

ESTIMAREA STĂRII

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). Cunoscând 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. ES.1).

Pentru analizele desfășurate în cadrul aplicațiilor de monitorizare și control în timp real, la producerea unei congestii sau a unei contingente în rețea, obținerea și prelucrarea unui asemenea volum de date nu este posibilă din punct de vedere tehnic. În aceste cazuri, este necesară utilizarea unor algoritme care să aibă nevoie de mai puține date de intrare, dar care, în același timp, să calculeze regimul de funcționare al rețelei cu o precizie satisfăcătoare. Operatorii de sistem au de obicei la dispoziție un set limitat de măsurători preluate din puncte cheie din sistem. Pe baza acestora, cunoscând structura rețelei (datele despre linii, transformatoare și alte echipamente montate în sistem) și configurația în care aceasta funcționează în momentul analizei, preluate dintr-un sistem de tip SCADA (Fig. ES.2), ei pot aproxima regimul de funcționare. Procedeu se numește *estimarea stării statice a sistemului*, iar algoritmul folosit în acest scop poartă numele de estimator de stare.

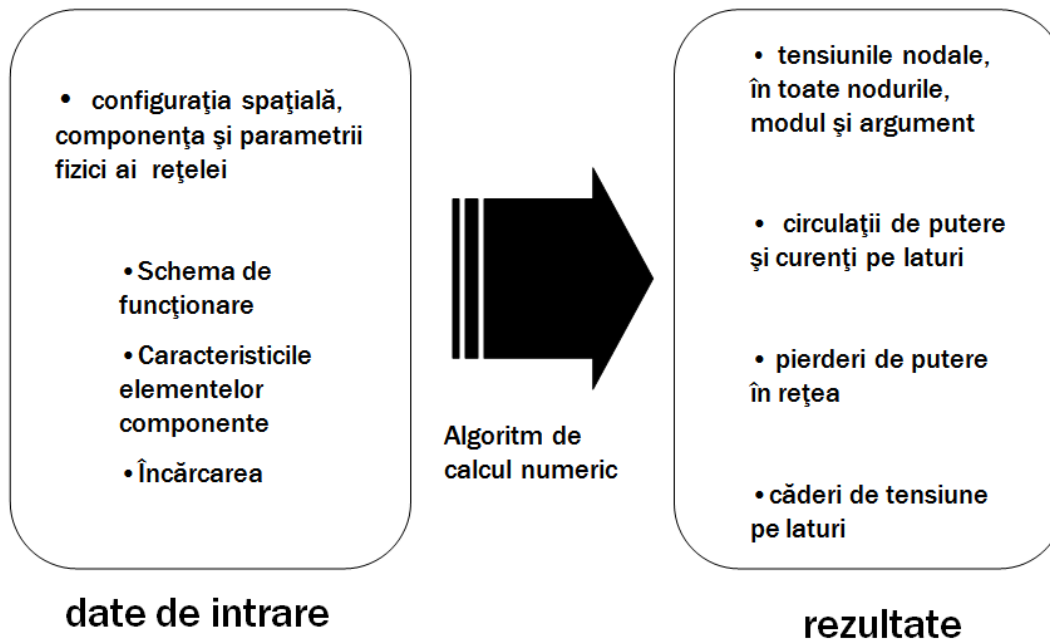


Fig. ES.1 – Calculul regimului permanent al rețelelor electrice

În urma rulării estimatorului, se calculează un set de mărimi de stare (de obicei tensiunile, în modul și argument, din nodurile rețelei), pe baza cărora se pot calcula toate celelalte variabile de regim (circulații de puteri pe laturi, căderi de tensiune pe laturi, pierderi de putere activă în rețea etc).

Algoritmele clasice de estimare a stării folosesc trei tipuri de măsurători:

- injecții de putere activă și reactivă în nodurile rețelei
- circulații de putere activă și reactivă pe laturile rețelei
- tensiuni nodale, doar valorile modulelor acestora.

La acestea se adaugă așa-numitele pseudo-măsurători, mărimi care nu au fost măsurate în timp real din rețea, dar despre ale căror valori se cunosc informații precise. Astfel de pseudo-măsurători includ:

- modulul tensiunii impuse dintr-un nod generator
- injecțiile nule de putere activă și reactivă din nodurile de transfer
- valori prognozate ale consumului sau ale producției în anumite noduri.

Pe lângă măsurători, estimatorul de stare trebuie să primească și date în timp real privind schema de funcționare a sistemului. Acestea se obțin prin prelucrarea telesemnalizărilor pozițiilor întreruptoarelor și separatoarelor din sistem și preluând din baza de date asociată aplicației de calcul parametrii electrici corespunzători elementelor de rețea incluse în schema reală de funcționare a rețele. Aceste date, ca și măsurătorile, sunt, de regulă, afectate de erori. Surse de erori pot constitui:

- erorile de măsurare datorate impreciziei aparatelor de măsură
- erorile generate de absența unor măsurători din cauza unor defecțiuni sau a unor telesemnalizări greșite

- erorile generate de imprecizia modelării elementelor componente ale sistemului
- erorile generate de nesimultaneitatea măsurării sau transmiterii măsurătorilor.

Acesta din urmă este motivul principal pentru care algoritmele clasice de estimare a stării nu folosesc ca măsurători argumentele tensiunilor nodale măsurate din rețea. Pe de o parte, sistemele SCADA clasice transmit valori o dată la câteva secunde, mult prea lent comparativ cu viteza cu care variază unda de tensiune. Pe de altă parte, aceste sisteme nu sunt capabile să livreze către centrele de comandă și control măsurători perfect sincronizate, iar utilizarea unor măsurători de fază desincronizate poate afecta grav rezultatele estimării.

Modelul general de estimare a stării

Dacă

m este numărul de mărimi măsurate din sistem;

z_i – valoarea măsurată a mărimii i ;

h_i – expresia mărimii măsurate în funcție de componentele vectorului variabilelor de stare statică x_i ;

ε_i – eroarea de măsurare;

atunci modelul de stare statică cu necunoscutele x_k , $k = 1 \dots 2n - 1$ se poate scrie sub forma:

$$z_i = h_i(x_1, x_2, \dots, x_{2n-1}) + \varepsilon_i \quad i = 1..m \quad (\text{ES.1})$$

sau sub formă matriceală:

$$[z] = h([x]) + [e] \quad (\text{ES.2})$$

în care:

$[z]$ - vectorul mărimilor măsurate;

$[x]$ – vectorul variabilelor de stare;

$h([x])$ - vectorul funcțiilor neliniare care descriu dependența mărimilor măsurate de variabilele de stare;

e – vectorul erorilor.

Estimarea stării constă în determinarea valorilor cele mai probabile ale variabilelor de stare (modulele și argumentele tensiunilor nodale) $[x]$, pe baza căruia se calculează apoi toate mărimile caracteristice problemei regimului permanent de funcționare a rețelelor electrice

Un estimator de stare complet include următoarele funcții:

- Procesorul de topologie a rețelei, care preia datele privind stările închis sau deschis ale întreruptoarelor și separatoarelor din rețea, identificând schema de funcționare a rețelei în timp real
- Analizorul de observabilitate, care determină dacă setul de măsurători existente este suficient pentru determinarea stării sistemului
- Estimatorul de stare, care determină cea mai bună estimare a mărimilor de stare (modulele și argumentele tensiunilor din nodurile rețelei) pe baza măsurătorilor din rețea și a modelului sistemului. Cunoscând mărimile de stare astfel

determinate, se pot estima: circulațiile de puteri pe laturi, nivelul sarcinii din noduri, plotul de funcționare al transformatoarelor.

- Modulul de procesare a datelor eronate, care are rolul de a detecta și de a elimina din setul de măsurători folosite la estimare măsurătorile eronate grosier, care ar putea afecta precizia estimării
- Procesarea datelor legate de structura și parametrii sistemului, care are ca rezultat estimarea parametrilor generali ai sistemului: parametrii liniilor, ai instalațiilor de compensare și detectarea erorilor structurale din configurația rețelei.

Cele mai cunoscute algoritme utilizate în prezent pentru estimarea stării sunt:

- Algoritmul celor mai mici pătrate ponderate (CMMP-P) –weighted least squares (WLS)
- Metoda erorii absolute minime - least absolute value (LAV)
- Metoda Levenberg-Marquardt
- Metoda Hachtel
- Metoda ortogonalizării QR

Exemplu:

Pentru rețeaua simplă din Fig. ES.2, se dorește efectuarea estimării stării. Sunt disponibile următoarele măsurători: măsurătoarea de modul de tensiune din nodul 1, U_1 , măsurătorile de putere activă și reactivă din nodurile N4 și N5: P_4, P_5, Q_4, Q_5 , circulațiile de putere activă și reactivă de pe latura 3-4, citite la extremitatea dinspre nodul N4. Nu este disponibilă nicio măsurătoare din nodul N3.

În plus, se consideră un DMF montat în nodul 2. Acesta va furniza măsurătorile de modul și argument ale tensiunii din nod, precum și circulațiile de curent activ și reactiv de pe laturile 1-2 și 2-3, $C_{21}, D_{21}, C_{23}, D_{23}$.

În aceste ipoteze, vectorul măsurătorilor $[z]$ va rezulta de forma de mai jos. Elementele scrise îngroșat corespund măsurărilor fazoriale.

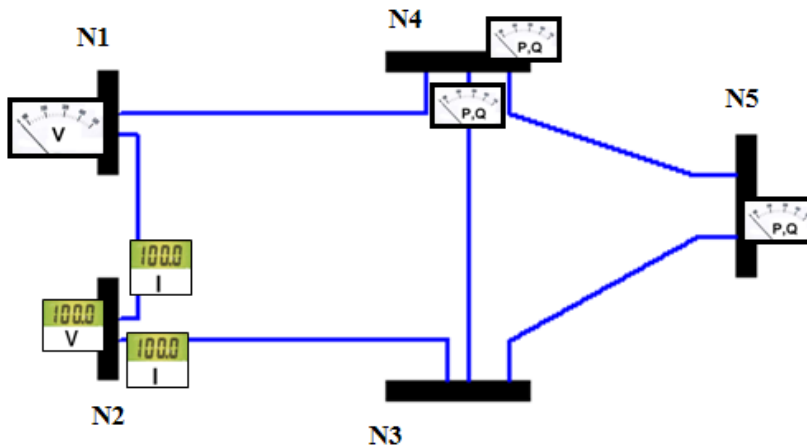


Fig. ES2 – Estimarea stării – exemplu

$$[z] = [P_4 \quad P_5 \quad Q_4 \quad Q_5 \quad P_{43} \quad Q_{43} \quad U_1 \quad U_2 \quad \Theta_2 \quad C_{23} \quad C_{21} \quad D_{23} \quad D_{21}]^T$$

În plus, algoritmul de estimare va avea nevoie, ca date de intrare, de parametrii laturilor din schemă și configurația sistemului (rețelei electrice), exprimată prin matricea admitanțelor nodale. Pentru rețeaua din Fig ES.2 (vezi curs TDEE pentru modul de calcul), ea are următoarea structură:

	N1	N2	N3	N4	N5
N1	\underline{Y}_{11}	\underline{Y}_{12}	0	\underline{Y}_{14}	0
N2	\underline{Y}_{21}	\underline{Y}_{22}	\underline{Y}_{23}	0	0
N3	0	\underline{Y}_{32}	\underline{Y}_{33}	\underline{Y}_{34}	\underline{Y}_{35}
N4	\underline{Y}_{41}	0	\underline{Y}_{43}	\underline{Y}_{44}	\underline{Y}_{45}
N5	0	0	\underline{Y}_{53}	\underline{Y}_{54}	\underline{Y}_{55}

Matricea admitanțelor nodale și măsurătorile sunt folosite pentru construirea vectorului $h([x])$, care exprimă dependența măsurătorilor de mărimile de stare și pe baza căruia se construiește modelul matematic al oricăruia dintre algoritmele pentru estimarea stării enumerate mai sus.

În urma aplicării algoritmului de estimare a stării se calculează vectorul mărimilor de stare

$$[x] = [U_1 \quad U_2 \quad U_3 \quad U_4 \quad U_5 \quad \Theta_1 \quad \Theta_2 \quad \Theta_3 \quad \Theta_4 \quad \Theta_5]^T$$

folosit ulterior pentru calculul celelalte necunoscute ale regimului de funcționare al rețelei electrice analizate (circulații de putere și de curent pe laturi, pierderi de putere și căderi de tensiune pe laturi, încărcarea elementelor componente ale sistemului).