

# SISTEME ELECTROENERGETICE

## Capitolul 4

### REGIMURI NESIMETRICE PERMANENTE

---

---

---

---

---

---

---

---

## Clasificarea nesimetriilor

- Clasificarea după natura
  - Nesimetrii accidentale
  - Nesimetrii de sarcină
- Clasificarea după tip
  - Nesimetrii transversale
  - Nesimetrii longitudinale
- Clasificarea după modul de manifestare
  - Nesimetrii simple
  - Nesimetrii multiple

---

---

---

---

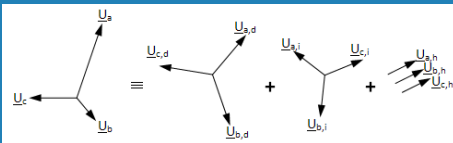
---

---

---

---

## Componente simetrice



$$\begin{bmatrix} \underline{U}_a \\ \underline{U}_b \\ \underline{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_h \\ \underline{U}_d \\ \underline{U}_i \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{U}_h \\ \underline{U}_d \\ \underline{U}_i \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}_a \\ \underline{U}_b \\ \underline{U}_c \end{bmatrix}$$

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Scheme echivalente de secvență

Calculul regimurilor nesimetrice pe baza teoremei componentelor simetrice folosește câte o **schemă de secvență** pentru fiecare din cele trei componente simetrice. Schema echivalentă monofazată construită în final se formează prin **conectarea corespunzătoare a celor trei scheme de secvență directă, inversă și homopolară**, în funcție de tipul nesimetriei tratate.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Scheme echivalente de secvență

### 3 reguli privind relațiile între impedanțele de secvență

R1 – Dacă între fazele elementului de circuit trifazat nu există cuplaje magnetice (de exemplu, grupurile de câte trei transformatoare monofazate), impedanțele de secvență asociate aceluia element de circuit sunt egale pentru toate cele trei secvențe.



---

---

---

---

---

---

---

---

## Scheme echivalente de secvență

### 3 reguli privind relațiile între impedanțele de secvență

R2 – Dacă între fazele elementului de circuit trifazat există cuplaje magnetice, iar elementul de circuit nu are componente în mișcare (de exemplu, linii electrice, transformatoare ș.a.), impedanțele de secvență directă și inversă asociate aceluia element sunt egale, însă diferite de impedanța de secvență homopolară.



---

---

---

---

---

---

---

---

## Scheme echivalente de secventa

### 3 reguli privind relatiile intre impedantele de secventa

R3 - Dacă între fazele elementului de circuit trifazat există cuplaje magnetice, iar elementul de circuit are componente în mișcare (de exemplu, generatoarele sincron sau motoarele de inducție), impedanțele de secvență sunt diferite pentru toate cele trei secvențe.




---

---

---

---

---

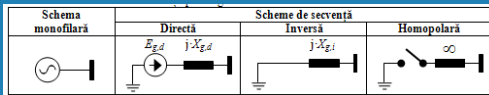
---

---

---

## Parametri de secventa Generatorul sincron

În schemele echivalente folosite în studiul regimurilor nesimetrice generatorul sincron se reprezintă printr-o latură conectată între nodul de racordare și neutrul rețelei, care este descrisă printr-o t.e.m. și o reactanță, cu valori diferite în funcție de secvența considerată.




---

---

---

---

---

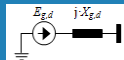
---

---

---

## Parametri de secventa Generatorul sincron

### Secventa directa



Singura schema care conține sursa ideală de tensiune  $E_{g,d}$ , la care se adaugă impedanța internă a generatorului, considerată de regulă numai prin reactanța inductivă  $X_{g,d}$ .

$$\begin{aligned} X_{g,d} &\leftarrow X_d \\ X_{g,d} &\leftarrow X_d' \\ X_{g,d} &\leftarrow X_d'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{g,d} &\leftarrow E \\ E_{g,d} &\leftarrow E' \\ E_{g,d} &\leftarrow E'' \end{aligned}$$

---

---

---

---

---

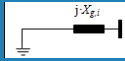
---

---

---

## Parametri de secventa Generatorul sincron

### Secventa inversa



Schema de secvență inversă conține numai reactanța de secvență inversă  $X_{g,i}$ .

$$X_{g,i} = \sqrt{X_d'' \cdot X_q''}$$

$$X_{g,i} = \frac{X_d'' + X_q''}{2}$$

GS cu înfășurări de amortizare

$$X_{g,i} = 1.45 \cdot X_{g,d}$$

$$X_{g,i} = 1.22 \cdot X_{g,d}$$

GS fara înfășurări de amortizare

GS cu înfășurări de amortizare

---

---

---

---

---

---

---

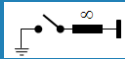
---

---

---

## Parametri de secventa Generatorul sincron

### Secventa homopolara



Pentru schema de secvență homopolară, deoarece înfășurarea trifazată a statorului este conectată în stea cu neutrul izolat sau legat la pământ printr-o impedanță de valoare mare, impedanța de secvență homopolară a generatorului sincron se consideră infinită, adică circuitul asociat schemei homopolare este întrerupt în dreptul generatorului sincron.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Parametri de secventa Sarcina complexa

Pentru sarcinile din sistem se considera cazul motorului de inducție și cazul sarcinii complexe.

Schema monofilară	Scheme de secvență		
	Direcți	Inversă	Homopolară

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Parametri de secventa Sarcina complexa

### Motorul de inductie



Pentru motoarele de mare putere (>1MVA), schema de secvență directă conține reactanța supratranzitorie  $X''_s$  și t.e.m. corespunzătoare  $E''$ .

$$X_{m,d} = X''_s = \frac{1}{i_p^*} \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{nom}}$$

Schema de secvență inversă conține numai reactanța, considerată aproximativ egală cu reactanța de secvență directă:

$$X_{m,i} \approx X_{m,d}$$

Schema de secvență homopolară

$$X_{m,h} \rightarrow \infty$$

---

---

---

---

---

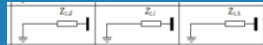
---

---

---

## Parametri de secventa Sarcina complexa

### Sarcina complexa



Impedanța de secvență directă se calculează prin liniarizarea sarcinii.

$$Z_{s,d} = \frac{U_s^2}{S_s^*} = \frac{U_s^2}{P_s - j \cdot Q_s}$$

Impedanța de secvență inversă diferă foarte mult de impedanța de secvență directă.

$$Z_{s,i} = (0.18 + j \cdot 0.24) \cdot Z_{s,d}$$

$$Z_{s,h} = (0.19 + j \cdot 0.36) \cdot Z_{s,d}$$

Pentru reactanța de secvență homopolară se adoptă valori finite.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Parametri de secventa homopolară Linii electrice

### Linia simplu circuit

$$R_{LEA,h} = (r_0 + 3 \cdot r_{0,p}) \cdot L$$

$$X_{LEA,h} = 3 \cdot \omega \frac{\mu_0 \cdot L}{2 \cdot \pi} \ln \frac{D_p}{\sqrt[3]{r_e \cdot D_{mg}^2}} \approx 3 \cdot 0.0628 \cdot L \cdot \ln \frac{D_p}{\sqrt[3]{r_e \cdot D_{mg}^2}}$$

### Linia dublu circuit

$$R_{12,h} = 3 \cdot r_{0,p} \cdot L$$

$$X_{12,h} = 3 \cdot \omega \frac{\mu_0 \cdot L}{2 \cdot \pi} \ln \frac{D_p}{D_m} \approx 3 \cdot 0.0628 \cdot L \cdot \ln \frac{D_p}{D_m}$$

---

---

---

---

---

---

---

---

# Parametri de secvență homopolară Linii electrice

## Linia dublu circuit – cazul 1

Schema monofilară	Schema echivalentă de secvență homopolară	Parametrii de secvență
Circuite conectate la aceeași bară la ambele capete ale liniei		
		$\underline{Z}_{1,k} = \frac{\underline{Z}_{11,k} \cdot \underline{Z}_{22,k} - \underline{Z}_{12,k}^2}{\underline{Z}_{22,k} - \underline{Z}_{12,k}}$ $\underline{Z}_{2,k} = \frac{\underline{Z}_{11,k} \cdot \underline{Z}_{22,k} - \underline{Z}_{12,k}^2}{\underline{Z}_{11,k} - \underline{Z}_{12,k}}$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Parametri de secvență homopolară Linii electrice

## Linia dublu circuit – cazul 2

Schema monofilară	Schema echivalentă de secvență homopolară	Parametrii de secvență
Circuite conectate la aceeași bară la un capăt al liniei		
		$\underline{Z}_{1,k} = \underline{Z}_{11,k} - \underline{Z}_{12,k}$ $\underline{Z}_{2,k} = \underline{Z}_{22,k} - \underline{Z}_{12,k}$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Parametri de secvență homopolară Linii electrice

## Linia dublu circuit – cazul 3

Schema monofilară	Schema echivalentă de secvență homopolară	Parametrii de secvență
Circuite conectate la bare diferite la ambele capete ale liniei		
		$\underline{Z}_{1,k} = \frac{\underline{Z}_{11,k} \cdot \underline{Z}_{22,k} - \underline{Z}_{12,k}^2}{\underline{Z}_{22,k}}$ $\underline{Z}_{2,k} = \frac{\underline{Z}_{11,k} \cdot \underline{Z}_{22,k} - \underline{Z}_{12,k}^2}{\underline{Z}_{11,k}}$ $\underline{Z}_{m,k} = \frac{\underline{Z}_{11,k} \cdot \underline{Z}_{22,k} - \underline{Z}_{12,k}^2}{\underline{Z}_{12,k}}$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Parametri de secventa homopolara (Auto) transformatoare

### Tipul conexiunilor infasurarilor pe partea carora se produce nesimetria

- Dacă infasurarile transformatorului folosesc conexiunea în triunghi sau stea cu neutrul izolat, impedanța longitudinală de secvență homopolară a transformatorului va avea o valoare *infinită*.
- Dacă înfășurările folosesc conexiunea în stea cu neutrul legat la pământ direct sau printr-o impedanță, curenții homopolari se închid la pământ prin neutrul stelei, iar impedanța longitudinală de secvență homopolară a transformatorului va avea o valoare finită.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Parametri de secventa homopolara (Auto) transformatoare

### Tipul conexiunii celeilalte infasurari

Dacă transformatorul apare în schema echivalentă de secvență homopolară cu o impedanță de valoare finită, valoarea propriu-zisă a acestei impedanțe este determinată, printre altele, de tipul conexiunii celeilalte înfășurări, pe partea pe care nu apare nesimetria.

3 cazuri posibile.

---

---

---

---

---

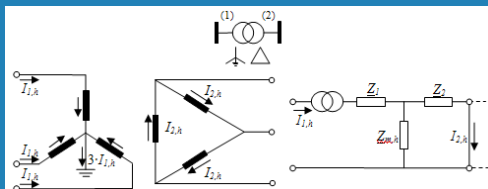
---

---

---

## Parametri de secventa homopolara (Auto) transformatoare

### Cazul 1 – conexiunea Y,d



$$\underline{Z}_{T,h} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_{m,h}}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_{m,h}}$$

---

---

---

---

---

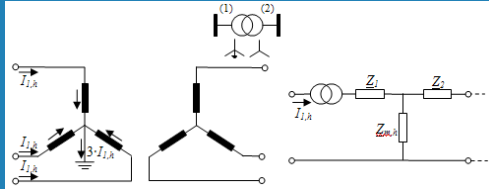
---

---

---

## Parametri de secventa homopolara (Auto) transformatoare

### Cazul 2 – conexiunea $Y_0y$



$$Z_{T,h} = Z_1 + Z_{m,h}$$

---

---

---

---

---

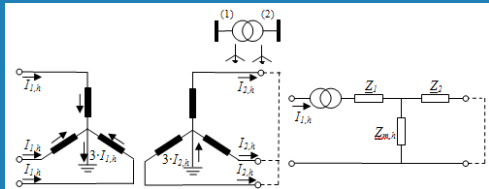
---

---

---

## Parametri de secventa homopolara (Auto) transformatoare

### Cazul 3 – conexiunea $Y_0Y_0$




---

---

---

---

---

---

---

---

**SFARSIT**

---

---

---

---

---

---

---

---