

# SISTEME ELECTROENERGETICE

Capitolul 3 - continuare

**CALCULUL REGIMULUI PERMANENT DE  
FUNCTIONARE AL SEE**  
**METODA NEWTON-RAPHSON - variante**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Variante ale metodei Newton-Raphson

Ipoteze simplificatoare legate de:

- caracteristicile elementelor componente ale SEE
- functionarea SEE

### Variante

- metoda Newton-Raphson decuplata
- metoda Newton-Raphson decuplata rapida
- metoda in c.c.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata

### Caracteristica

În SEE există o slabă dependență între componentele  $P - U$ , respectiv  $Q - \theta$ .

### Consecințe la nivelul modelului neliniar

valori foarte mici ale derivatelor

$$\frac{\partial P}{\partial U} \quad \frac{\partial Q}{\partial \theta}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata

Sistemul de ecuații liniare capătă forma:

$$\Delta P_i = \sum_{k=1}^N H_{ik} \cdot \Delta \theta_k$$
$$\Delta Q_i = \sum_{k=1}^N L_{ik} \cdot \frac{\Delta U_k}{U_k}$$

$i = 1, \dots, N; \quad i \neq e$

### Consecinta

**Decuplarea** ecuațiilor  $P - \theta$  și  $Q - U$ .

Sistemul initial, unic de  $2 \cdot (N-1)$  ecuații și necunoscute, este înlocuit cu 2 sisteme liniare cu câte  $N-1$  ecuații și necunoscute.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata

- coeficienții  $H_{ik}$  și  $L_{ik}$  se calculează fără adoptarea niciunei aproximări.
- pentru accelerarea convergenței, cele două sisteme se rezolvă succesiv:
  - se rezolvă sistemul  $P - \theta$  și se determină corecțiile  $\Delta \theta_i$ .
  - cu aceste corecții, se recalculază argumentele  $\theta_i$ , și apoi coeficienții  $L_{ik}$
  - se rezolvă sistemul de ecuații  $Q - U$  și, folosind corecțiile  $\Delta U_i$ , se determină o nouă aproximație pentru tensiunile nodale.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata

### Avantaje

- necesită un volum redus de memorie
- necesită un timp de calcul pe iterație mai mic

### Dezavantaj

- atingerea criteriului de oprire necesită, de regulă, un număr mai mare de iterații.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

### Ipoze simplificatoare suplimentare:

- se consideră neglijabilă diferența dintre argumentele tensiunilor din două noduri adiacente:  $\theta_i - \theta_k \approx 0$ :

$$\sin(\theta_i - \theta_k) \approx 0 \quad \cos(\theta_i - \theta_k) \approx 1$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

### Ipoze simplificatoare suplimentare:

- se neglijează conductanțele laturilor longitudinale ale rețelei  $G_{ik}$  în raport cu susceptanțele aceluiași laturi:

$$G_{ik} \ll B_{ik}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

### Ipoze simplificatoare suplimentare:

- în expresiile coeficienților  $H_{ii}$  și  $L_{ii}$  se neglijează puterile reactive  $Q_i$  în raport cu termenii  $B_{ii} \cdot U_i^2$ :

$$Q_i \ll B_{ii} \cdot U_i^2$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

Expresiile elementelor matricei Jacobian

$$\begin{aligned} H_{ii} &= L_{ii} \approx -B_{ii} \cdot U_i^2 & N_{ii} &= J_{ii} \approx 0 \\ H_{ik} &= L_{ik} \approx -B_{ik} \cdot U_i \cdot U_k & N_{ik} &= J_{ik} \approx 0 \end{aligned}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

Sistemul decuplat capata forma:

$$\begin{aligned} \Delta P_i &= -U_i \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N B_{ik} \cdot U_k \cdot \Delta \theta_k \\ \Delta Q_i &= -U_i \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N B_{ik} \cdot U_k \cdot \frac{\Delta U_k}{U_k} \end{aligned} \quad i = 1, \dots, N; \quad i \neq e$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

Ipoteze simplificatoare suplimentare la nivelul termenilor  $B_{ik}$

- în sistemul de ecuații  $P - \theta$ , din expresia termenilor  $B_{ik}$  se neglijează toate elementele de rețea care afectează cu precădere circulația puterii reactive și nivelul de tensiune și se neglijează componentele active ale susceptanțelor. Se notează:

$$\overset{i \text{ not}}{B}_{ik} = -B_{ik} \cdot U_{k,n}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

### Ipoteze simplificatoare suplimentare la nivelul termenilor $B_{ik}$

- în sistemul de ecuații  $Q - U$ , din expresia termenilor  $B_{ik}$  se neglijează toate elementele de rețea care afectează cu precădere circulația puterii active. Se notează:

$$B_{ik}'' = -B_{ik}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

### Noua forma a sistemului decuplat e ecuații liniare

$$\frac{\Delta P_i}{U_i} = \sum_{k=1, k \neq i}^N B_{ik}' \cdot \Delta \theta_k$$
$$\frac{\Delta Q_i}{U_i} = \sum_{k=1, k \neq i}^N B_{ik}'' \cdot \Delta U_k$$
$$i = 1, \dots, N; \quad i \neq e$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

**Avantaj**--- coeficienții  $B_{ik}'$  și  $B_{ik}''$  au valori constante.

**Consecință**--- pentru sistemul  $P - \theta$  matricea Jacobian se calculează și se factorizează o singură dată, în cursul primei iterații. Același lucru este valabil și pentru sistemul  $Q - U$ , atunci când tipologia nodurilor din rețea nu se schimbă de la o iterație la alta.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Varianta decuplata rapida

### Avantaje

- necesită un volum redus de memorie
- necesită un timp de calcul pe iterație mult mai mic (de cca. 5 ori)

### Dezavantaj

- pentru un sistem la limita de funcționare sau care conține un număr semnificativ de laturi cu valori mari ale raportului  $R/X$ , convergența se înrăutățește.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda in curent continuu

- Folosită pentru evaluarea rapidă, fără pretenții deosebite în ceea ce privește precizia rezultatelor, a regimurilor de funcționare ale sistemelor electroenergetice (studii de proiectare, dezvoltare, simulare a contingențelor sau pentru rezolvarea unor regimuri critice, neconvergente cu metodele uzuale).
- Furnizează rezultate numai în ceea ce privește circulațiile de putere activă și pierderile de putere activă în sistem.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda in curent continuu

### Ipoteze simplificatoare suplimentare

- deoarece se consideră că sistemul este caracterizat de elemente cu valori mici ale raportului parametrilor  $R/X$ , se neglijează toate conductanțele din rețea:

$$G_{ik} \approx 0; G_{ii} \approx 0$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda in curent continuu

### Ipoteze simplificatoare suplimentare

- defazajele între fazorii tensiunilor de la extremitățile laturilor se consideră foarte mici, astfel încât se poate scrie:

$$\sin(\theta_i - \theta_k) \approx \theta_i - \theta_k; \quad \cos(\theta_i - \theta_k) \approx 1$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda in curent continuu

### Ipoteze simplificatoare suplimentare

- tensiunile în noduri sunt aproximativ constante și egale cu valorile nominale corespunzătoare :

$$U_i \approx U_{i,nom}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda in curent continuu

Expresia injectiei de putere intr-un nod oarecare  $i$  :

$$P_i = G_{ii} \cdot U_i^2 + \sum_{k=1, k \neq i}^N U_i \cdot U_k [G_{ik} \cdot \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)] \quad i = 1, \dots, N, i \neq e$$

se simplifica si capata forma:

$$P_i = U_{i,n} \cdot \sum_{k=1, k \neq i}^N U_{k,n} \cdot B_{ik} \cdot (\theta_i - \theta_k) \quad i = 1, \dots, N, i \neq e$$

în care necunoscutele sunt argumentele  $\theta_i$  și  $\theta_k$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda in curent continuu

Sistemul de ecuatii liniare:

$$\begin{bmatrix} P \\ U_n \end{bmatrix} = [C] \cdot [\theta]$$

unde:

- $[\theta]$  – vectorul defazajelor tensiunilor față de originea de fază
- $[P/U_n]$  – vectorul termenilor liberi, format din rapoartele dintre puterile și tensiunile nodale.
- $[C]$  – matricea patrata a coeficientilor:

$$C_{ii} = \sum_{j=1, j \neq i}^N U_{j,n} \cdot B_{ij}$$

$$C_{ik} = -U_{k,n} \cdot B_{ik}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Metoda in curent continuu

Circulațiile de putere activă pe laturi :

$$P_{ik} = B_{ik} \cdot U_{i,n} \cdot U_{k,n} (\theta_i - \theta_k + \alpha_{ik}) \quad i, k = 1..N, i \neq k$$
$$P_{ki} = -P_{ik}$$

unde  $\alpha_{ik}$  reprezintă argumentul raportului de transformare de pe latura  $i-k$  (dacă este cazul).

Pierderile de putere activă în întreaga rețea :

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \Delta P_{ik} = \frac{1}{\cos^2 \varphi_m} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \frac{P_{ik}^2}{U_{i,n} \cdot U_{k,n}} R_{ik}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## SFARSIT

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---