Lucrarea Nr. 6. Circuite trifazate alimentate cu tensiuni simetrice

1. Chestiuni teoretice

Sistemul trifazat este un ansamblu de trei sisteme monofazate, în care cele trei tensiuni electromotoare au aceeaşi pulsație dar faze inițiale diferite. Tensiunile electromotoare sunt produse prin transformarea energiei mecanice în energie electrică în centralele electrice de către generatoarele trifazate. **Sistemul trifazat simetric** este un ansamblu de trei mărimi sinusoidale ce au aceeaşi valoare efectivă (amplitudine) şi aceeaşi frecvență şi sunt defazate între ele cu un unghi de $2\pi/3$. Într-un sistem trifazat simetric de mărimi sinusoidale suma valorilor instantanee în orice moment este nulă. Funcție de succesiunea trecerii prin zero a celor trei mărimi sinusoidale y_1, y_2 şi y_3 distingem:

- sisteme trifazate de succesiune directă în care mărimea:

$$y_{1h}(t)=\sqrt{2}Y_h\sin(\omega t+\gamma_h);$$
$$y_{2h}(t)=\sqrt{2}Y_h\sin(\omega t+\gamma_h);$$
$$y_{3h}(t)=\sqrt{2}Y_h\sin(\omega t+\gamma_h)$$

este decalată în urma mărimii $y_1(t)$ cu un unghi de $2\pi/3$. Un sistem trifazat de succesiune directă poate fi exprimat matematic prin relațiile:

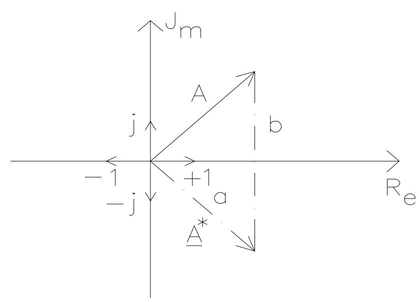
$$y_1=\sqrt{2}\cdot Y\cdot\sin(\omega\cdot t)$$
$$y_2=\sqrt{2}\cdot Y\cdot\sin(\omega\cdot t-2\pi/3)$$
$$y_3=\sqrt{2}\cdot Y\cdot\sin(\omega\cdot t-4\pi/3)$$

- sisteme trifazate de succesiune inversă în care mărimea $y_2(t)$ este decalată înaintea mărimii $y_1(t)$ cu un unghi de $2\pi/3$. Sistemul trifazat de succesiune inversă este exprimat matematic prin relațiile:

$$y_1=\sqrt{2}\cdot Y\cdot\sin(\omega\cdot t)$$
$$y_2=\sqrt{2}\cdot Y\cdot\sin(\omega\cdot t-2\pi/3)$$
$$y_3=\sqrt{2}\cdot Y\cdot\sin(\omega\cdot t+4\pi/3)$$

1.1 Reprezentarea în complex a sistemelor trifazate. Proprietăți.

Planul complex ataşat reprezentării mărimii sinusoidale este determinat de axa reală şi imaginară. Fiecărei axă i se ataşează un versor (modul unitate) astfel versorul axei reale este 1 iar al celei imaginare este j. Sistemul de coordonate ales este ortogonal iar între versori există proprietatea că rotirea cu 90^0 în sens trigonometric al unuia îl determină pe celălalt.



Deoarece în planul complex orice număr are două forme de scriere, forma carteziană redată prin partea reală şi imaginară a numărului complex şi forma polară unde numărul este complet determinat de modul (argument) şi unghiul ce-l face axa reală (fază inițială). Exemplificăm pe un număr complex: $\underline{A}=a+jb=\sqrt{a^2+b^2}\cdot e^{ja+ctg\frac{b}{a}}=Ae^{j\varphi}$.

Dacă mărimea complexă $\underline{A}$ are modulul unitatea |A|=1 atunci pentru Im{A}=0, $Ae^{j\varphi}=a$, iar pentru Re{A}=0, $A\cdot e^{j\frac{\pi}{2}}=0$ ceea ce arată rotire cu $\frac{\pi}{2}$ versorului axei reale determină versorul axei imaginare. În baza acestei constatări deducem:

$$j^2=e^{j\frac{\pi}{2}\cdot 2},\quad j^3=e^{(j\frac{\pi}{2})^3}=-j,\quad j^4=e^{(j\frac{\pi}{2})^4}=1 \quad ....\text{etc.}$$

Complex conjugatul unui număr este $\underline{A}^*=a-jb=Ae^{-jarctg\frac{b}{a}}$ are acelaşi modul dar este rotit în sens invers trigonometric cu unghiul $arctg(b/a)=\varphi$. Reprezentarea în acelaşi plan complex a unui sistem trifazat de mărimi sinusoidale presupune alegerea uneia dintre mărimi drept origine de fază. Întrucât defazajul între mărimi este de $2\pi/3$, imaginea în complex a celorlalte se obține prin rotirea cu $2\pi/3$ a mărimii originii de fază. Asociind un sistem trifazat de coordonate în planul complex putem trasa trei axe de versori 1, $e^{j\cdot 2\pi/3}$ şi $e^{j\cdot 4\pi/3}$. Notăm versorii acestor axe 1, a , a^2 conform figurii 2.

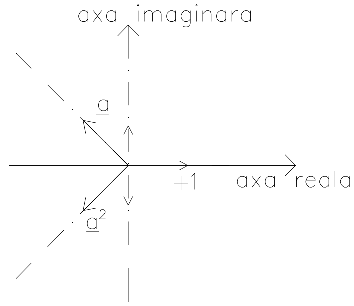


Figura 2

Sistemul trifazat de axe definit în planul complex are următoarele proprietăți: $\underline{a} = e^{j\cdot 2\pi/3}$, $\underline{a} = \underline{a} \cdot \underline{a} = \underline{a}*$, $1 + \underline{a} + \underline{a}^2 = 0$, $a^3 = 1$, $a^4 = a$, … etc. Sistemele trifazate de mărimi directe respectiv inverse admit în planul complex următoarea reprezentare, respectiv scriere:

$$\underline{U}_{1d} = U \cdot e^{j\cdot\gamma_i} \qquad \underline{U}_{1I} = U \cdot e^{j\cdot\gamma_i}$$

$$\underline{U}_{2d} = \underline{a}^2 \cdot U_{1d} \qquad \underline{U}_{2I} = \underline{a}^2 \cdot U_{1I}$$

$$\underline{U}_{3d} = \underline{a} \cdot \underline{U}_{1d} \qquad \underline{U}_{3d} = \underline{a} \cdot \underline{U}_{1I}$$

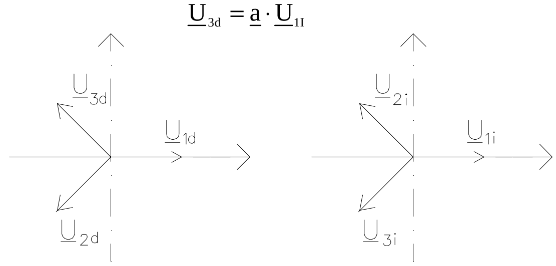


Figura 3

1.2 Conexiunile sistemelor trifazate

a) Conexiunea stea (Y)

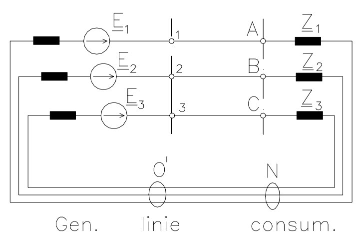


Figura 4

Fiecare circuit component în care acționează o sursă se numeşte fază. Dacă $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3$, $\underline{Z}_{1q} = \underline{Z}_{2q} = \underline{Z}_{3q}$, $\underline{E}_1$, $\underline{E}_2 = \underline{a}^2 \cdot \underline{E}_1$, $\underline{E}_2 = \underline{a}^2 \cdot \underline{E}_1$, $1' = 2' = 3' = 0$ atunci prin conductorul de întoarcere al curentului va circula un curent $\underline{I}_N = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 \equiv 0$. Conexiunea astfel realizată se numeşte “stea” şi pentru transportul energiei avem maximum patru conductoare. Curentul ce trece printr-o impedanță se numeşte curent de fază, iar curentul ce trece prin linia de transport se numeşte curent de linie. Este evident că pentru această conexiune curentul de linie este egal cu cel de fază. Tensiunile definite între bornele 1 - 0, 2 - 0, 3 - 0 se numesc tensiuni de fază. Tensiunile dintre două conductoare ale liniei de transport (1-2, 2-3, 3-1) se numesc tensiuni de linie. Diagrama de fazori corespunzătoare conexiunii stea este prezentată în figura 5.

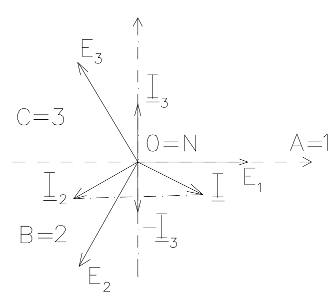


Figura 5

<u>Consecință</u>:

Relațiile între mărimile de fază şi cele de linie, pentru conexiunea stea sunt: $I_{linie} = I_{fază}$, $U_{linie} = \sqrt{3} \cdot U_{fază}$

b) Conexiunea triunghi (Δ)

Să presupunem cele trei circuite monofazate în care acționează tensiunile de fază conectate conform schemei următoare:

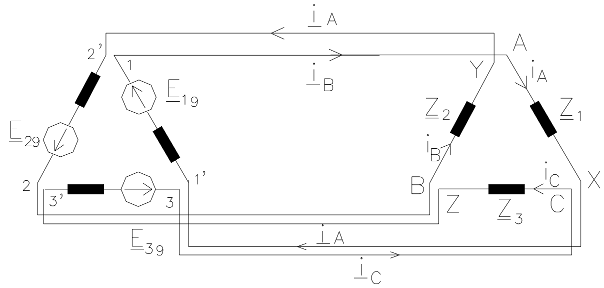
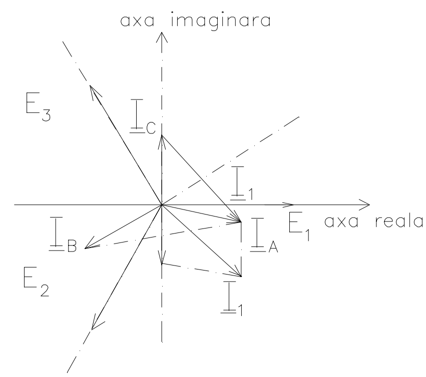


Figura 6

Notăm curenții prin fazele consumatorilor i_A, i_B, i_C , curenți ce formează un sistem trifazat simetric în ipoteza că $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3$, şi $\underline{E}_1$, $\underline{E}_2 = \underline{a}^2 \cdot \underline{E}_1$, $\underline{E}_2 = \underline{a}^2 \cdot \underline{E}_1$.

Dacă se realizează conexiunile $A = Y$, $B = Z$, $C = X$ la consumator şi $1 = 2'$, $2 = 3'$ respectiv $3 = 1'$ la sursă, se obține conexiunea triunghi atât la consumator cât şi la sursă. Prin aceste puncte de conexiune între două conductoare ale liniei de transport, tensiunea de linie este tensiunea de fază a sursei $U_{linie} = U_{fază}$.

Curentul total ce trece printr-un conductor de linie este diferența a doi curenți de fază. Astfel: $\underline{I}_1 = \underline{I}_A - \underline{I}_C$ şi are modulul $I_1 = \sqrt{3} \cdot I_A$ conform diagramei fazoriale ataşate sistemului trifazat. Valoarea complexă a curentului de linie este: $\underline{I}_1 = \underline{I}_A - \underline{I}_C = \sqrt{3} \cdot \underline{I}_A \cdot e^{-j\cdot\pi/6}$.



Concluzie:

Conexiunea triunghi a sistemelor trifazate conduce la următoarele relații între mărimile de fază şi cele de linie: $I_{linie} = \sqrt{3} I_{fază}$; $U_{linie} = \cdot U_{fază}$.

2. Modul de lucru

Scopul lucrării constă în analizarea alimentării receptorului trifazat simulând diverse situații în care se poate găsi acesta

- receptor echilibrat respectiv neechilibrat
- existența sau inexistența conductorului de nul
- existența celor trei tensiuni de alimentare sau întreruperea unei faze

În acest scop se efectuează câte 4 determinări pentru receptor echilibrat şi neechilibrat, efectuându-se măsurători conform tabelului 1 pentru receptor conectat în stea respectiv tabelului 2 pentru receptor conectat în triunghi.

Tabelul 1a (receptor echilibrat)

Nr.crt	I_1	I_2	I_3	I_o	U_o	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_{ao}	U_{bo}	U_{co}	Obs
1												3F+N
2												2F+N
3												3F
4												2F

Tabelul 1b (receptor neechilibrat)

Nr.crt	I_1	I_2	I_3	I_o	U_o	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_{ao}	U_{bo}	U_{co}	Obs
1												3F+N
2												2F+N
3												3F
4												2F

Tabelul 2

Nr.crt	I_1	I_2	I_3	I_{12}	I_{23}	I_{31}	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	Obs
1										Echilibrat
2										Neechilibrat

***Observație**:*

În baza datelor experimentale se construiesc diagramele fazoriale şi se verifică prin simulare numerică.