

**ANALIZA SISTEMELOR ELECTRICE TRIFAZATE NESIMETRICE**

**1. Probleme generale**

Receptoarele monofazate de mare putere produc dezechilibrul curentului pe cele 3 faze ale rețelei de alimentare. Curenții nesimetrici provoacă la rândul lor un dezechilibru al tensiunilor de alimentare, cu efecte nedorite asupra receptoarelor de iluminat, a motoarelor asincrone etc.

Din aceste motive se impune o studiere atentă a cauzelor, efectelor și posibilităților de refacere a dezechilibrelor în sistemele trifazate.

Conform teoremei lui Stokvis-Fortescue un sistem trifazat nesimetric poate fi descompus în două sisteme trifazate simetrice, unul de succesiune directă ( $V_d$ ) și celălalt de succesiune inversă ( $V_i$ ) și un sistem homopolar ( $V_h$ ). Astfel:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_h + V_d + V_i \\ V_2 &= V_h + a^2 V_d + a V_i \\ V_3 &= V_h + a V_d + a^2 V_i \end{aligned} \quad (1)$$

Deci componentele simetrice  $V_h$ ,  $V_d$ ,  $V_i$  rezultă :

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{1}{3} (V_1 + V_2 + V_3) \\ V_d &= \frac{1}{3} (V_1 + a V_2 + a^2 V_3) \\ V_i &= \frac{1}{3} (V_1 + a^2 V_2 + a V_3) \end{aligned} \quad (2)$$

Gradul de dezechilibru al unui sistem trifazat se determină prin gradul de disimetrie definit ca fiind raportul:

$$\mathcal{E}_i = \frac{V_i}{V_d} \quad (3.a)$$

sau gradul de asimetrie:

$$\mathcal{E}_h = \frac{V_h}{V_d} \quad (3.b)$$

În practică un sistem trifazat se consideră simetric dacă :

$$\mathcal{E} \leq 5\% \quad \text{și} \quad \mathcal{E}_h \leq 5\%$$

În regim nesimetric (dezechilibrat) puterea aparentă este:

$$\begin{aligned} S_1 &= 3V_h I_h^* + 3V_d I_d^* + 3V_i I_i^* = P_1 + jQ_1 \\ S_2 &= a^2 3V_h I_h + a^3 V_d I_d + 3a V_i I_i = P_2 + jQ_2 \end{aligned}$$

Deci :

$$\begin{aligned} P_1 &= 3V_h I_h \cos \varphi_h + 3V_d I_d \cos \varphi_d + 3V_i I_i \cos \varphi_i \\ Q_1 &= 3V_h I_h \sin \varphi_h + 3V_d I_d \sin \varphi_d + 3V_i I_i \sin \varphi_i \end{aligned}$$

Putem nota:  $S_d = 3UI_d$  și atunci:

$$S_i = 3UI_i = 3UI_d \varepsilon_i = s_d \square \varepsilon_i$$

$$S_h = 3UI_h = 3UI_d \varepsilon_h = s_d \square \varepsilon_h$$

Deci  $S_d = S_1 + S_2 + S_3$  reprezintă puterea aparentă simetrică și  $S_h = S_1 + aS_2 + a^2S_3$  reprezintă puterea ascunsă.

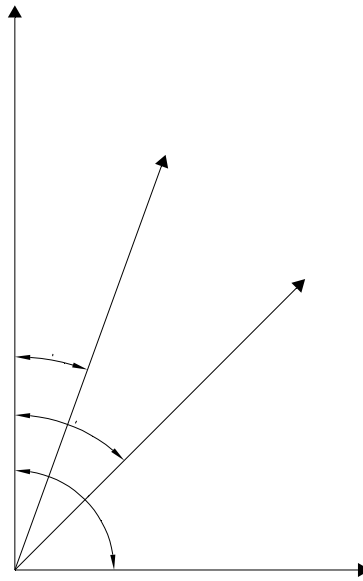


Fig. 15.1 Diagrama fazorială a componentelor simetrice pentru faza 1

## 2. Efectele încărcării nesimetrice a sistemelor trifazate

Dezechilibrul sistemului trifazat determină după cum s-a arătat, apariția unei puteri pulsatorii și respectiv a unei puteri ascunse. Acestea au ca efect o modificare a pierderilor în cuplul mașinilor electrice și respectiv a puterii aferente și a defazajului.

Putem defini pierderile în cupru raportate în funcție de componentele curenților cu relația:

$$\Delta P_{Cu} = \frac{1}{I_d^2 \cos \varphi_d} [I_d^2 + I_i^2 + (1 + 3n) I_h^2] \text{ sau}$$

$$\Delta P_{Cu} = \frac{1}{\cos \varphi_d} [1 + \varepsilon_i + (1 + 3n) \varepsilon_h]$$

Deci se constată că pierderile în cupru la încărcarea asimetrică sunt mai mari ca la cea simetrică.

Se poate considera că pierderile în cupru la încărcarea asimetrică sunt egale cu cele corespunzătoare încărcării simetrice dacă puterea reactivă  $Q$  crește la valoarea unei puteri reactive echivalente definită cu relația :

$$Q' = \sqrt{[Q^2 + S_i^2 + (1 + 3n) S_a^2]}$$

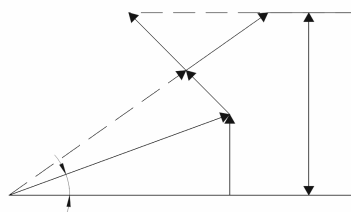


Fig. 15.2 Definirea mărimilor echivalente pentru  $S'$ ,  $R'$ .

Deci puterea aparentă echivalentă va fi:

$$S' = \sqrt{[S^2 + S_i^2 + (1+3n)S_a^2]}$$

În mod corespunzător de definește și un defazaj echivalent (fig. 15.2).

Rezultă deci clar necesitatea de evitare a nesimetriilor.

$$\cos \alpha' = \frac{P}{S'}$$

### 3. Posibilități de masurare a sarcinilor nesimetrice

#### a) Măsurarea componentelor directe ale curenților

Se realizează montajul din fig. 15.3 în care  $Z = -a^2 R$ .

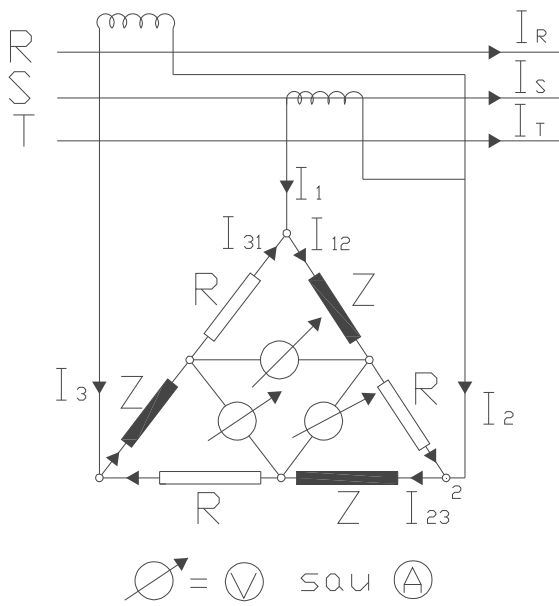


Fig.15.3

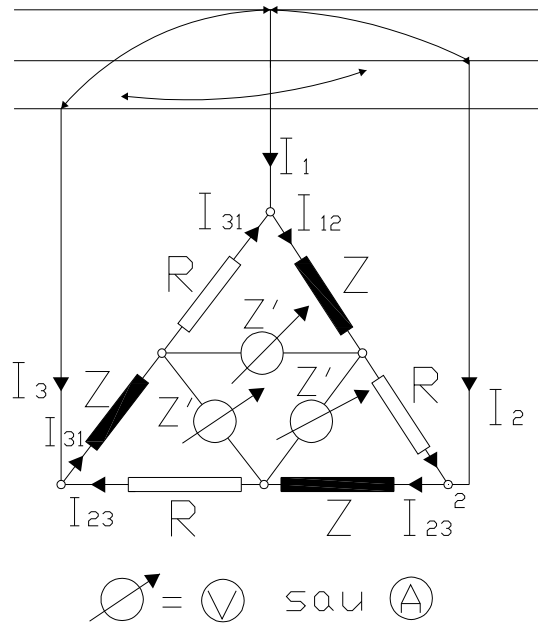


Fig.15.4

Dacă se utilizează voltmetre montate ca în fig. 15.4 rezultă:

$$U'_1 = RI_{31} + ZI_{12} = R(I_{31} - a^2 I_{12})$$

$$U'_2 = RI_{12} + ZI_{23} = R(I_{12} - a^2 I_{23})$$

$$U'_3 = RI_{23} + ZI_{31} = R(I_{23} - a^2 I_{31})$$

Și respectiv:

$$I_1 = I_{31} - I_{12}$$

$$I_2 = I_{12} - I_{23}$$

$$I_3 = I_{23} - I_{31}$$

$$I_{12} + I_{23} + I_{31} = 0$$

Rezultă că:

$$I_3 - I_1 = 3I_{31}$$

$$I_1 - I_2 = 3I_{12}$$

$$I_2 - I_3 = 3I_{23}$$

Deci înlocuind în (9) obținem:

$$U_1' = R(I_{31} - a^2 I_{12}) = R\left(\frac{I_3 - I_1}{3} - a^2 \frac{I_1 - I_2}{3}\right) = \frac{R}{3} [I_1(-1 - a^2) + a^2 I_2 + I_3]$$

Deci obținem:

$$U_1' = \frac{R}{3}(I_3 + aI_1 + a^2 I_2)$$

$$U_2' = \frac{R}{3}(I_1 + aI_2 + a^2 I_3)$$

$$U_3' = \frac{R}{3}(I_2 + aI_3 + a^2 I_1)$$

În cazul utilizării ampermetrelor se utilizează un coeficient de proporționalitate funcție de  $R; z$  și  $z'$ .

### **b) Măsurarea componentelor inverse ale tensiunilor pe fază**

Similar ca la montajul precedent obținem:

$$U_1' = RI_{12} + Z_{31}I_{31} = R(I_{12} - a^2 I_{31})$$

$$U_2' = R$$

$$U_3' = R$$

Înlocuind în (14) obținem:

$$U_{12} = R(1 - a^2)I_{12}$$

$$U_{23} = R(1 - a^2)I_{23}$$

$$U_{31} = R(1 - a^2)I_{31}$$

## **PAGINA 170 LIPSA**

Dacă considerăm  $\omega L = 1/\omega C = R\sqrt{3}$  devine:

$$I_1 = \frac{U}{R\sqrt{3}} e^{-j\cdot 30^\circ}$$

$$I_2 = \frac{U}{R\sqrt{3}} e^{-j\cdot 150^\circ}$$

$$I_3 = \frac{U}{R\sqrt{3}} e^{-j\cdot 270^\circ}$$

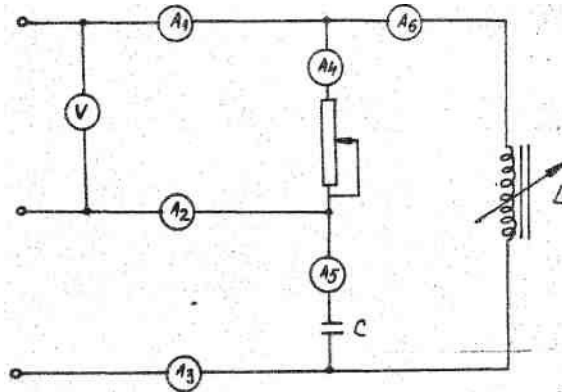
și deci curenții de linie formează un sistem simetric de succesiune directă.

Valorile efective ale curenților de linie sunt:

$$I_{12} = \frac{U}{R}; \quad I_{23} = I_{31} = \frac{U}{R\sqrt{3}}$$

#### 4. Desfășurarea lucrării:

Se realizează montajul din fig.15.6



Se urmărește dezechilibrarea curenților de linie prin modificarea rezistenței reostatului.

Se reglează inductanța variabilă a bobinei până când valoarea efectivă a curentului prin bobină indicat de ampermetrul  $A_6$  este egală cu valoarea efectivă a curentului prin bateria de condensatoare indicat de ampermetrul  $A_5$ .

Apoi se modifică rezistența reostatului cu cursor până când valoarea curentului indicat de ampermetrul  $A$  este de 3 ori mai mare decât valoarea efectivă a curenților prin bobină și condensatoare conf. (22).

Se măsoară tensiunea rețelei de alimentare și valorile efective ale curenților și se calculează valorile lui  $R$ ,  $X_i$  și  $X_0$ .