

CAPITOLUL 2

ANALIZA ASISTATĂ DE CALCULATOR

A FUNCȚIONĂRII REȚELELOR ELECTRICE - PRINCIPII GENERALE

În figura AAC.1 este prezentată schema de principiu a zonei Moldova a rețelei de transport din România. Prin puncte s-au reprezentat amplasamentele stațiilor electrice de 400/110 kV (Suceava, Roman Nord, Gutinaș), respectiv 220/110 kV (Suceava, Gutinaș, Iași, Munteni, Stejaru, Dumbrava). Cu linii albastre s-au figurat liniile de 220 kV, iar cu linii roșii sunt reprezentate liniile de 400 kV.

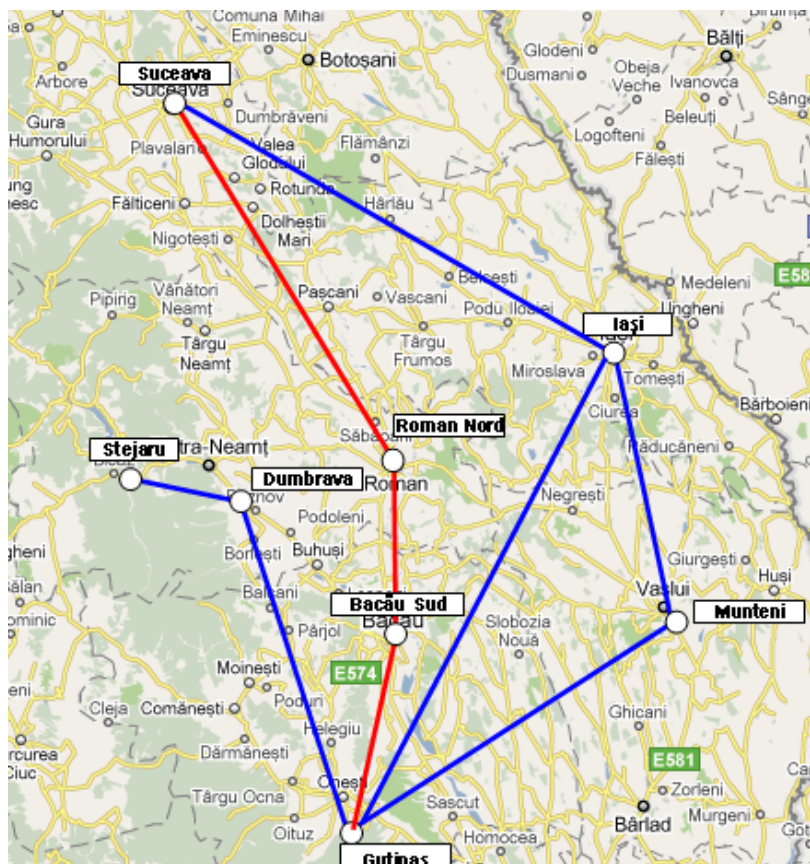


Fig. AAC.1 – Rețeaua de transport de pe teritoriul Moldovei.

Această rețea se leagă prin alte linii de transport, netrasate în Fig. AAC1, cu Transilvania, din stația Stejaru, respectiv cu sudul țării, prin stația Gutinaș. Prin această rețea sunt alimentate rețelele de distribuție la 110 kV de pe teritoriul județelor Botoșani, Suceava, Neamț, Iași, Vaslui și Bacău. Rețelele de repartiție alimentează, la rândul lor, rețelele de distribuție de medie și joasă tensiune, prin intermediul cărora primesc electricitate consumatorii de toate categoriile (industriali, casnici, comerciali etc).

Exploatarea unui sistem electroenergetic trebuie să se facă ținând cont în orice moment de următoarele cerințe obligatorii de funcționare:

- asigurarea unui nivel de siguranță normat pentru alimentarea consumatorilor.
- încadrarea în limitele admise a indicatorilor de calitate a energiei electrice (frecvență, tensiune, nivel de armonice, grad de nesimetrie pe faze).
- funcționarea optimă pe ansamblul sistemului, în scopul producerii și transportului cu prețuri minime.
- respectarea restricțiilor de amplasament și de mediu.

Concret, din punct de vedere tehnic:

- trebuie să se realizeze echilibrul între puterea generată și cea absorbită, inclusiv pierderile,
- tensiunile în noduri trebuie menținute la valori apropiate de cele nominale,
- puterile activă și reactivă produse de grupurile generatoare trebuie menținute între anumite limite
- încărcările liniilor și transformatoarelor nu trebuie să depășească limitele admisibile, pe durate mari de timp.

Dacă s-ar cunoaște complet structura (schema de funcționare, topologia și parametrii electrici ai elementelor componente) și condițiile de încărcare (toate sarcinile și puterile generate) ale sistemului **la un moment dat**, prin aplicarea simplă a legilor elementare ale electrotehnicii, ar rezulta imediat toate mărimile de stare ale sistemului (tensiunile nodale). Cunoșcând tensiunile nodale, se pot determina apoi și celelalte necunoscute (circulații de putere și de curent pe laturi, pierderi de putere și căderi de tensiune pe laturi, încărcarea elementelor componente ale sistemului) Această problemă generală este cunoscută sub numele de calculul regimului permanent al rețelelor electrice (Fig. AAC.2).

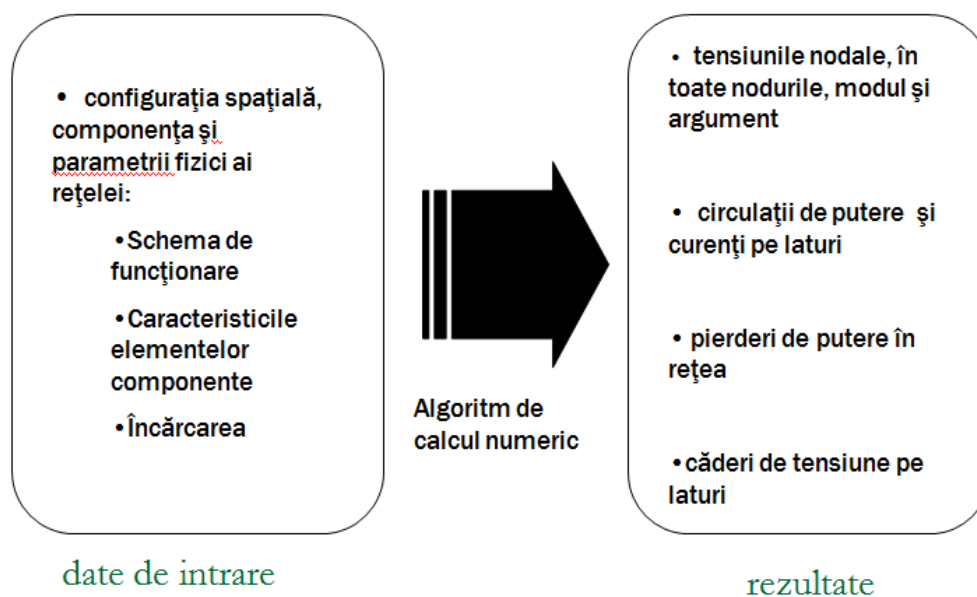


Fig. AAC.2 – Schema de principiu a calculului regimului permanent al rețelelor electrice

În analizele în timp real, de obicei nu este posibilă cunoașterea tuturor mărimilor de intrare necesare unui calcul de regim. În acest caz, cu datele de intrare disponibile (structura, topologia și caracteristicile electrice ale sistemului și măsurători de puteri și tensiuni preluate din rețea), se aplică algoritme de estimare a stării, care vor fi discutate în partea a doua a cursului.

Calcululele de regim permanent sunt folosite în prezent pe scară largă în analize offline, în următoarele tipuri de aplicații:

- La proiectarea sau extinderea sistemelor electrice, pentru dimensionarea corespunzătoare a elementelor rețelei (linii, transformatoare).
- În activitatea de mentenanță a sistemelor aflate în exploatare, pentru avizarea tehnică a lucrărilor, care nu trebuie să împiedice funcționarea sistemului în ansamblu
- În analize postum ale unor evenimente petrecute în rețea, pe baza măsurătorilor efectuate în timpul producerii acestora.

Algoritmele de calcul de regim rămân și în prezent un instrument de bază în analiza rețelelor electrice, utilizat pe scară largă pentru diverse analize tehnice în cadrul centrelor de dispecer. Ele împart multe caracteristici comune cu algoritmele de estimare a stării folosite pentru studiul și monitorizarea în timp real ale rețelelor electrice.

Indiferent de metoda folosită, implementările calculului de regim permanent prezente în toate pachetele de programe specializate de analiză a rețelelor electrice presupun parcurgerea unui set clasic de pași, după cum urmează:

1. Întocmirea schemei monofilare a rețelei și introducerea parametrilor electrici ai elementelor componente ale acesteia.

Pe o schemă monofilară se reprezintă prin simboluri grafice convenționale următoarele elemente componente:

- **Nodurile** rețelei, punctele în care se consumă sau se produce energie, și care pot reprezenta:
 - stațiile sau posturile de transformare,
 - interconexiuni cu sistemul extern, legături cu SEE, sub formă de consumuri echivalente
 - consumatori individuali sau complecși
 - generatoare

Într-un nod complex se pot conecta, dacă este cazul, mai mulți consumatori și/sau generatoare.

- **Laturile** rețelei
 - liniile electrice prin care circulă energia între noduri
 - transformatoarele din stații și posturi
 - alte elemente de rețea, transversale sau longitudinale care influențează regimul de funcționare al rețelei (bobine de reactanță, baterii de condensatoare, compensatoare sincrone)

Alte elemente ale rețelei, precum sisteme de protecție și întrerupătoare nu prezintă interes direct în calcululele de regim permanent și nu sunt reprezentate exact în aceste tipuri de analize.

Fiecărui simbol grafic i se atașează parametrii electrici, care determină felul și amplitudinea influenței elementului reprezentat asupra mărimilor de stare ale rețelei.

În schema monofilară, neutrul comun al tuturor elementelor componente ale rețelei se alege ca nod de referință, în timp ce toate celelalte noduri, care apar întotdeauna în schemă, sunt noduri independente, caracterizate din punct de vedere electric prin patru mărimi:

- puterea activă P ;
- puterea reactivă Q ;
- modulul tensiunii U
- argumentul tensiunii θ .

În calculele de regim permanent, două dintre aceste mărimi sunt impuse/cunoscute, iar celelalte două urmează a fi determinate prin calcul. Din acest punct de vedere, nodurile din rețelele electrice se împart în trei categorii:

- noduri de tip PQ (consumator), pentru care se precizează puterile activă și reactivă, urmând să se determine prin calcul modulul și argumentul tensiunii.
- noduri de tip PU (generator) pentru care se cunosc puterea activă absorbită/injectată, modulul tensiunii și limitele între care se poate înscrie puterea reactivă: $Q_{min} \leq Q \leq Q_{max}$.
- noduri de echilibru (de balansare) e pentru care se știe modulul și argumentul tensiunii (ultimul considerat frecvent origine de fază, cu valoarea 0), urmând să se determine puterile activă și reactivă injectate.

Pentru laturi, se indică parametrii electrici (rezistență, reactanță, conductanță și susceptanță), care sunt calculați pe baza datelor de material preluate din cataloage, a caracteristicilor rețelei (de exemplu: lungimea laturilor, numărul de circuite sau transformatoare conectate în paralel) și a modelului de reprezentare ales (de ex. cuadripol sau dipol). În plus, pentru transformatoare se indică plotul de funcționare și tipul de reglaj. Nodurile de început și de sfârșit ale laturilor rezultă din schema monofilară. Dacă aceasta nu se întocmește, ele trebuie precizate pentru fiecare latură, ca date de intrare.

2. Formarea matricei admitanțelor nodale

Matricea admitanțelor nodale $[Y_n]$ este o matrice pătrată, de dimensiune egală cu numărul de noduri independente ale rețelei, care memorează topologia și parametrii electrici ai rețelei. Ea se calculează pe baza schemei monofilare și a parametrilor electrice indicați ca datele de intrare pentru elementele rețelei.

3. Aplicarea metodei de regim permanent

În funcție de felul în care sunt reprezentate sarcinile nodale, metodele de calcul al regimului permanent se împart în două mari categorii:

- *Metode directe*, liniare, care folosesc reprezentarea sarcinilor sub formă de curenți și teoria grafurilor.

Din această categorie fac parte metoda tensiunilor nodale, metoda curenților ciclici și metoda perechilor de noduri. Ele determină rezultatul exact, însă au dezavantajul de a necesita inversarea unor matrice complexe, ceea ce le face nepotrivite pentru rețele de mari dimensiuni. Aceste metode se aplică mai ales pentru rețele de distribuție radiale de medie și joasă tensiune și se studiază în cadrul cursului de Transportul și Distribuția Energiei Electrice.

- *Metode indirecte*, neliniare, folosite în cazul reprezentării sarcinilor sub formă de puteri.

Acestea determină variabilele de stare printr-un model matematic iterativ, calculând corecții succesive pentru un set de aproximații inițiale ale variabilelor de stare. Soluția obținută va fi întotdeauna o aproximație a soluției exacte. Din această categorie fac parte metodele Seidel-Gauss și Newton-Raphson.

4. Determinarea necunoscutelor auxiliare

Toate algoritmele de regim permanent au ca necunoscute principale modulele și argumentele tensiunilor din nodurile rețelei și puterile reactive din nodurile de tip PU.

Necunoscutele auxiliare, care se determină pe baza tensiunilor calculate, sunt:

- circulațiile de puteri active și reactive pe laturi
- pierderile de puteri pe laturi
- injectia de putere din nodul de echilibru.
- căderile de tensiune pe laturi
- circulațiile de curenți pe laturi.

Exemplu

Desenarea în programul DIGSilent Power Factory a schemelor unor rețele

Fereastra principală a programului DigSilent Power Factory este prezentată în Fig. AAC.2

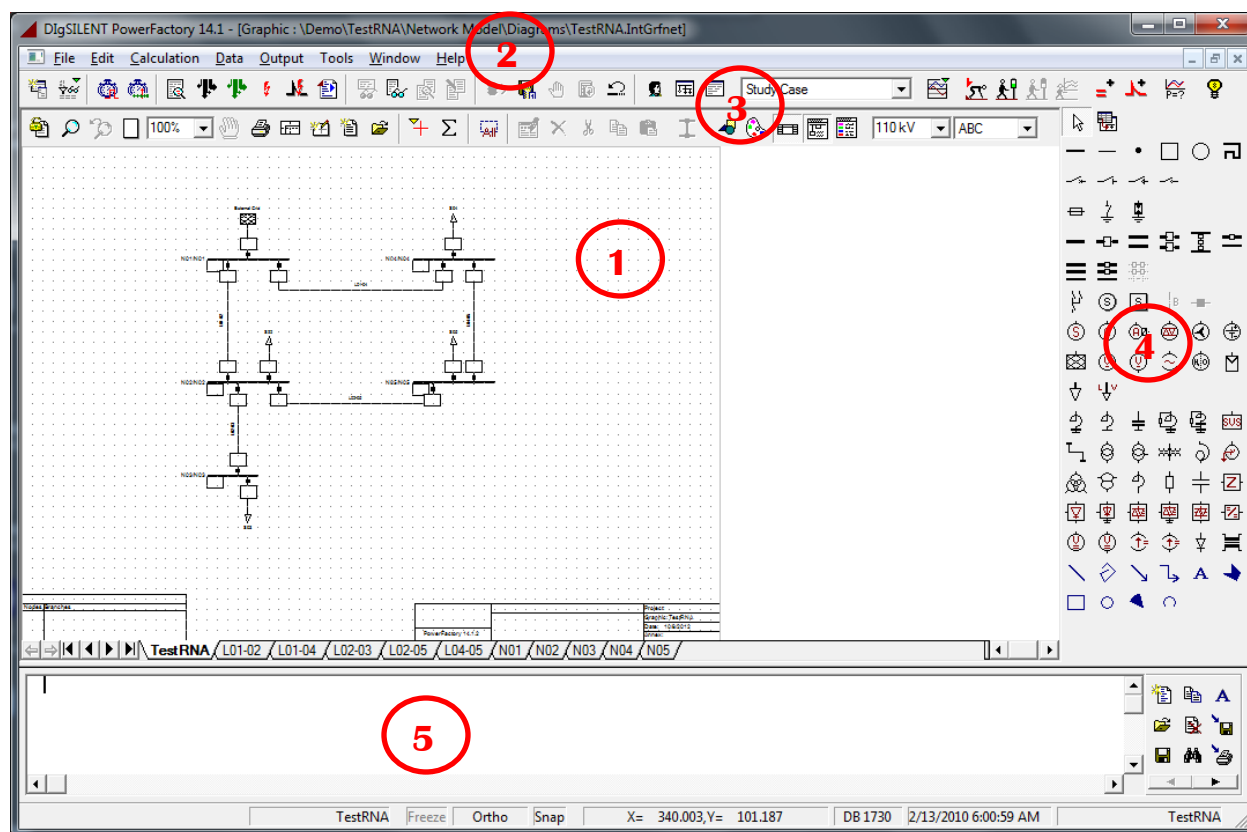


Fig. AAC.2 – Fereastra principală a programului DIGSilent Power Factory: 1 – zona de lucru; 2 – bara de meniuri; 3 – bare de instrumente; 4 – bara de desen; 5 – zonă de afișare a rezultatelor

Simbolurile elementelor cel mai des folosite pentru desenarea unei rețele sunt prezentate în Fig. AAC.3.








	Nod (Single Busbar System)
	Sistem extern (External Grid), folosit pentru definirea nodului de echilibru
	Linie electrică (Line)
	Transformator cu două înfășurări (2-Winding Transformer)
	Transformator cu trei înfășurări (3-Winding Transformer)
	Generator sincron (Synchronous Machine), folosit pentru definirea nodurilor PU
	Sarcină (Load)

Fig. AAC.3 – Principalele elemente de rețea folosite pentru construirea schemelor monofilare în programul Digsilent Power Factory

Introducerea unui element într-o schemă se face cu ajutorul mouse-ului, executând click stânga pe simbolul corespunzător din bara de desen. Când a fost selectat un element, cursorul mouse-ului va fi însoțit de pictograma elementului respectiv:

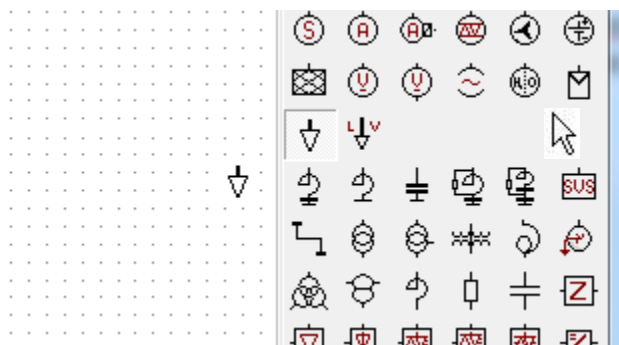


Fig. AAC.4 - Selectarea unei sarcini

Se așează apoi elementul pe foaia de lucru. Dacă elementul va fi conectat la o bară (într-un nod al rețelei), se face click pe bara respectivă și se conectează elementul într-unul din cuburile libere. După conectarea elementului, se poate închide schema detaliată a barei.

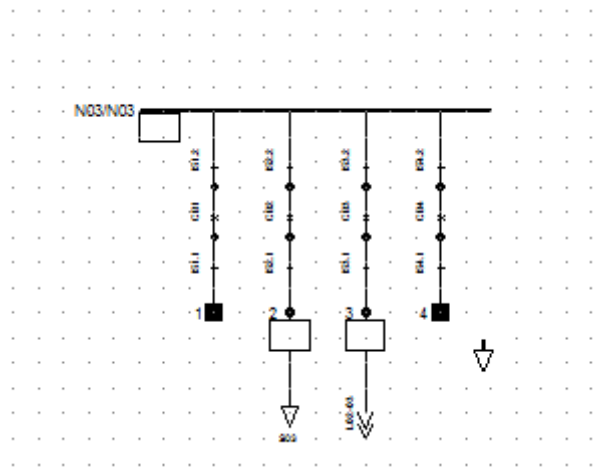


Fig. AAC.5 – Conectarea unei sarcini pe o bară

Schemei din Fig. AAC.2 i se asociază parametrii electrici ai elementelor și sarcinile din rețea. Modul de introducere al acestora va fi detaliat în capitolul următor. Deocamdată, ei sunt indicați cu titlu informativ în tabelele AAC.1 și AAC.2

Tabelul AAC.1 – Date laturi pentru rețeaua test

Nume	Nod intrare	Nod iesire	Secțiune transversala	Lungime km	$R_0=0.198 \Omega/\text{km}$ $X_0=0.433 \Omega/\text{km}$ $B_0=2.66 \mu\text{S}/\text{km}$
L01-02	N01	N02	150 mm ²	20	
L01-04	N01	N04	150 mm ²	40	
L02-03	N02	N03	150 mm ²	60	
L02-05	N02	N05	150 mm ²	40	
L04-05	N04	N05	150 mm ²	20	

Tabelul AAC.2 – Date nodale pentru rețeaua test

Nod	Tip nod	Tensiune nominală kV	Pi MW	Qi MVar
N01	echilibru	110		
N02	PQ	110	17	3
N03	PQ	110	12	1
N04	PQ	110	8	1
N05	PQ	110	8	1