de excitație.

4.2.3.2. Lucrarea 2. Modul semi-automat de funcționare a CHAP

Obiective

- Controlul și monitorizarea parametrilor operaționali din SCADA;
- Sincronizarea automată a mașinii sincrone trifazate;
- Reglajul puterilor activă și reactivă.

Instrucțiuni de realizare a montajului experimental

Detalii privind caracteristicile tehnice ale echipamentele și dispozitivele utilizare în cadrul montajului sunt prezentate în Anexa A.

- Se va realiza montajul experimental din Figura 4.7.
- Pentru modulul *Machine test bench CO3636-6W* se va alege regimul *Speed Control & Synchronization*.
- Se va activa modul *AUTO* al *Releu multifuncțional CO3301-5X*.

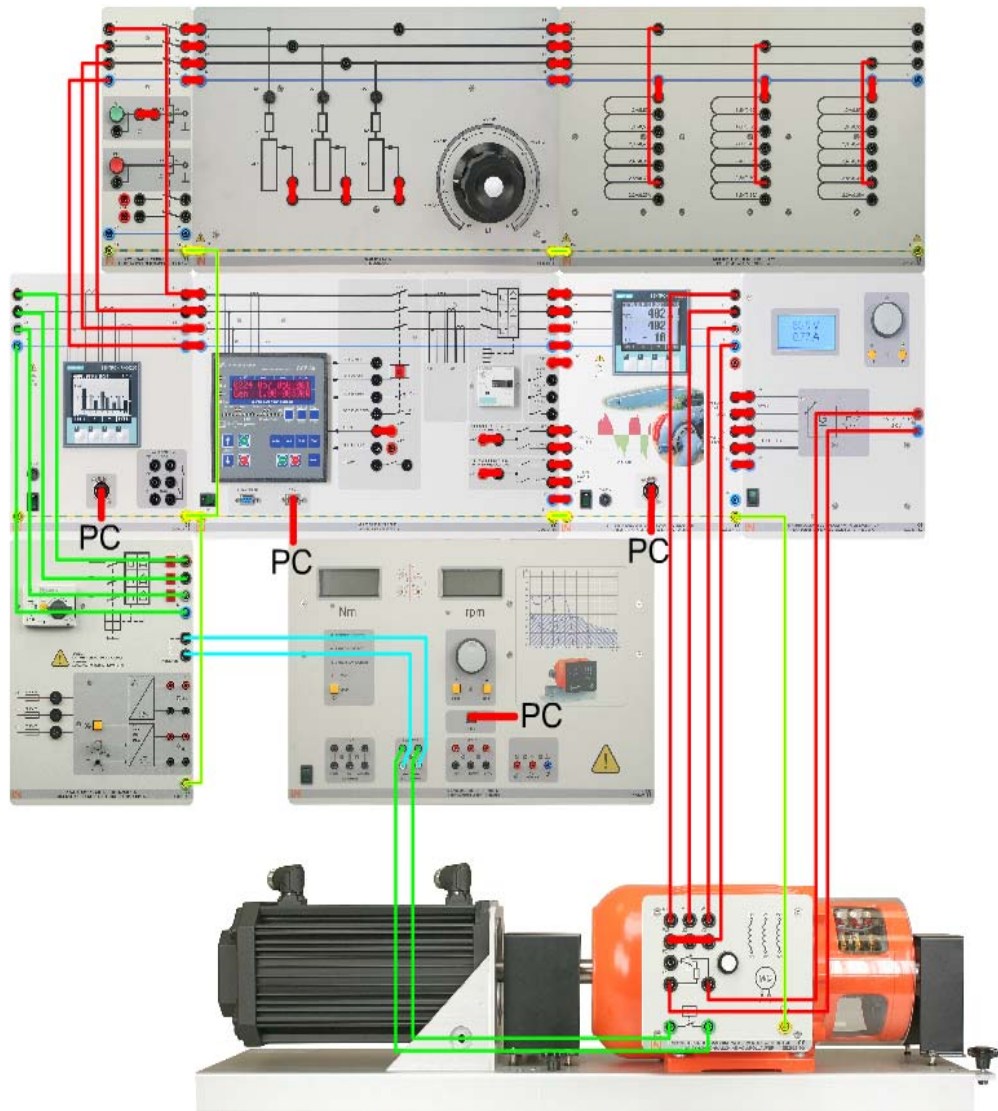


Figura 4.7. Montajul experimental in modul semi-automat de funcționare

- Prin rotirea butonului de reglaj de pe panoul frontal al modului *Excitation voltage controller CO3301-5G* se va regla tensiunea de ieșire la aproximativ 45 V.
 - ✓ Eșantionarea intrărilor numerice se va face cu un pas de 50 ms. Această valoare se va fixa apăsând butonul *OFF* pentru un interval mai lung de timp.

Butonul de reglaj poate fi apoi utilizat pentru a selecta elementele de meniu necesare, *ON* pentru a confirma fiecare valoare și *OFF* pentru a anula o anumită valoare fixată.

- Se va comuta pe alimentare trifazată modulul *Power supply for electric machines CO3212-5U*.
- Se va deschide meniul *SCADA Viewer* selectând opțiunea *Pumped-storage power station EUG3*. Se va porni PLC-ul în software-ul SCADA.
- Se va dezactiva comutatorul *CO3301-5P* deoarece sarcinile nu vor fi utilizate în cadrul acestui experiment.

Etape

- Se va inițializa regimul de funcționare al CHAP prin intermediul interfeței SCADA.
- Se va porni mașina sincronă prin intermediul butonului de pornire manuală *Manual Start*;
- Odată ce întrerupătorul de circuit al generatorului (GCB) este închis, se va selecta o putere de aproximativ -250 W cu ajutorul butonului de control manual *Manual Control*.
- Se vor citi valorile mărimile de stare prin interfața SCADA sau cu ajutorul controlerului CHAP.

OPRIRE stand experimental

- Se apăsă butonul *STOP* din fereastra sistemului SCADA. PLC-ul va reduce orice sarcină aplicată în timpul simulării și oprește toate blocurile componente ale standului experimental.

Desfășurarea lucrării

1. Se va identifica rolul și modul de funcționare al fiecărui modul folosit pentru realizarea standului experimental.
Se va răspunde la următoarele întrebări:
2. Cum poate fi oprită urgent mașina sincronă?

- a) Prin apăsarea butonului *STOP*.
 - b) Prin reducerea manuală a puterii și apoi oprirea mașini sincrone.
 - c) Prin activarea comutatorului *OPRIRE DE URGENȚĂ (EMERGENCY STOP)*.
 - d) Prin dezactivarea tensiunii de excitație pe controlerul corespunzător, în primă fază, și dezactivarea servo-mașinii, în faza a doua.
3. Mașina sincronă funcționează ca generator sau motor la -250 W?
- a) Cuplul afișat este negativ, astfel încât mașina funcționează ca un motor.
 - b) -250 W înseamnă că mașina funcționează ca generator.
 - c) Mașina sincronă funcționează în două cadrane (M [Nm], n [min^{-1}]).
 - d) Mașina sincronă funcționează în patru cadrane (M [Nm], n [min^{-1}]).
4. Puterea reactivă inductivă poate fi întreținută de rețeaua electrică cu ajutorul unei mașini sincrone. Se poate face acest lucru prin creșterea sau scăderea tensiunii de excitație?
- a) Prin creșterea tensiunii de excitație.
 - b) Prin scăderea tensiunii de excitație.

4.2.3.3. Lucrarea 3. Compensarea puterii active /reactive

Obiective

- Controlul și monitorizarea parametrilor operaționali din SCADA;
- Sincronizarea automată a unei mașini sincrone trifazate;
- Reglajul puterilor activă reactivă.

Instrucțiuni de realizare a montajului experimental

Detalii privind caracteristicile tehnice ale echipamentele și dispozitivele utilizare în cadrul montajului sunt prezentate în Anexa A.

- Se va realiza montajul experimental din Figura 4.8.
- Se vor fixa parametrii *Releul multifuncțional GCP*, înainte de a începe experimentul. Pentru parametri nu trebuie alese valori arbitrare, deoarece acest lucru ar putea conduce la deteriorarea dispozitivelor/modulelor folosite.

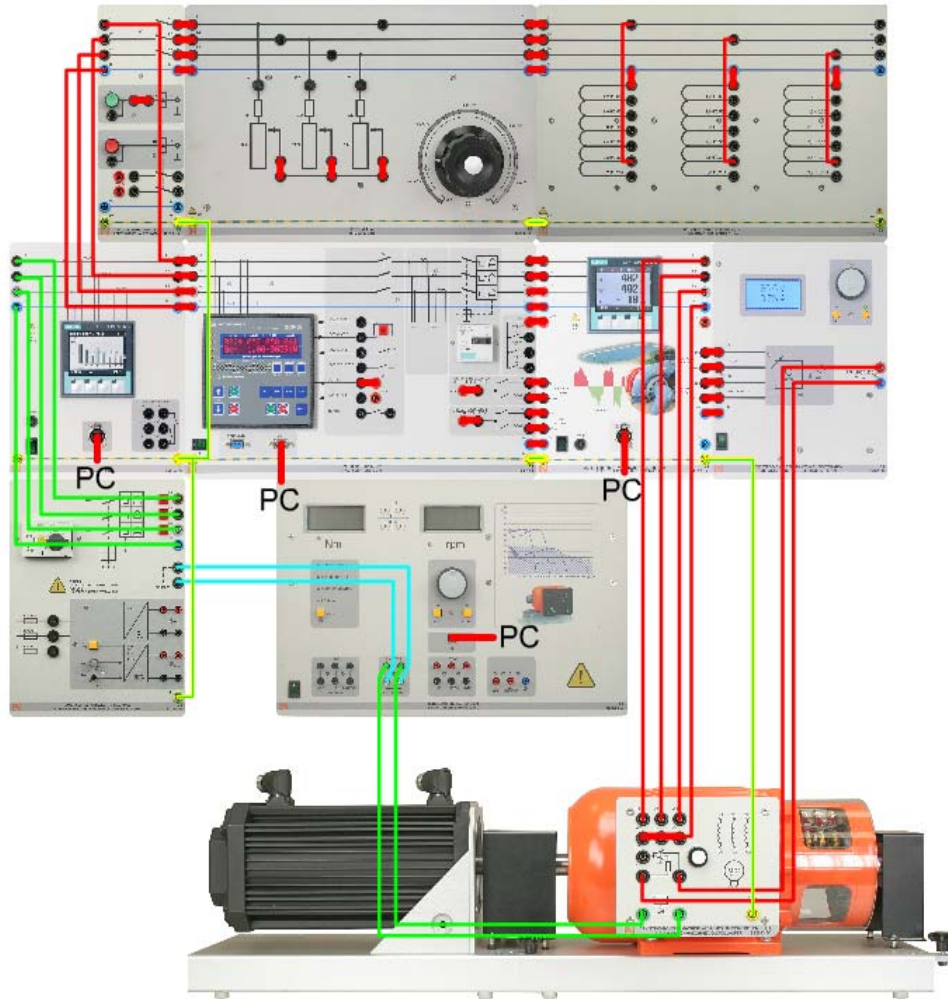


Figura 4.8. Montajul experimental pentru compensarea puterii active/ reactive

- Se va porni modulul *Servo Brake's Controller* (Acestă operație nu conduce la conectarea unei sarcini la mașina sincronă).
- Pentru modulul *Machine test bench CO3636-6W* se va alege regimul *Speed Control & Synchronization*.
- Se va activa modul *AUTO* al *Releu multifunctional CO3301-5X*.
- Prin rotirea butonului de reglaj asociat modulului *Excitation voltage controller CO3301-5G* se va regla tensiunea de ieșire la aproximativ 45 V.

- Se va comuta pe alimentare trifazată modulul *Power supply for electric machines CO3212-5U*.
- Se va fixa valoarea *Sarcinii rezistive variabila CO3301-3F* pe poziția maximă.
- Se va deschide meniul SCADA Viewer selectând opțiunea *Pumped-storage power station EUG3*.
 - ✓ Se va deschide meniul *Device Manager* al SIPD în care se adaugă dispozitivul *Power Quality Meter CO5127-IS*. În lista dispozitivelor, se va atribui *power quality meter* (contorul de calitate a energiei) la adresa IP a dispozitivului utilizat. Se va confirma adresa și, în final, se va închide meniul “Device Manager”.
 - ✓ Se va porni PLC-ul din software-ul SCADA.

Etape

- Se va inițializa regimul de funcționare al CHAP prin intermediul interfaței SCADA.
- Se va porni mașina sincronă prin intermediul butonului *Automatic Start*. Odată ce puterea activă în nodul de echilibrare depășește 50 W (pentru o perioadă de 5s), este activat modul automat de funcționare a întregului sistem. În schimb, sistemul de pe standul experimental se va dezactiva odată ce amplitudinea puterii scade sub 50 W (pentru o perioadă de 5 s).
 - ✓ Puterea activă care circula prin nodul de echilibrare este compensată de mașina sincronă.
 - ✓ De asemenea, puterea reactivă care circula prin nodul de echilibrare este compensată de mașina sincronă.
- Se va observa comportamentul CHAP în momentul pornirii.
- Se vor citi valorile măsurătorilor prin interfața SCADA sau cu ajutorul controlerului CHAP.

Desfășurarea lucrării

1. Se va identifica rolul și modul de funcționare al fiecărui modul folosit pentru realizarea standului experimental.

Se va răspunde la următoarele întrebări:

2. Ce se observă?
 - a) Ansamblul de pe standul experimental pornește după aproximativ 5s și se apropie sistematic de un punct de funcționare.
 - b) Ansamblul de pe stand experimental rămâne inactiv.
3. Ce se întâmplă în cazul activării sarcinii rezistiv-inductivă prin intermediul întrerupătorului *CO3301-5P*?
 - a) Ansamblul de pe standul experimental pornește după aproximativ 5s și se apropie sistematic de un punct de funcționare.
 - b) Ansamblul de pe standul experimental rămâne inactiv.
4. Comutatorul *Emergency Stop* împiedică pornirea automată a ansamblului standului experimental?
 - a) Nu. Pornirile de la distanță nu sunt afectate de o oprire de urgență.
 - b) Da. O oprire de urgență deconectează complet ansamblul de pe standul experimental.
 - c) O oprire de urgență deconectează sistemul de pe standul de lucru, dar nu împiedică o nouă pornire.

OPRIRE stand experimental

Se apăsă butonul *STOP* din fereastra sistemului SCADA. PLC-ul va reduce orice sarcină aplicată în timpul simulării și oprește toate blocurile componente ale standului experimental.

4.3. Simularea și analiza funcționării unei centrale eoliene

4.3.1. Funcționarea unui turbine eoliene cu generator dublu-alimentat

Schema bloc a unei turbine eoliene cu generator dublu alimentare este prezentată în Figura 4.9. Statorul generatorului este conectat la rețea printr-un contactor de putere notat cu Q1, iar rotorul este alimentat printr-un invertor. În ciuda schimbării condițiilor de vânt, adică a vitezelor fluctuante, generatorul trebuie să producă putere având frecvența și

amplitudinea constantă. Acest lucru se realizează printr-un proces de reglare a curentului de alimentare pe rotor.

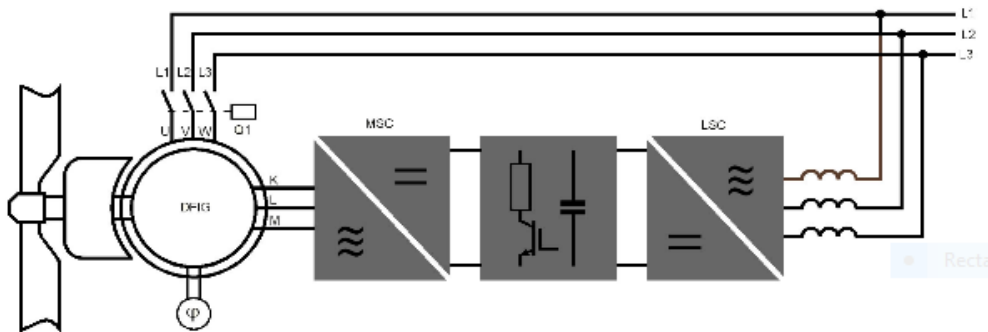


Figura 4.9. Schema bloc a unei turbine eoliene cu un generator dublu alimentat

4.3.1.1. Lucrarea 1. Influența vitezei mecanice asupra tensiunii generatorului

Obiectiv

- Identificarea relației dintre frecvența și viteza de variație unui generator dublu alimentat.

Instrucțiuni de realizare a montajului experimental în cazul determinării frecvenței tensiunii generatorului la 1200, 1300 și 1400 rpm

Detalii privind caracteristicile tehnice ale echipamentelor și dispozitivelor utilizate în cadrul montajului sunt prezentate în Anexa B.

- Se va realiza montajul experimental din Figura 4.10.
- Se va porni standul de testare al mașinii și unitatea de comandă pentru generatorul dublu alimentat folosind butonul *SWITCH ON*;
- Se va conecta la tensiunea rețelei electrice trifazate prin intermediul unității de control. Se verifică întrerupătorul automat al transformatorului, care nu trebuie să fie deschis;
- Se va deschide instrumentul de control *DFIG* (interfața USB trebuie să fie conectată la computer);
- Se va selecta modul *SPEED CONTROL* pentru standul de testare al mașinii și se va fixa viteza la 1200 rpm;

- Se va apăsa butonul *ENABLE* de pe instrumentul virtual;
- Se va fixa amplitudinea la 40% pentru o frecvență de 0 Hz;
- Se va determina frecvența mecanică (în Hz) și frecvența tensiunii generatorului;
- Se vor repeta măsurătorile pentru vitezele de 1300 rpm și 1400 rpm.

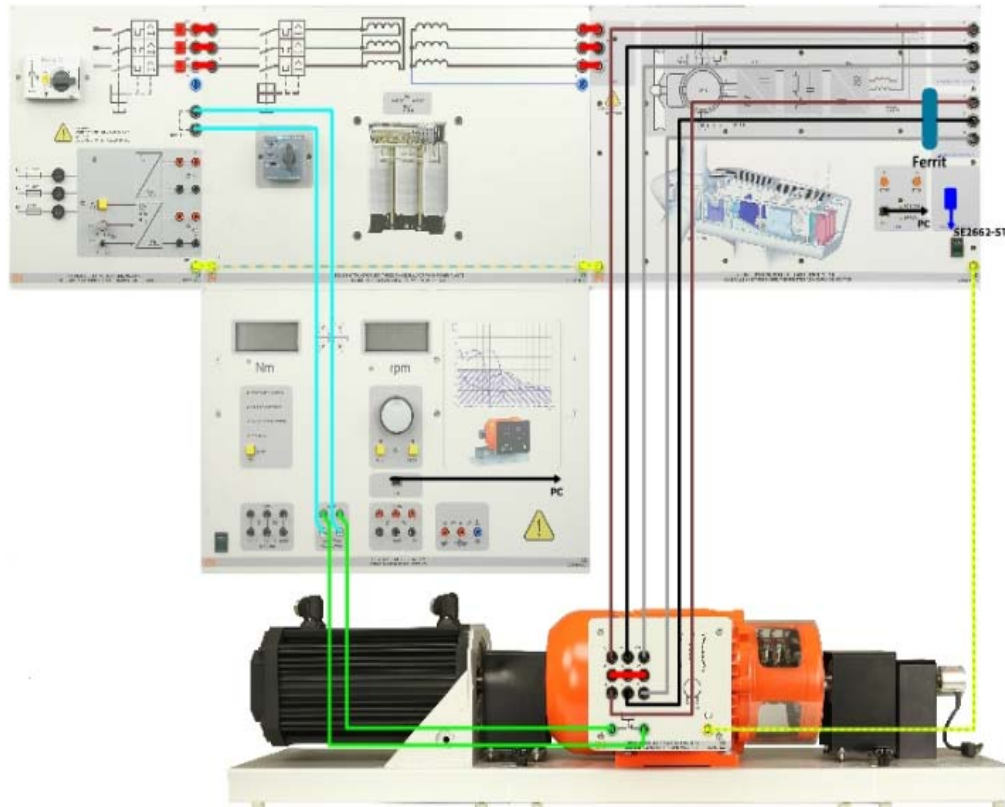


Figura 4.10. Montaj experimental pentru determinarea influenței vitezei mecanice asupra tensiunii generatorului

Desfășurarea lucrării

1. Se va identifica rolul și modul de funcționare al fiecărui modul folosit pentru realizarea standului experimental.
Se va răspunde la următoarele întrebări:
2. Generatorul se comportă ca:
 - a) Invertor conectat în paralel;

- b) Generator sincron;
 c) Invertor conectat în serie.
3. Se va completa tabelul următor și se vor trasa caracteristicile viteză(frecvență).

Viteza [rpm]	Frecvența mecanică [Hz]	Frecvența generatorului [Hz]
1200		
1300		
1400		

4. Se vor formula concluzii referitoare la rezultatele obținute.

4.3.1.2. Lucrarea 2. Influența frecvenței variabile din rotor

Obiectiv

- Determinarea relației dintre viteza generatorului, frecvența curentului rotorului și frecvența statorului.

Instrucțiuni de realizare a montajului experimental în cazul determinării frecvenței de alimentare cerută de rotor pentru a crește frecvența tensiunii statorului generatorului la 50 Hz pentru o viteză de 1200, 1300și 1400 rpm.

Detalii privind caracteristicile tehnice ale echipamentelor și dispozitivelor utilizare în cadrul montajului sunt prezentate în Anexa B.

- Se va realiza montajul experimental din Figura 4.11.
- Se va porni standul de testare al mașinii și unitatea de comandă pentru generatorul dublu alimentat folosind butonul *SWITCH ON*;
- Se va conecta la tensiunea rețelei electrice trifazate prin intermediul unității de control. Se verifică întrerupătorul automat al transformatorului, care nu trebuie să fie deschis;
- Se va deschide instrumentul de control *DFIG* (interfața USB trebuie să fie conectată la computer);
- Se va selecta modul *SPEED CONTROL* pentru standul de testare al mașinii și se va fixa viteza la 1200 rpm;

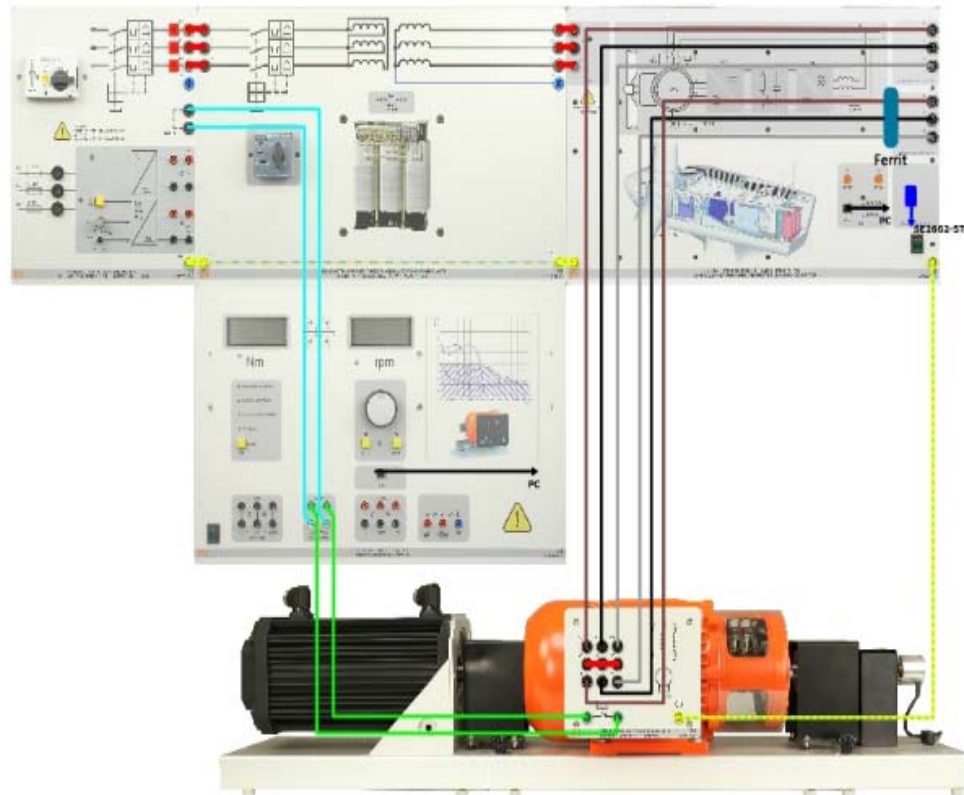


Figura 4.11. Montaj experimental pentru determinarea influenței frecvenței variabile din rotor

- Se va apăsa butonul *ENABLE* de pe instrumentul virtual;
- Se va fixa amplitudinea la 40% pentru o frecvență de 0 Hz;
- Se va crește încet frecvența în stator până la valoarea 50 Hz .
- Se vor repeta măsurătorile pentru vitezele de 1300 rpm și 1400 rpm.

Desfășurarea lucrării

1. Se va identifica rolul și modul de funcționare al fiecărui modul folosit pentru realizarea standului experimental.

Se va răspunde la următoarele întrebări:

2. Care afirmații sunt corecte?

- a) La viteza mecanică variabilă, frecvența statorului poate fi menținută constantă prin ajustarea frecvenței rotorului.
- b) Frecvența rotorului are o influență neglijabilă asupra frecvenței statorului. Modificarea frecvenței este de maxim 10%.
- c) La viteză constantă, frecvența statorului poate fi modificată prin intermediul frecvenței rotorului.
- d) Frecvența statorului este determinată de frecvența rotorului și viteza mecanică.
3. Se va completa tabelul următor și se vor trasa caracteristicile viteza(frecvența).

Viteza [rpm]	Frecvența mecanică [Hz]	Frecvența generatorului [Hz]
1200		
1300		
1400		

4. Se vor formula concluzii referitoare la rezultatele obținute.

4.3.1.3. Lucrarea 3. Influența curentului din rotor

Obiectiv

- Determinarea relației dintre curentul rotorului și tensiunea statorului.

Instrucțiuni de realizare a montajului experimental în cazul determinării influenței curentului rotorului asupra tensiunii statorului și evaluarea influenței vitezei și curentului

Detalii privind caracteristicile tehnice ale echipamentele și dispozitivele utilizare în cadrul montajului sunt prezentate în Anexa B.

- Se va realiza montajul experimental din Figura 4.12.
- Se va porni standul de testare al mașinii și unitatea de comandă pentru generatorul dublu alimentat folosind butonul *SWITCH ON*;
- Se va conecta la tensiunea rețelei electrice trifazate prin intermediul unității de control. Se verifică întrerupătorul automat al transformatorului (nu trebuie să fie deschis);

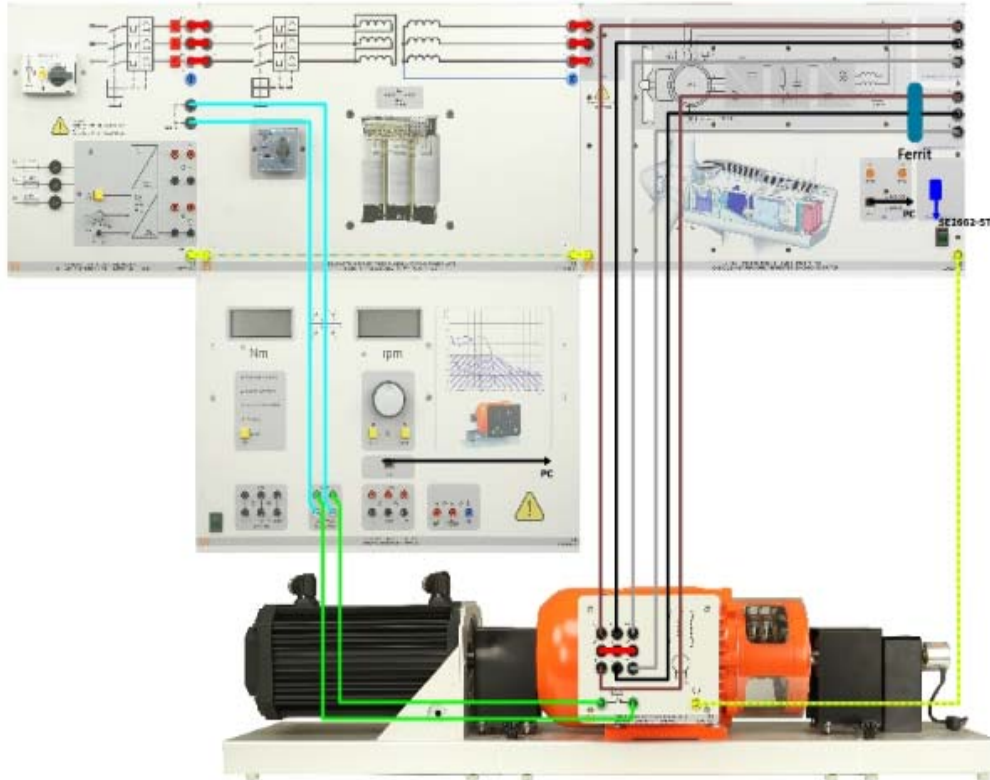


Figura 4.12. Montaj experimental pentru determinarea influenței curentului din rotor

- Se va deschide instrumentul de control *DFIG* (interfața USB trebuie să fie conectată la computer);
- Se va selecta modul *SPEED CONTROL* pentru standul de testare al mașinii și se va fixa viteza la 1200 rpm;
- Se va apăsa butonul *ENABLE* de pe instrumentul virtual;
- Se va fixa valoarea frecvenței de 0 Hz;
- Se va crește încet amplitudinea instrumentului până când valoarea curentului atinge 0,5 A și se va scrie tensiunea corespunzătoare statorului în tabel;
- Se vor repeta măsurătorile pentru valorile curentului indicate în tabel;
- Se va fixa valoarea curentului în rotor la 0,5 A, la o frecvență de 10 Hz și se va scrie tensiunea corespunzătoare statorului în tabel;
- Se vor repeta măsurătorile pentru valorile curentului indicate în tabelul următor:

Frecvența rotorului [Hz]	I_{rotor} [A]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0	U_{stator} [V]						
10	U_{stator} [V]						

Desfășurarea lucrării

- Se va identifica rolul și modul de funcționare al fiecărui modul folosit pentru realizarea standului experimental.
Se va răspunde la următoarele întrebări:
- Ce indică valorile măsurate din tabel?
 - Creșterea frecvenței rotorului la curent constant crește și tensiunea statorului.
 - Creșterea curentului rotorului mărește și tensiunea statorului.
 - Scăderea curentului rotorului mărește tensiunea statorului.
 - Tensiunea statorului nu depinde de frecvența rotorului.
- Ce determină modificarea tensiunii de ieșire la curent constant și frecvența variabilă a rotorului?
 - Viteza mecanică a rotorului și frecvența curentului rotorului scad, reducând astfel viteza câmpului magnetic al rotorului și crește tensiunea în stator.
 - O creștere a frecvenței rotorului intensifică câmpul magnetic al rotorului, crescând astfel tensiunea în stator.
 - Viteza mecanică a rotorului și frecvența curentului rotorului cresc, conducând la tendințe asemănătoare în cazul vitezei câmpului magnetic al rotorului și tensiunii în stator.

4.3.1.4. Lucrarea 4. Conectarea sincronă la rețea a unui generator eolian

Obiective

- Sincronizarea generatorului cu rețeaua;
- Analiza influenței curentului și frecvenței rotorului;
- Sincronizarea automată a generatorului.

Instrucțiuni de realizare a montajului experimental

Detalii privind caracteristicile tehnice ale echipamentele și dispozitivele utilizare în cadrul montajului sunt prezentate în Anexa B.

- Se va realiza montajul experimental din Figura 4.13.
- Se va porni standul de testare al mașinii și unitatea de comandă pentru generatorul dublu alimentat folosind butonul *SWITCH ON*;
- Se va conecta la tensiunea rețelei electrice trifazate prin intermediul unității de control. Se verifică întrerupătorul automat al transformatorului, care nu trebuie să fie deschis;
- Se va deschide instrumentul *SYNCHRONIZER* (interfața USB trebuie conectată la computer).
- Se va selecta modul *SPEED CONTROL* pentru standul de testare al mașinii și se va fixa viteza la 1200 rpm;
- Se va apăsa butonul *ENABLE* de pe instrumentul virtual;

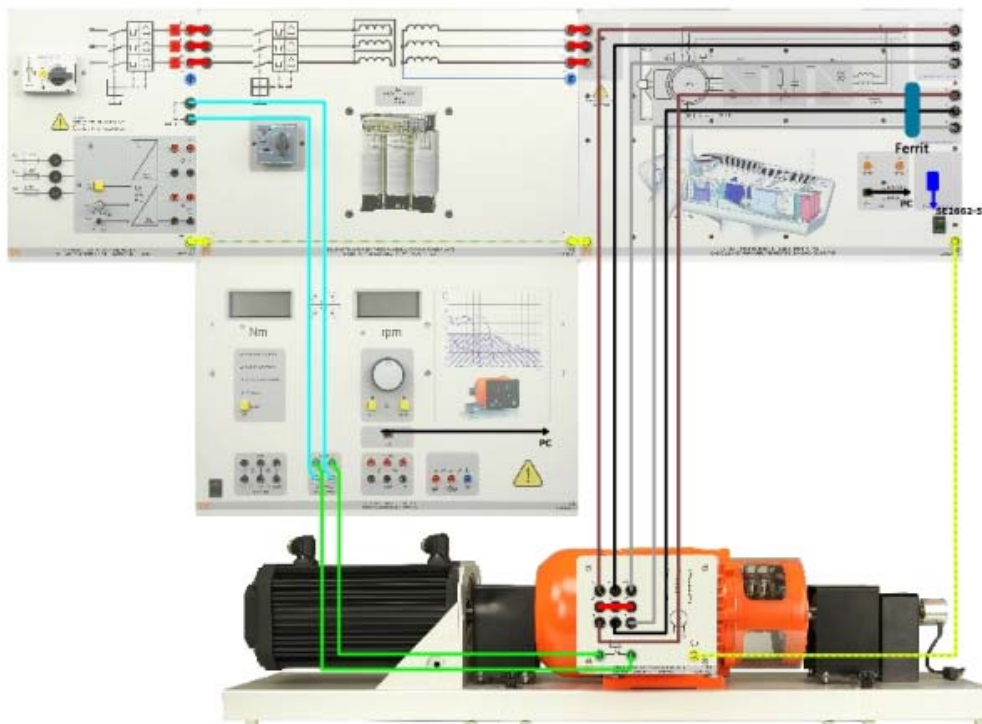


Figura 4.13. Montaj experimental pentru sincronizarea generatorului cu rețeaua

- Se va crește încet amplitudinea până când valoarea tensiunii în statorul generatorului a atins aproximativ 80% din tensiunea rețelei.
- Se va crește valoarea frecvenței până când frecvența rețelei și generatorului sunt egale.
- Se vor modifica valorile tensiunii și frecvenței generatorului astfel încât să fie îndeplinite toate criteriile de conectare la rețea. Se va folosi *SYNCHRONIZER* pentru reglaj.
- Se va apăsa butonul *LINE* pentru a conecta generatorul la rețea.
- Se verifică dacă generatorul este conectat.
- Se va apăsa din nou butonul *LINE* pentru a deconecta generatorul de la rețea.
- Se va apăsa butonul *ENABLE* pentru a opri alimentarea generatorului.

Desfășurarea lucrării

1. Se va identifica rolul și modul de funcționare al fiecărui modul folosit pentru realizarea standului experimental.
Se va răspunde la următoarele întrebări:
2. Cum poate fi modificat defazajul între rețea și generator?
 - a) Dacă frecvența generatorului și a rețelei sunt aproximativ egale, defazajul poate fi modificat prin schimbarea amplitudinii curentului rotorului.
 - b) Unghiul de fază dintre rețea și generator se corectează automat dacă frecvența rețelei și a generatorului este identică.
 - c) Dacă frecvența generatorului și a rețelei sunt similare, se produce un defazaj între generator și rețea. În acest caz, unghiul de fază poate fi modificat prin acțiuni asupra frecvenței generatorului.
3. Cum influențează curentul rotorului sincronizarea generatorului cu rețeaua?
 - a) Curentul rotorului influențează amplitudinea tensiunii de ieșire și frecvența generatorului.
 - b) Curentul rotorului influențează amplitudinea tensiunii generatorului.
 - c) Curentul rotorului influențează doar frecvența generatorului.
4. Cum este tensiunea generatorului în modurile conectat/deconectat?
 - a) Când generatorul este conectat, tensiunea sa este egală cu tensiunea din rețea.

- b) Când generatorul este deconectat, tensiunile diferă în ceea ce privește amplitudinea, frecvența și unghiul de fază.
- c) Variația tensiunii generatorului este cauzată de mecanismul de control al curentului rotorului.
- d) Chiar și atunci când generatorul este conectat, tensiunea sa diferă de tensiunea rețelei.

4.4. Conducerea operativă a stațiilor electrice

O stație electrică este o componentă importantă a rețelelor electrice ce presupune existența extremităților unei linii electrice de transport sau de distribuție, echipamente electrice de comutație și transformatoare de putere. Astfel, aceasta servește la transportul și distribuția energiei electrice, făcând posibilă ridicarea tensiunii electrice pentru transport, iar apoi la celălalt capăt al liniei electrice coborârea acesteia pentru distribuția energiei electrice către utilizatori.

Identificarea rețelelor de înaltă, medie și joasă tensiune (IT, MT și JT) se face în funcție de nivelurile de tensiune implicate, astfel:

- Rețele electrice de joasă tensiune funcționează până la 1 kV. În România este folosită tensiunea de linie de 400 V.
- Rețele electrice de medie tensiune ($1 \leq U_n < 110 \text{ kV}$) funcționează la $U_n = 20 \text{ kV}$ pentru distribuție rurală prin linii electrice aeriene sau pentru distribuția urbană prin linii electrice în cablu; pentru $U_n = 6, 10, 20 \text{ kV}$ în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali sau distribuția urbană prin linii electrice în cablu și $U_n = 110 \text{ kV}$ cu rol de repartiție zonală sau de distribuție în cadrul marilor orașe.
- Rețele electrice de foarte înaltă tensiune funcționează până la 400 kV (sau chiar 750 kV și 1000 kV în unele țări) sunt de obicei proiectate ca instalații de exterior cu linii electrice aeriene.

Aplicațiile din acest paragraf tratează exclusiv stațiile de transformare IT/MT pentru care se vor prezenta diversele manevre executate de la distanță prin intermediul sistemului SCADA.

4.4.1. Stații electrice și echipamente de comutație

Cele mai importante componente dintr-o stație electrică sunt:

- Sistemul de bare;
- Echipamentele de comutație (separatoare și întrerupătoare);
- Transformatoarele de măsură (curent și tensiune);
- Descărcătoarele;
- Instalația de împământare.

Deoarece stațiile moderne sunt predominant controlate și comandate de la distanță, acestea sunt însoțite de facilități suplimentare pentru control, comandă și monitorizare. În procesul de conducere operativă pe lângă măsurarea și întocmirea bilanțului cantităților de energie tranzitate, ele încorporează și sisteme care asigură protecție împotriva supratensiunilor, supracurenților și diferitelor tipuri de defecte.

La baza oricărei stații electrice se află sistemul de bare. Funcționând ca nod de rețea în termeni fizici, sistemul de bare constituie extremitățile liniilor electrice care pot fi conectate sau deconectate prin intermediul echipamentelor de comutație (separatoare și întrerupătoare). Întrerupătoarele trebuie întreținute în mod regulat. Pentru ca lucrările de mentenanță să poată fi efectuate în siguranță, separatoarele sunt instalate înainte și după acestea.

Divizarea unui sistem de bare în mai multe secțiuni (cunoscută sub numele de separare longitudinală) oferă grade de libertate suplimentare. Ambele opțiuni de deconectare fac posibilă împărțirea rețelelor mari în zone izolate galvanic, limitând astfel curenții care apar în cazul unui scurtcircuit.

În conformitate cu diferitele sale funcții, fiecare sistem de comutație (format din separator și întrerupător) împarte stația electrică în câmpuri individuale, făcându-se distincții între liniile de intrare și de ieșire. Figura 4.14(a) prezintă arhitectura unui sistem simplu de bare de pe care pleacă o linie. Cele două separatoare sunt utilizate pentru a deconecta întrerupătorul, inclusiv transformatoarele de curent și tensiune. Circuitul unui sistem simplu de bare, cu o linie electrică de intrare și două de ieșire este prezentat în Figura 4.14 (b).

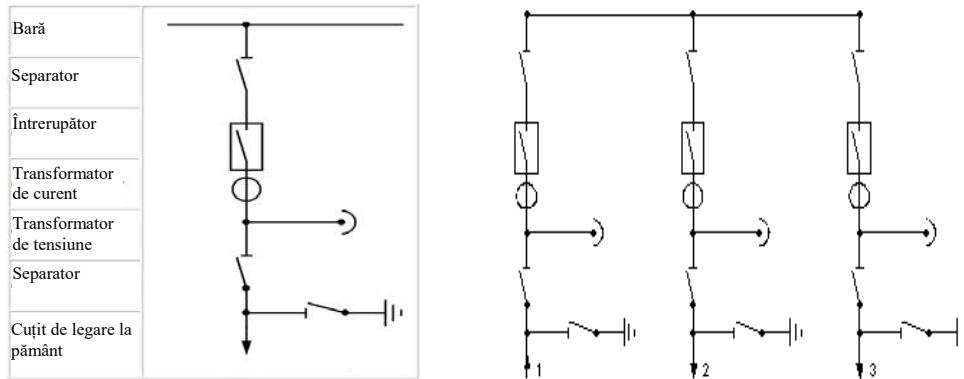


Figura 4.14. (a) Sistem simplu de bare (b) Sistem simplu de bare, cu un distribuitor de intrare și doi de ieșire

Dacă sistemul are mai multe bare, numărul de separatoare crește în mod corespunzător, după cum se poate observa în Figura 4.15. Pentru a putea izola zone de dimensiuni mai mari, în cazul unei defecțiuni sau în cazul în care sunt necesare operații de mentenanță, se va folosi un sistem dublu de bare.

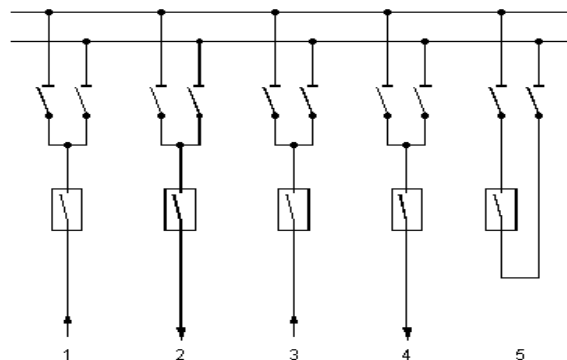


Figura 4.15. Sistem dublu de bare cu două linii de intrare (1 și 3) și două de ieșire (2 și 4), prevăzută cu cuplă transversală

Cupla transversală permite schimbarea alimentării de pe un anumit sistem de bare fără a întrerupe alimentarea. Deoarece separatoarele pot fi comutate numai în stare deconectată, este necesar un întrerupător pentru cuplarea a două bare.

Dacă sistemul urmează să fie extins la trei bare (sistem dublu de bare la care se adaugă o bară de transfer), a se vedea Figura 4.16, trebuie instalate trei separatoare pe fiecare circuit.

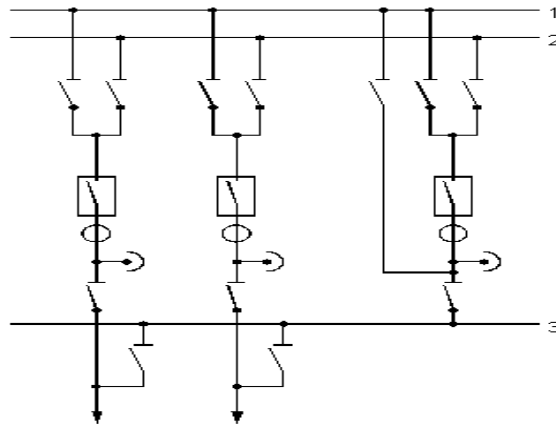


Figura 4.16. Sistem ce cuprinde un sistem dublu de bare și o bară de transfer

Pe măsură ce crește numărul de bare, flexibilitatea configurației va crește. Bara de transfer poate prelua liniile de alimentare de pe sistemul dublu de bare printr-un întrerupător de circuit. Dacă este utilizată o bară de transfer, transformatoarele de măsură și releele de protecție asociate circuitului acesteia trebuie să preia sarcinile de protecție și măsurare pentru o linie preluată. Acest lucru este posibil numai dacă transformatoarele de măsură au rapoarte de transformare identice pe fiecare circuit.

Stațiile electrice importante încorporează adesea o opțiune de comutare suplimentară care permite izolarea longitudinală a sistemelor de bare. Denumită cuplă longitudinală, această tehnică poate fi combinată cu cea transversală așa cum se observă în Figura 4.17.

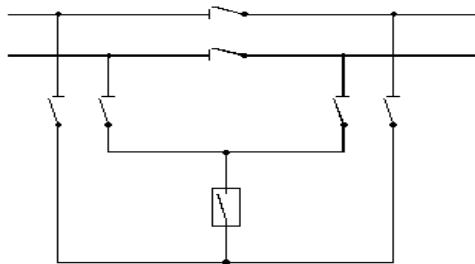


Figura 4.17. Cuplă longo-transversală

Deși foarte complexă, această cuplă cu șase separatoare oferă o multitudine de variante de conexiune. Astfel, aceasta poate permite conectarea longitudinală a ambelor sisteme de bare, în afară de cuplarea transversală a secțiilor de bare stânga sau dreapta.

4.4.2. Topologia unei stații electrice cu sistem dublu de bare

Topologia unei stații de MT cu sistem dublu de bare (I și II) este prezentată în Figura 4.18. unde pot fi identificate 4 celule de linie, 2 celule de transformator, celule de măsură și o celulă asociată cuplei transversale.

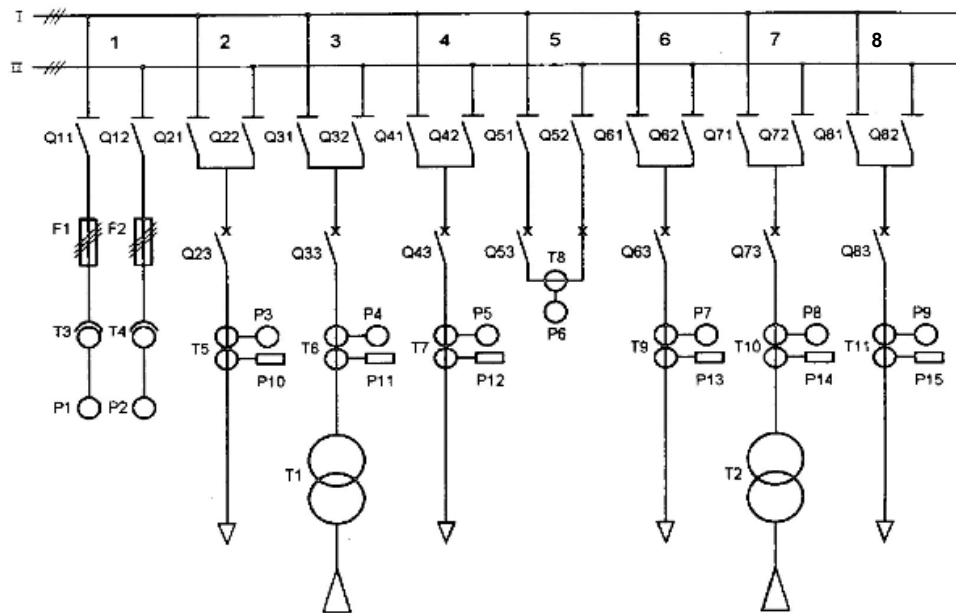


Figura 4.18. Stație electrică de MT cu sistem dublu de bare (I și II)

Zonele asociate unui astfel de sistem sunt următoarele:

- **Câmpul 1:** Celule de măsură prevăzute cu siguranțe de mare putere (F1, F2), transformatoarele de tensiune (T3, T4) și voltmetrele (P1, P2);
- **Câmpurile 2, 4, 6 și 8:** Celulele de linie asociate distribuitorilor de MT ce pleacă din stație;
- **Câmpurile 3 și 7:** Celulele de cu transformator T1 și T2;
- **Câmpul 5:** Cupla transversală;

- **T5 - T11:** Celule de măsură prevăzute cu transformatoare de curent;
- **P3 la P9:** Ampermetre;
- **P10 la P15:** Dispozitive de protecție;
- **Qn1 și Qn2:** Separatoare;
- **Qn3:** Întreruptoare;

În cazul distribuției la MT, comanda ar trebui să fie posibilă la nivel local sau dintr-o cameră de comandă (manual sau prin intermediul unor controlere programabile).

Dacă în Figura 4.18, de exemplu, distribuitorul 2, deconectat inițial de la sistemul de bare, este conectat (*SWITCHED ON*), secvența de manevre descrisă în continuare trebuie respectată atunci când alimentarea se va face de pe sistemul de bare I:

Separator Q21 închis (ON) → Separator Q22 deschis (OFF) → Întreruptor Q23 închis (ON)

Dacă acest distribuitor trebuie deconectat de la sistemul de bare I (switched off), trebuie respectată întotdeauna secvența de manevre:

Întreruptorul Q23 deschis (OFF) → Separatorul Q21 deschis (OFF).

Toți ceilalți distribuitori sau transformatoare sunt conectate/deconectate în mod similar de la același sistem de bare.

Referitor la schimbarea sistemului de bare, acest proces este necesită operații suplimentare în cadrul manevrelor de execuție.

Dacă în Figura 4.18, transformatoarele, conectate la sistemul de bare prin celulele 3 și 7, și distribuitorii, conectați prin celulele 2, 4, 6 și 8, trebuie să se transfere de pe sistemul de bare I pe sistemul de bare II pentru a elibera bara I trebuie să fie folosită cupla transversală din celula 5. Secvența de manevre este următoarea:

1. *Separator Q51 închis (ON), Separator Q52 închis (ON), Separator Q53 închis (ON).* Tensiunile ambelor bare sunt identice în ceea ce privește valoarea, unghiul de fază și frecvența;
2. *Separator Q22 închis (ON), Separator Q21 deschis (OFF);*
3. *Separator Q32 închis (ON), Separator Q31 deschis (OFF);*
4. *Separator Q42 închis (ON), Separator Q41 deschis (OFF);*
5. *Separator Q62 închis (ON), Separator Q61 deschis (OFF);*
6. *Separator Q72 închis (ON), Separator Q71 deschis (OFF);*

7. Separator **Q82** închis (ON), Separator **Q81** deschis (OFF);
8. Întrerupător **Q53** deschis (OFF), Separatoarele **Q51** și **Q52** deschise (OFF).

În absența interblocărilor mecanice, electrice și programate, succesul sau eșecul unei secvențe de manevră depinde de operator/dispecer. Funcționarea incorectă a separatoarelor poate duce la arcuri electrice care provoacă daune semnificative și o întrerupere a alimentării consumatorilor în zona afectată. Din acest motiv, abilitățile de bază în manipularea dispozitivelor de comutare sunt esențiale, iar protecția celulelor împotriva erorilor de comutare este prioritară. Luând în considerare aceste cerințe, modelul prezentat în continuare poate fi controlat prin intermediul unui PLC.

4.4.3. Conducerea și supravegherea unei stații cu sistem dublu de bare

Pentru a studia conducerea și supravegherea unei stații cu sistem dublu de bare se configurează modelul prezentat în Figura 4.19 ce permite, din punct de vedere practic, secvența de manevre descrisă în secțiunile anterioare.

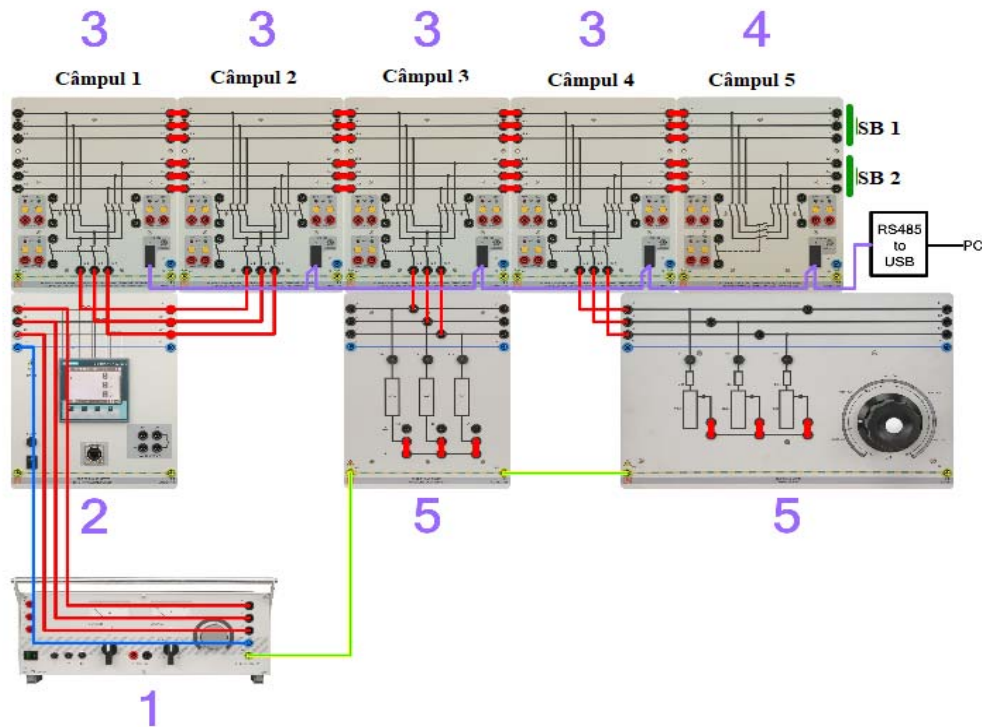


Figura 4.19. Montaj experimental asociat unei stații electrice cu sistem dublu de bare

Structura montajului experimental cuprinde următoarele module :

1. Sursa de alimentare, *Adjustable 3-phase power supply ST8008-4S*;
2. Contor trifazat, *Three-phase meter CO5127-1Y*;
3. Sistem de bare: Distribuitori de intrare / ieșire (**Câmpul 1**: Intrare 1; **Câmpul 2**: Intrare 2; **Câmpul 3**: Ieșire 1; **Câmpul 4**: Ieșire 2), *Double busbar 3-phase, outgoing / incoming feeders CO3301-3R*;
4. Sistem de bare: panoul de cuplare (**Câmpul 5**), *Double busbar 3-phase, coupler panel CO3301-3S*;
5. Consumatori (inductiv și rezitiv), *Resistive load, 3-phase CO3301-3F, Resistive load 3 x 560 Ω CO3301-3H*.

Etape de realizare a montajului experimental

- Se va realiza montajul din Figura 4.19;
- Se va folosi protocolul *RS485* pentru fiecare modul asociat sistemului bare asociind adresa specificată de denumirea câmpului respectiv;
- Se vor conecta modulele prin intermediul cablului *Profibus* la calculator prin intermediul convertorului de interfață *LM9025*;
- Se va alege starea *OFF* toate modulele de comutare;
- Alimentarea trifazată va fi fixată pentru o tensiune de linie de 230 V;
- Se conectează în modul stea sarcina rezistivă variabilă (*CO3301-3F*) și se fixează valoarea la 200 Ω , a se vedea Figura 4.20;
- Se fixează valoarea curentului folosind contorul inteligent (*CO5127-1S* sau *CO5127-1Y*):

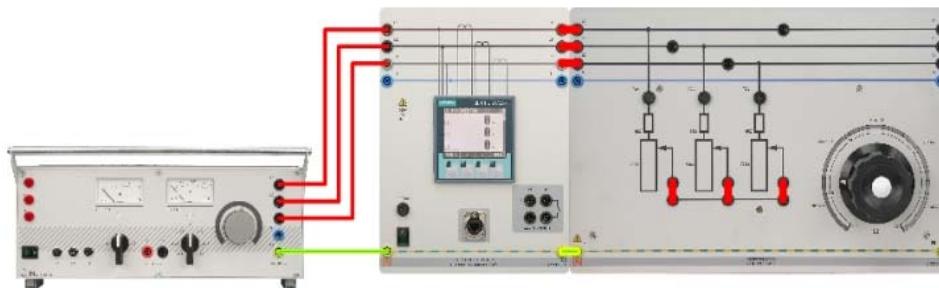


Figura 4.20. Montaj experimental pentru conectarea în modul stea a sarcinii rezistive

- La începutul fiecărui experiment, toate separatoarele și întrerupătoarele de circuit ale sistemului de bare vor fi pe poziția deschis (*OFF*).
- Pentru a utiliza pe deplin capacitățile unui sistem dublu de bare, practic ar să fie alimentată fiecare bară dintr-o sursă de alimentare separată. Cu toate acestea, acest lucru ar necesita instalarea unui mecanism de sincronizare în amonte, de aceea circuitul din acest experiment va fi alimentat dintr-o singură sursă.

Conducerea și supravegherea poate fi implementată local, folosind butoanele de comandă ale modulelor, sau de la distanță utilizând software-ul Lucas-Nülle SCADA (*SO4001-3F / SO4001-3H*), a se vedea Figura 4.21.

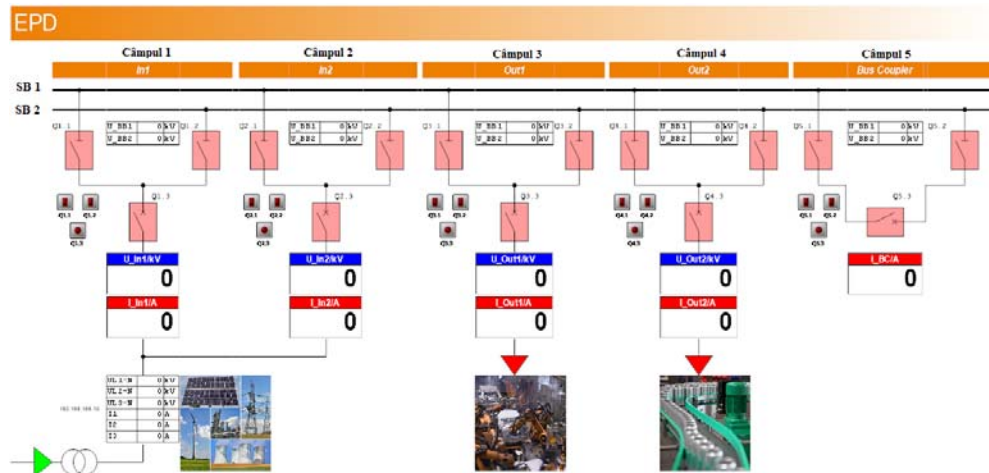


Figura 4.21. Montajul experimental în cazul unei stații electrice cu sistem dublu de bare

- Față de *controlul local* ce utilizează butonul de comandă de pe panoul frontal al fiecărui modul și *controlul manual* al software-ului, sistemul dublu de bare poate fi *controlat automat* prin intermediul software-ului SCADA „soft PLC”.
- După conectarea software-ului SCADA la proces și deschiderea fișierului EPD, trebuie configurată interfața COM a adaptorului *RS485* folosit pentru *Profibus*. De asemenea, este necesară introducerea adresei IP pentru modulul de măsurare utilizat.
- Se va folosi software-ul SCADA pe modul *Diagnosticare*. Dacă este indetificată o problemă cu sistemul de comunicații *Profibus* asociat sistemului de bare sau cu

sistemul *Ethernet* asociat contorului inteligent (*CO5127-IS / CO5127-IY*), un mesaj de eroare va fi transmis către operator. După configurarea corectă a tuturor modulelor, sistemul este poate fi supravegheat de la distanță, astfel încât să se poată citi și modifica valorile mărimilor de stare.

- Conducerea și supravegherea atât timp cât software-ul SCADA este în modul *Diagnosticare* presupune dezactivarea butonului de control al sistemului dublu de bare;
- Valorile tensiunilor și curenților indicați în interfața SCADA sunt multiplicare cu un factor de 1000. O citire de 220 kV corespunde unei valori reale de 220 V asociate standului experimental.

În Figura 4.22 se prezintă reprezentarea grafică din software-ul SCADA a unei celule de linie, însoțită de afișajul variabilelor de stare.

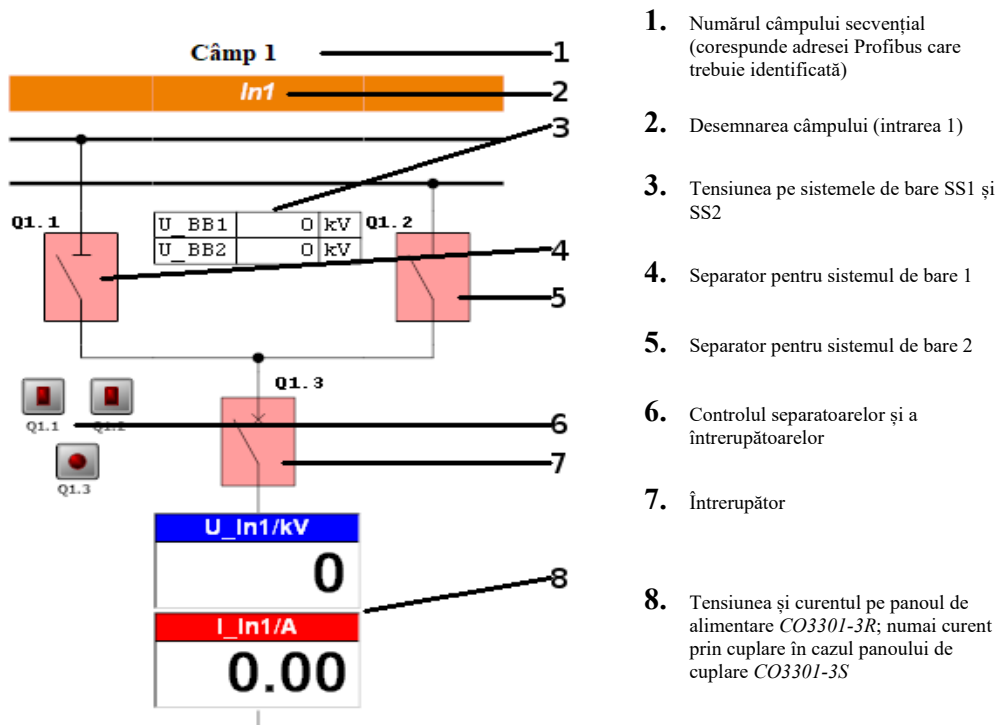


Figura 4.21. Reprezentarea grafică a unei celule de linie în software-ul SCADA

4.4.3.1. Lucrarea 1. Stație electrică cu sistem simplu de bare și un singur distribuitor de intrare

Desfășurarea lucrării

Cazul 1. Conectarea unei zone de consum

1. Se va identifica rolul fiecărui bloc component din cadrul standului experimental pentru controlul unui sistem dublu de bare.

2. **Câmpul 1:** *Distribuitor 1*

1. Separatorul **Q1.1** închis (*ON*)

2. Întrerupător **Q1.3** închis (*ON*)

Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 1	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

3. **Câmpul 3:** *Distribuitor 1*

1. Separatorul **Q3.1** închis (*ON*)

2. Întrerupător **Q3.3** închis (*ON*)

Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 3	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

4. **Câmpul 4:** *Distribuitor 2*

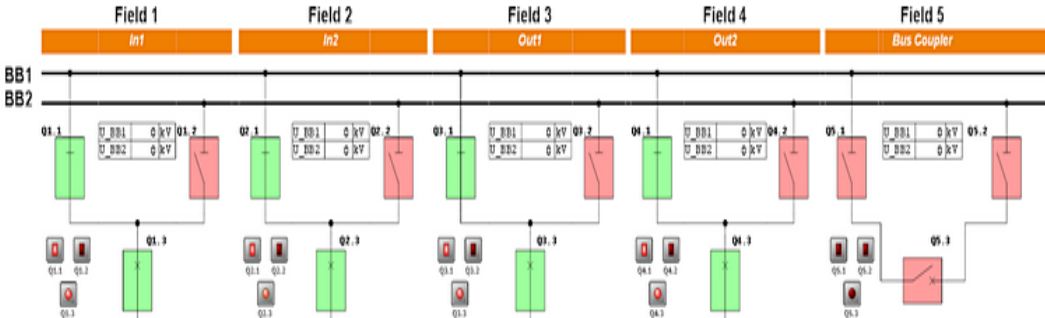
1. Separatorul **Q4.1** închis (*ON*)

2. Întrerupător **Q4.3** închis (*ON*)

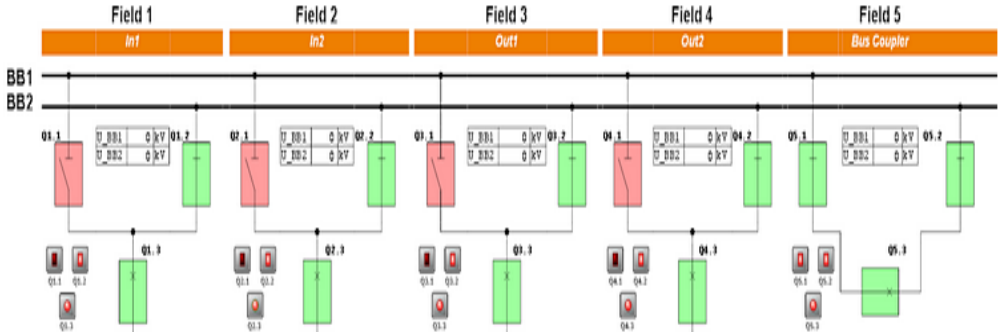
Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 4	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

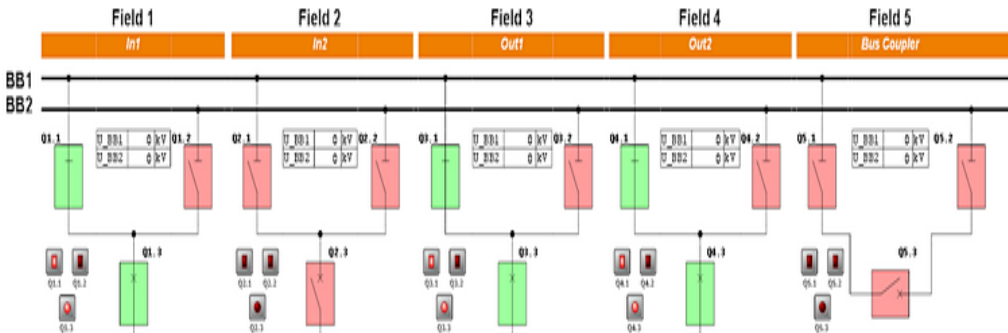
5. Care dintre următoarele scheme reflectă starea separatoarelor și a întreruptoarelor sistemului dublu de bare?



a)



b)



c)

Cazul 2. Deconectarea unui zone de consum6. **Câmpul 3: Distribuitor 1**1. Întrerupătorul **Q3.3** deschis (*OFF*)2. Separatorul **Q3.1** deschis (*OFF*)

Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 4	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

7. Ce rol au separatoarele?

- Opresc alimentarea nedistructivă printr-un arc electric;
- Trebuie acționate numai în stare *deconectat*;
- Ar trebui să indice vizibil starea *deconectat*;
- Starea *Deschis (OFF)* poate fi recunoscută doar prin intermediul unui buton de semnalizare;
- Sunt închise înaintea întrerupătoarelor în timpul manevrelor;
- Sunt închise după întrerupătoare în timpul manevrelor;
- Sunt deschise înaintea întrerupătoarelor în timpul manevrelor;
- Sunt deschise după întrerupătoare în timpul manevrelor.

4.4.3.2. Lucrarea 2. Stație electrică cu sistem simplu de bare cu doi distribuitori de intrare**Desfășurarea lucrării**1. **Câmpul 1: Distribuitor 1**1. Separatorul **Q1.1** închis (*ON*)2. Întrerupător **Q1.3** închis (*ON*)

Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 1	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

2. **Câmpul 3: Distribuitor de ieșire 1**

1. Separatorul **Q3.1** închis (ON)
 2. Întreprupător **Q3.3** închis (ON)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 3	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

3. **Câmpul 4: Distribuitor 2**

1. Separatorul **Q4.1** închis (ON)
 2. Întreprupător **Q4.3** închis (ON)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

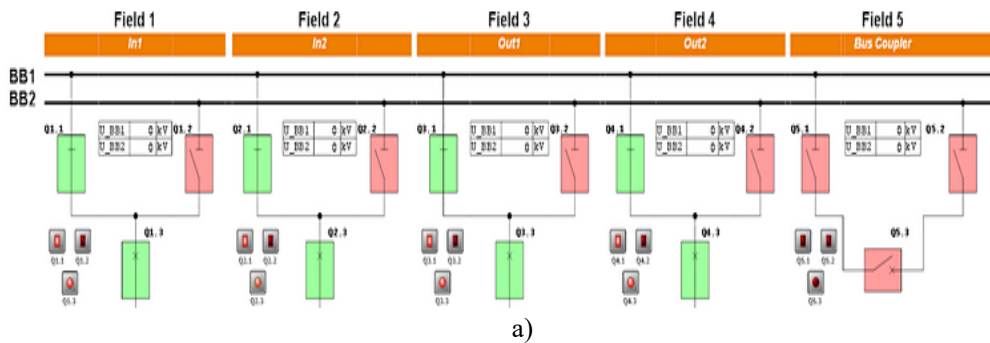
Câmpul 4	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

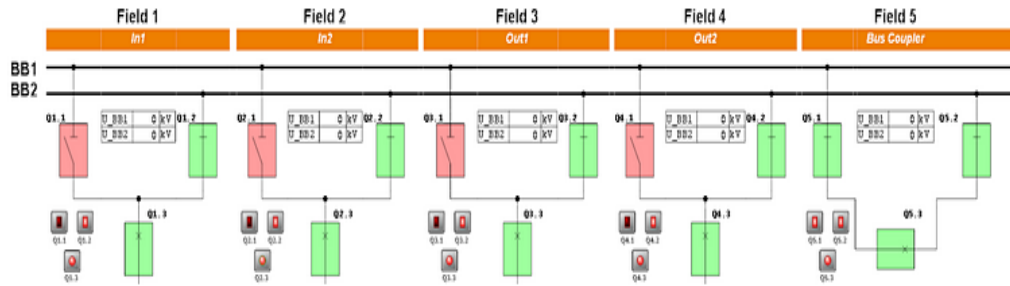
4. **Câmpul 2: Distribuitor 2**

1. Separatorul **Q2.1** închis (ON)
 2. Întreprupător **Q2.3** închis (ON)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

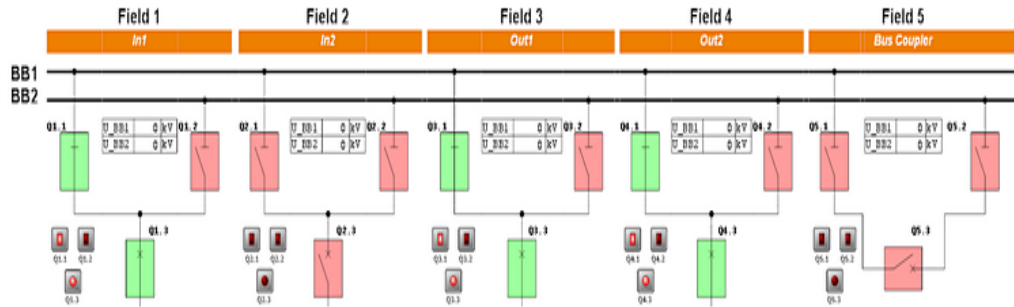
Câmpul 2	0 kV	220 kV
Sistemul de bare 1		
Sistemul de bare 2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

5. Care dintre următoarele scheme reflectă starea separatoarelor și a întreprupătoarelor sistemului dublu de bare?





b)



c)

6. Ce tensiuni de linie sunt înregistrate la nivelul barelor colectoare?

Câmpul 2	0 kV	110 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1			
Sistemul de bare BB2			

4.4.3.3. Lucrarea 3. Stație electrică cu sistem dublu de bare cu distribuitorii de intrare și ieșire

Desfășurarea lucrării

Cazul 1. Sistem dublu de bare cu doi distribuitorii de intrare conectați

1. **Câmpul 1: Distribuitor 1**

1. Separatorul **Q1.1** închis (ON)

2. Întreprător **Q1.3** închis (ON)

Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 1	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

2. **Câmpul 3: Distribuitor 1**

1. Separatorul **Q3.1** închis (*ON*)
 2. Întrerupător **Q3.3** închis (*ON*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 3	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

3. **Câmpul 2: Distribuitor 2**

1. Separatorul **Q2.2** închis (*ON*)
 2. Întrerupător **Q2.3** închis (*ON*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 2	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

4. **Câmpul 4: Distribuitor 2**

1. Separatorul **Q4.2** închis (*ON*)
 2. Întrerupător **Q4.3** închis (*ON*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

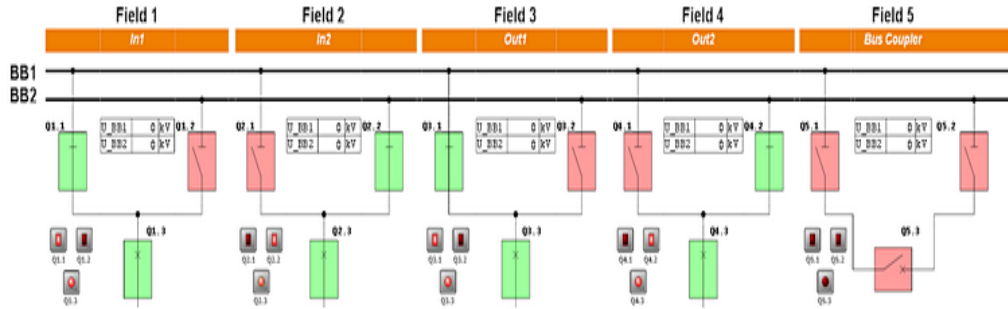
Câmpul 4	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

5. **Câmpul 5: Cupla transversală**

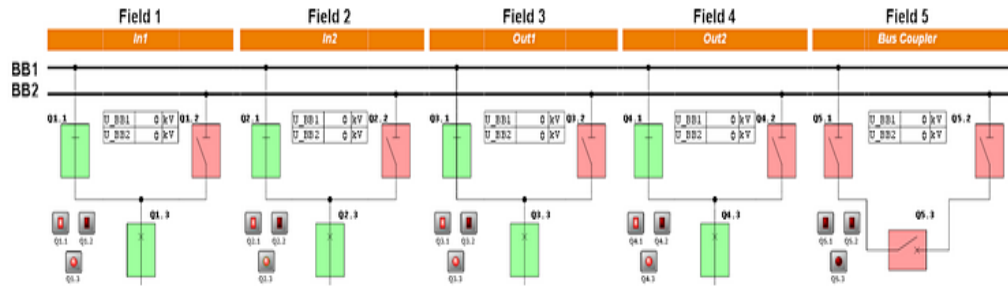
1. Separatorul **Q5.1** închis (*ON*)
 2. Separatorul **Q5.2** închis (*ON*)
 3. Întrerupător **Q5.3** închis (*ON*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 5	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

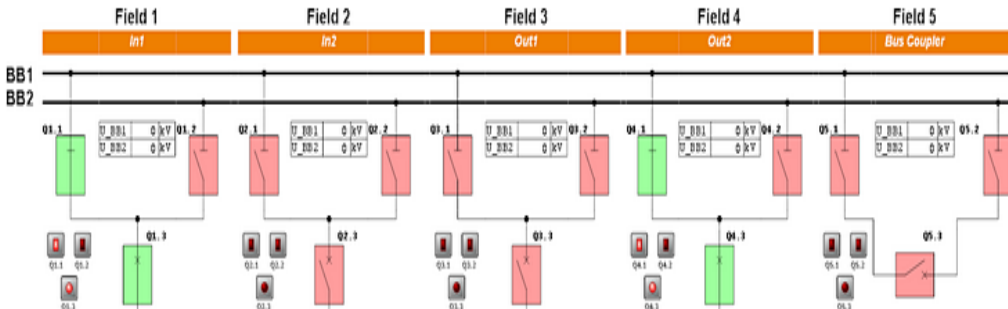
5. Care dintre următoarele scheme reflectă starea separatoarelor și a întreruptoarelor sistemului dublu de bare?



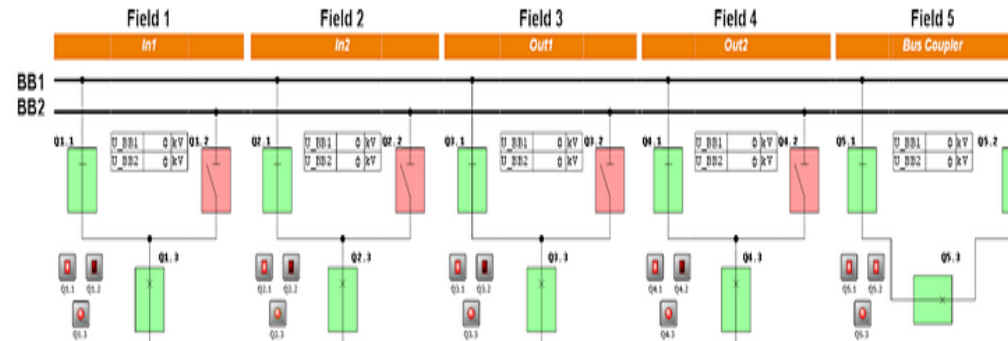
a)



b)



c)



d)

Cazul 2. Sistem dublu de bare cu doi distribuitori de intrare deconectați

1. **Câmpul 3:** Distribuitor de ieșire 1

1. Întrerupător **Q3.3** deschis (*OFF*)
 2. Separatorul **Q3.1** deschis (*OFF*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 3	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

2. **Câmpul 4:** Distribuitor 2

1. Întrerupător **Q4.3** deschis (*OFF*)
 2. Separatorul **Q4.1** deschis (*OFF*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 4	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

4.4.3.4. Lucrarea 4. Transferul sarcinii între sistemele de bare ale unei stații

Desfășurarea lucrării

1. **Câmpul 1:** Distribuitor 1

1. Separatorul **Q1.1** închis (*ON*)
2. Întrerupător **Q1.3** închis (*ON*)

Câmpul 1	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

2. **Câmpul 2:** Distribuitor 2

1. Separatorul **Q2.1** închis (*ON*)
 2. Întrerupător **Q2.3** închis (*ON*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 2	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

3. **Câmpul 3: Distribuitor 1**

1. Separatorul **Q3.1** închis (*ON*)
 2. Întrerupător **Q3.3** închis (*ON*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 3	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

4. **Câmpul 4: Distribuitor 2**

1. Separatorul **Q4.1** închis (*ON*)
 2. Întrerupător **Q4.3** închis (*ON*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 4	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

5. **Câmpul 5: Cupla transversală**

1. Separatorul **Q5.1** închis (*ON*)
 2. Separatorul **Q5.2** închis (*ON*)
 3. Întrerupător **Q5.3** închis (*ON*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 5	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

6. **Câmpul 1: Distribuitor 1**

1. Separatorul **Q1.2** închis (*ON*)
 2. Separatorul **Q1.1** deschis (*OFF*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 6	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

7. **Câmpul 2: Distribuitor 2**

1. Separatorul **Q2.2** închis (*ON*)
 2. Separatorul **Q2.1** deschis (*OFF*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 2	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

8. **Câmpul 3: Distribuitor 1**

1. Separatorul **Q3.2** închis (*ON*)
 2. Separatorul **Q3.1** deschis (*OFF*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

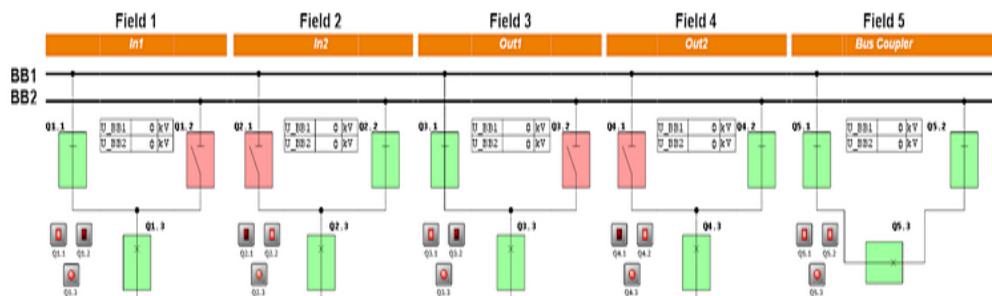
Câmpul 3	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

9. **Câmpul 4: Distribuitor 2**

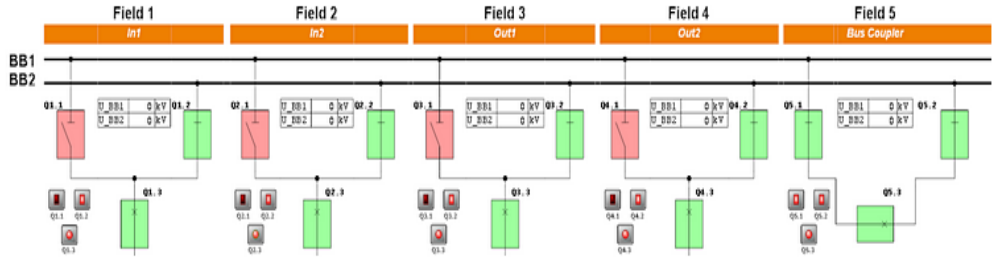
1. Separatorul **Q4.2** închis (*ON*)
 2. Separatorul **Q4.1** deschis (*OFF*)
- Ce mărimi de stare sunt afișate?

Câmpul 4	0 kV	220 kV
Sistemul de bare BB1		
Sistemul de bare BB2		
Distribuitor de intrare 1		
Distribuitor de intrare 2		
Distribuitor de ieșire 1		
Distribuitor de ieșire 2		

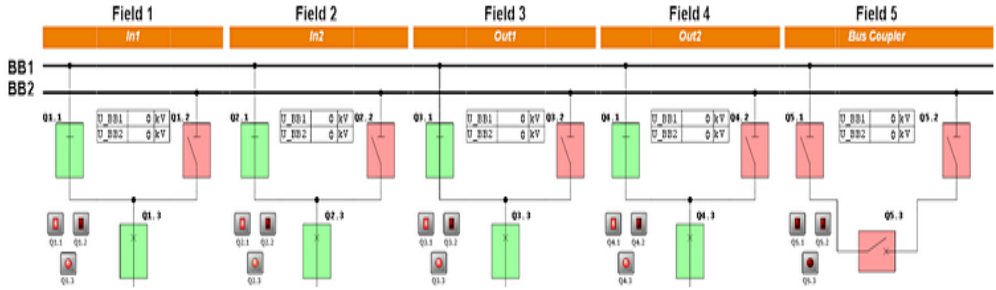
10. Care dintre următoarele scheme reflectă starea separatoarelor și a întreruptoarelor sistemului dublu de bare?



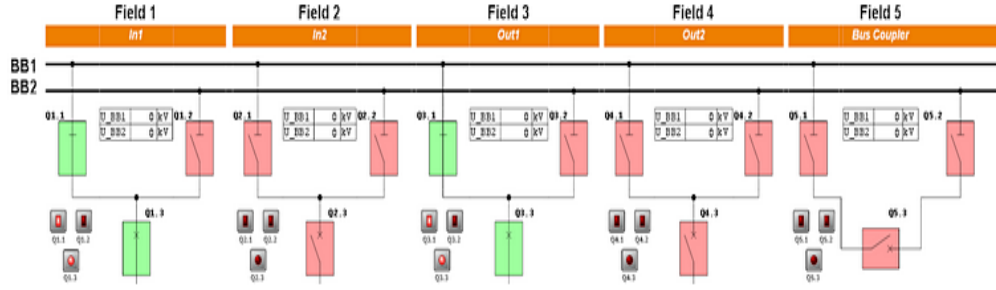
a)



b)



c)



d)

Bibliografie







- [Grigoraş 09] Grigoraş Gh., Cârţină Gh., Bobric E.C, Sisteme de supraveghere, conducere și achiziții de date, Editura SETIS, Iași, 2009.
- [Eremia 06] Eremia M, Cârţină Gh., Petricică D., Bulac I., Constantin Bulac C., Triştiu I., Grigoraş Gh., Tehnici de inteligență artificială în conducerea sistemelor electroenergetice, Editura AGIR, Bucureşti, 2006.
- [Cârţină 02] Cârţină Gh., Grigoraş Gh., Tehnici moderne de optimizare. Aplicații în energetică, Casa de Editură Venus, Iași, 2002.
- [Cârţină 03] Cârţină Gh., Yong-Hua Song G., Grigoraş Gh., Optimal Operation and Planning of Power Systems, Casa de Editură VENUS, Iași, 2003.
- [Gavrilaş 08] Gavrilaş M., Aspecte moderne în modelarea sistemelor electroenergetice, Casa de Editură Venus, Iași, 2008.
- [Grigoraş 10] Grigoraş Gh., Metode numerice. Aplicații în Matlab, Vol. I., Editura PIM, Iași, 2010.
- [Grigoraş 12] Grigoraş Gh., Metode numerice. Aplicații în Matlab, Vol. II., Editura PIM, Iași, 2012.
- [Grigoraş 12] Grigoraş Gh., Cârţină Gh., Bobric E.C., Trends and Directions for Energy Saving in Electric Networks – capitol în cartea Management of Technological Innovation in Developing and Developed Countries, Editor: HongYI Sun, Editura Intech, Croatia, pp. 3 – 27, 2011.
- [Grigoraş 19] Grigoraş Gh., Conducerea sistemelor electroenergetice folosind tehnici de inteligență artificială, Editura PIM, Iași, 2019.
- [Grigoraş/1] Grigoraş Gh., Tehnici moderne de conducere, Suport de prezentare pentru curs (format electronic ppt), Disponibil on-line: http://www.gheorghe-grigoras.ieeia.tuiasi.ro/suport_curs.html

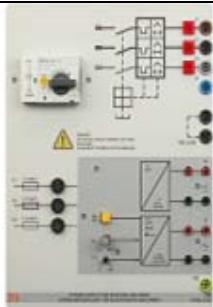


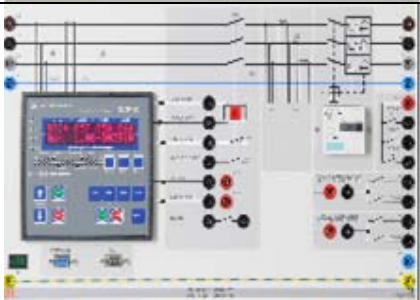
- [Matlab /1] Matlab Basics Tutorial, Get Started with Simulink, Simulation and Model-Based Design, Disponibil on-line: <https://www.mathworks.com/help/simulink/getting-started-with-simulink.html>.
- [Matlab/2] SimPowerSystems for Use with Simulink, Hydro-Québec- TransÉnergie Technologies, Modeling - Simulation –Implementation, Disponibil on-line: <https://matlab4engineers.com/wpcontent/uploads/2019/09/powersys.pdf>.
- [Matlab/3] Matlab. Numerical Computing, Disponibil on-line: <http://www.mathworks.com>.
- [PowerWorld/1] Introduction to PowerWorld Simulator, Disponibil on-line: <https://www.powerworld.com/training/online-training/introduction-to-powerworld-simulator>.
- [PowerWorld /2] Simulator, Disponibil on-line: <https://www.powerworld.com/products/simulator>.
- [Wasser www] Wasser P., Course :Pumped Storage Power Station, Course number: SO2800-6T, Versiunea 1.0.0.2, Disponibil on-line: <https://www.lucas-nuelle.us/2768/apg/13676/EUG-3-4-Pumped-storage-and-various-Power-plants.htm>
- [Ludwig www] Ludwig J., Investigating Busbar Systems, Course number: SO2800-6N, Versiunea 2.0.0.0, Disponibil on-line: <https://www.lucas-nuelle.us/2768/apg/13101/Fundamentals-of-power-engineering-UniTrain-.htm>
- [Burgmer www] Burgmer M., Feltes C., Linnertz R., Wind Power Plants with DFIG, Course number: SO2800-3D Version 1.1.0.1, Disponibil on-line: <https://www.lucas-nuelle.us/2768/apg/13194/EWG-1-Wind-power-plant-with-DFIG.htm>
- [Rușinaru 04] Rușinaru D., Mircea I., Mircea P.M., Utilizarea simulatoarelor dinamice în cadrul procesului de instruire în domeniul sistemelor electroenergetice, Editura Universitaria, Craiova, 2004.
- [Karris 06] Karris S.T, Introduction to Simulink with Engineering Applications, Publishing house: Orchard Publications, 2006.
- [Zahariea 14] Zahariea D., Matlab calcul numeric și simbolic, Editura PIM, Iași, 2014.
- [Kertész 09] Kertész C.Z., IvanovicI L.M., Procesarea digitală a semnalelor. Îndrumar de laborator, Universitatea Transilvania Brașov, 2009. Disponibil on-line: http://www.miv.ro/books/CKertesz_MIvanovici_PDS.pdf

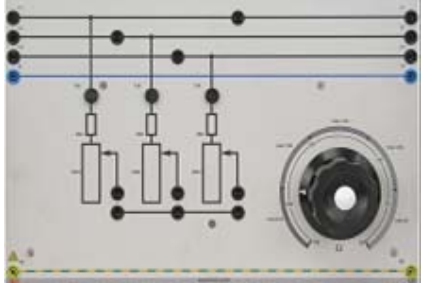
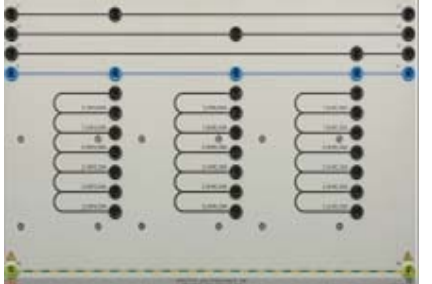
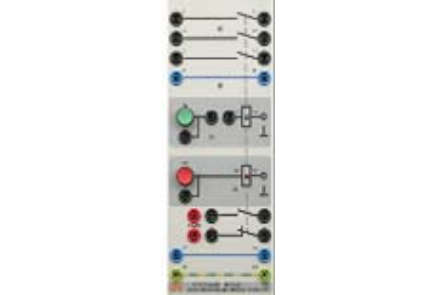

ANEXA A

**Module utilizate în cadrul standului experimental pentru
simularea și analiza funcționării unei centrale hidroelectrice**

ANEXA A

Cod	Denumire	Imagine
CO3636-6W	Banc de testare a generatorului / Machine test bench	
SE2662-5Q	Motor / generator trifazat / Three-phase synchronous machine with smooth core rotor	
SE2662-6A	Manșon de cuplare (1kW) / Coupling sleeve	
SE2662-6B	Protecție de cuplare (1kW) / Coupling guard	
SE2662-6C	Apărătoarea capătului arborelui / Shaft end guard	
CO3301-5K	Unitatea de control pentru centrala hidro cu pompaj / Control Unit For Pumped- Storage Power Station	

CO3212-5U	Sursă de alimentare / Power supply for electric machines	
CO3301-5G	Controler a tensiunii de excitație / Exciter voltage controller with de-excitation switch	
CO3212-6V	Unitatea de sincronizare / Synchronization unit	
CO3301-5X	Releu multifuncțional / Multi-function relay	

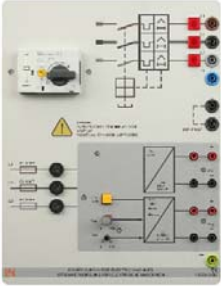
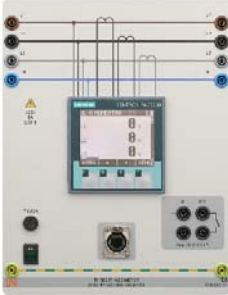


<p>CO3301-3F</p>	<p>Sarcina rezistivă variabilă (1kW) / Variable resistive load, 3-phase</p>	
<p>CO3301-3D</p>	<p>Sarcina inductivă variabilă (1kW) / Inductive load, 3-phase</p>	
<p>CO3301-5P</p>	<p>Modul comutator de alimentare / Power switch module</p>	
<p>CO5127-1S</p>	<p>Contor de calitate a puterii cu afișaj / Power Quality Meter</p>	

ANEXA B

**Module utilizate în cadrul standului experimental pentru
simularea și analiza funcționării unei centrale eoliene**

ANEXA B

Cod	Denumire	Imagine
CO3208-3A	Generator de inducție cu turație variabilă, dublu-alimentat / Controller for a wind power plant's doubly-fed induction generator	
SE2662-6W	Motor / generator trifazat / Three-phase, multi-function machine (doubly fed generator)	
CO3208-3B	Transformator trifazat pentru cuplarea centralei eoliene la rețeaua de electrică / Three-phase isolating transformer for a wind power plant	
SE2662-5T	Codificator incremental / Incremental position encoder	
CO3636-6W	Standul de testare a servo- mașinii / Servo-machine test stand	

CO3212-5U	Sursă de alimentare / Power supply for electric machine	
CO5127-1Y	Contor trifazat / Three-phase meter	
CO5127-1Z	Multimetru analog-digital / Analog/digital multimeter, power & power-factor meter	
SE2662-6A	Manșon de cuplare (1kW) / Coupling sleeve	
SE2662-6B	Protecție de cuplare (1kW) / Coupling guard	