7.2. CALCULUL RETELELOR TRIFAZATE ECHILIBRATE SI DEZECHILIBRATE

7.2.1. Calculul retelelor trifazate dezechilibrate sub tensiuni la borne date

Se poate face clasic cu ajutorul teoremelor lui Kirchhoff. In cazul retelelor trifazate fara inductivitati mutuale intre laturi, acest calcul se poate face insa si altfel, in principal, pe baza teoremei potentialului punctului neutru.

7.2.1.1. Teorema potentialului punctului neutru (Teorema lui Millman)

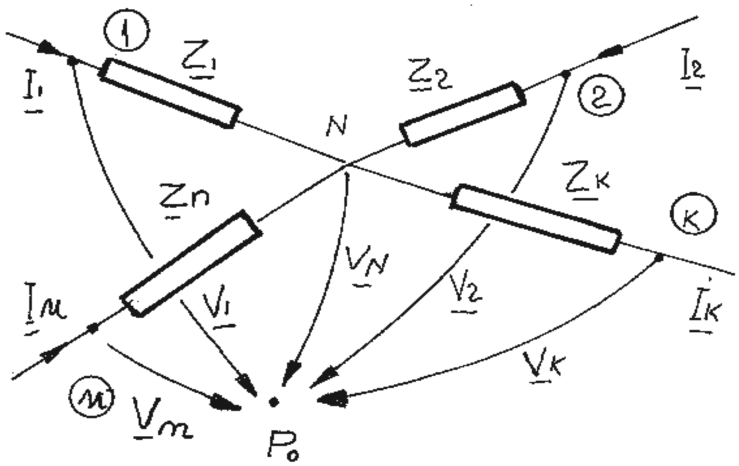

Fig. 7.2.1

Se considera un multipol pasiv cu n ramuri necuplate inductiv intre ele sau cu alte ramuri exterioare, având impedantele proprii $\underline{Z}_1,\dots,\underline{Z}_n$ (respectiv admitantele: $\underline{Y}_1,\dots,\underline{Y}_n$), prin care intra curentii $\underline{I}_1,\dots,\underline{I}_n$ si cu bornele de acces 1, 2, …, n, având potentialele $\underline{V}_1,\dots,\underline{V}_n$, $\underline{V}_N$ fata de un punct de referinta arbitrar P_O (fig. 7.2.1).

Teorema potentialului punctului neutru se enunta astfel: potentialul punctului N de intâlnire a ramurilor retelei este egal cu media aritmetica a potentialelor bornelor de acces, ponderate cu admitantele laturilor corespunzatoare.

$$\underline{V}_N = \frac{\underline{V}_1\underline{Y}_1 + \underline{V}_2\underline{Y}_2 + \dots + \underline{V}_n\underline{Y}_n}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \dots + \underline{Y}_n} = \frac{\sum_{k=1}^{n}\underline{V}_K\underline{Y}_K}{\sum_{k=1}^{n}\underline{Y}_K} \tag{7.2.1}$$

Demonstratia se face imediat

$$\underline{I}_K=\underline{Y}_K(\underline{V}_K-\underline{V}_N) \tag{7.2.2}$$

si o inlocuim in relatia care exprima prima teorema a lui Kirchhoff aplicata nodului N.

$$\sum_{k=1}^{n}\underline{I}_K = 0$$

7.2.1.1.1. Receptor trifazat dezechilibrat in stea cu fir neutru

Conform teoremei potentialului punctului neutru, in cazul receptorului dezechilibrat in stea cu fir neutru (fig. 7.2.2) potentialul $\underline{V}_N$ are expresia:

$$\underline{V}_N=\frac{\underline{V}_1\underline{Y}_1+\underline{V}_2\underline{Y}_2+\underline{V}_3\underline{Y}_3+\underline{V}_N\underline{V}_0}{\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3+\underline{Y}_N} \tag{7.2.3}$$

cu punct de referinta arbitrar pentru potential nul.

Din punct de vedere practic, cunoscându-se tensiunile pe faza ale retelei de alimentare ($\underline{U}_{10}$, $\underline{U}_{20}$, $\underline{U}_{30}$) care coincid cu potentialele bornelor, in cazul când se alege $\underline{V}_0=0$ si deci $\underline{V}_N=\underline{V}_N-\underline{V}_0=\underline{U}_{N0}$, se opereaza cu expresia:

$$\underline{U}_{N_0}=\frac{\underline{U}_{10}\underline{Y}_1+\underline{U}_{20}\underline{Y}_2+\underline{U}_{30}\underline{Y}_3}{\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3+\underline{Y}_N} \tag{7.2.4}$$

care se mai numeste si deplasarea neutrului.

Odata calculata aceasta tensiune (vezi fig. 7.2.2 si 7.2.3) tensiunile pe fazele receptorului si curentii rezulta imediat.

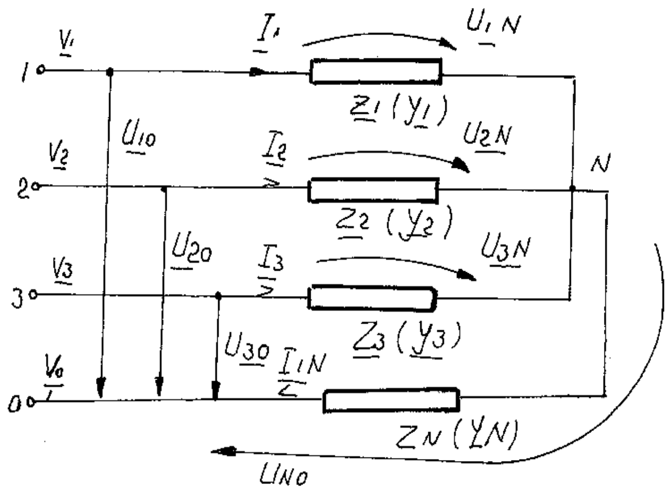

Fig. 7.2.2

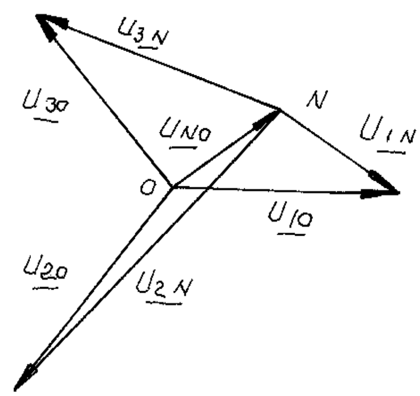

Fig. 7.2.3

$$\begin{aligned}
\underline{I}_1&=\frac{\underline{U}_{1N}}{\underline{Z}_1}=\underline{Y}_1(\underline{V}_1-\underline{V}_N)=\underline{Y}_1(\underline{U}_{10}-\underline{U}_{N0})\\
\underline{I}_2&=\frac{\underline{U}_{2N}}{\underline{Z}_2}=\underline{Y}_2(\underline{V}_2-\underline{V}_N)=\underline{Y}_2(\underline{U}_{20}-\underline{U}_{N0})\\
\underline{I}_3&=\frac{\underline{U}_{3N}}{\underline{Z}_3}=\underline{Y}_3(\underline{V}_3-\underline{V}_N)=\underline{Y}_3(\underline{U}_{30}-\underline{U}_{N0})
\end{aligned} \tag{7.2.5}$$

Se poate observa usor ca neutrul, „se deplaseaza“ ($\underline{U}_{N0}\neq0$), chiar daca tensiunile de alimentare formeaza sistem simetric, din cauza dezechilibrului sarcinii. Daca insa impedanta conductorului neutru este foarte mica $|Y_n|\to\infty$ si $\underline{U}_{N0}\to0$, deplasarea neutrului este neglijabila in retelele cu cu conductor neutru de sectiune suficient de mare (pentru ca rezistenta sa fie cât mai mica), chiar daca sarcina este puternic dezechilibrata. Aceasta, asigura din punct de vedere practic, aplicarea unor tensiuni de faza aproape simetrice consumatorilor dezechilibrati, conectati in stea in retele de distributie de joasa tensiune (iluminat, uz caznic etc). Reciproc, daca $|Y_N|\to0$ (intreruperea firului neutru), deplasarea neutrului poate fi importanta conducând la supratensionarea unor faze, periclitând securitatea instalatiilor. In sfârsit, exista situatii când suma admitantelor laturilor este mica (datorita satisfacerii unor conditii de rezonanta), caz in care deplasarea neutrului poate atinge valori oricât de mari, mai mari decât ale tensiunilor aplicate de retea.

7.2.1.1.2. Receptor trifazat dezechilibrat in stea, fara fir neutru

In acest caz fig. 7.2.4, potentialul $\underline{V}_N$ are expresia:

$$\underline{V}_N=\frac{\underline{V}_1\underline{Y}_1+\underline{Y}_2\underline{V}_2+\underline{V}_3\underline{Y}_3}{\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3} \qquad (7.2.6)$$

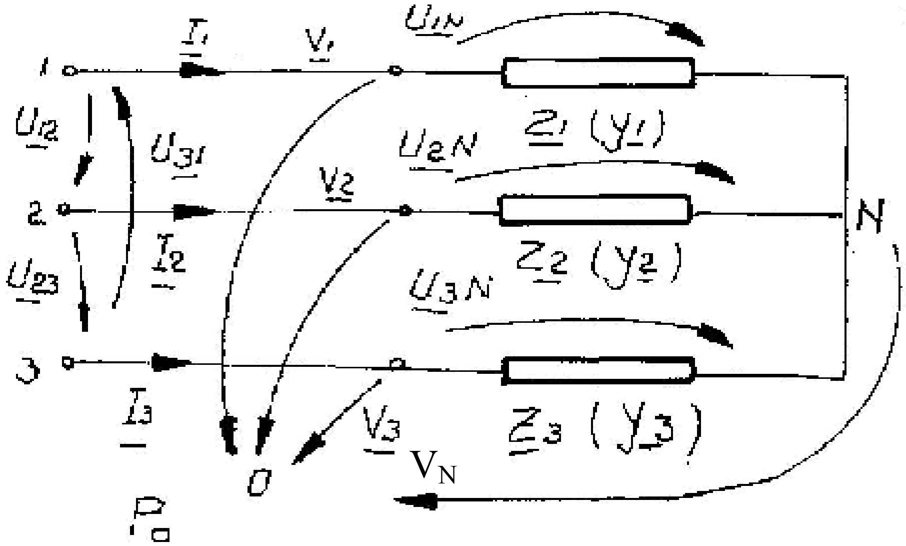

Fig. 7.2.4

Cum tensiunile cunoscute sunt cele dintre faze, in general nesimetrice, de forma:

$$\underline{U}_{12}=U_{12}e^{j\beta 12}$$
$$\underline{U}_{23}=U_{23}e^{j\beta 23} \qquad (7.2.7)$$
$$\underline{U}_{31}=U_{31}e^{j\beta 31}$$

satisfacând relatia $\underline{U}_{12}+\underline{U}_{23}+\underline{U}_{31}=0$ (7.2.8)

si alegând nul potentialul unei faze, de exemplu $V_1=0$, potentialele devin:

$$\underline{V}_1=0; \quad \underline{V}_2=\underline{U}_{21}=-\underline{U}_{12}; \quad \underline{V}_3=\underline{U}_{31}; \quad \underline{V}_N=\underline{U}_{N1}=-\underline{U}_{1N} \qquad (7.2.9)$$

Relatia (7.2.6) permite calculul tensiunii pe prima faza a receptorului (dupa schimbarea semnului) obtinându-se:

$$\underline{U}_{1N}=\frac{\underline{U}_{12}\underline{Y}_2-\underline{U}_{31}\underline{Y}_3}{\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3} \qquad (7.2.10)$$

Alegând apoi, pe rând $\underline{V}_2=0$, respectiv $\underline{V}_3=0$ rezulta:

$$\underline{U}_{2N}=\frac{\underline{U}_{23}\underline{Y}_3-\underline{U}_{12}\underline{Y}_1}{\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3} \qquad (7.2.11)$$

$$\underline{U}_{3N}=\frac{\underline{U}_{31}\underline{Y}_1-\underline{U}_{23}\underline{Y}_2}{\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3} \qquad (7.2.12)$$

NOTA: Relatiile (7.2.11), (7.2.12) se pot obtine si direct din (7.2.10) prin permutari circulare.

Daca tensiunile (7.2.7) formeaza sistem simetric, alegând drept potential de referinta (nul) potentialul unui punct creat artificial, potentialele bornelor vor fi tensiunile auxiliare de faza (simetrice), definite de relatiile:

$$\underline{V}_1=\underline{U}_{10}=\frac{\underline{U}_{12}}{\sqrt{3}}e^{-j\frac{\pi}{6}}; \quad \underline{V}_2=\underline{U}_{20}=\frac{\underline{U}_{23}}{\sqrt{3}}e^{-j\frac{\pi}{6}}; \quad \underline{V}_3=\underline{U}_{30}=\frac{\underline{U}_{31}}{\sqrt{3}}e^{-j\frac{\pi}{6}} \qquad (7.2.13)$$

expresia potentialului neutrului devenind:

$$\underline{V}_N=\underline{U}_{NO}=\frac{\underline{U}_{10}\,\underline{Y}_1+\underline{U}_{20}\,\underline{Y}_2+\underline{U}_{30}\cdot\underline{Y}_3}{\underline{Y}_1+\underline{Y}_2+\underline{Y}_3} \tag{7.2.14}$$

curentii de linie sunt dati de relatiile:

$$\underline{I}_1=\frac{\underline{U}_{1N}}{\underline{Z}_1}=\underline{Y}_1(\underline{V}_1-\underline{V}_N)$$

$$\underline{I}_2=\frac{\underline{U}_{2N}}{\underline{Z}_2}=\underline{Y}_2(\underline{V}_2-\underline{V}_N) \tag{7.2.15}$$

$$\underline{I}_3=\frac{\underline{U}_{3N}}{\underline{Z}_3}=Y_3(\underline{V}_3-\underline{V}_N)$$

7.2.1.2. Teorema lui Kirchhoff

7.2.1.2.1. Receptor trifazat dezechilibrat in triunghi

Si in aces caz (fig. 7.2.5) se cunosc tensiunile dintre faze ale retelei, in general nesimetrice si impedantele laturilor . Intrucât aceste tensiuni se aplica direct laturilor triunghiului, curentii de faza, respectiv de linie se calculeaza cu relatiile:

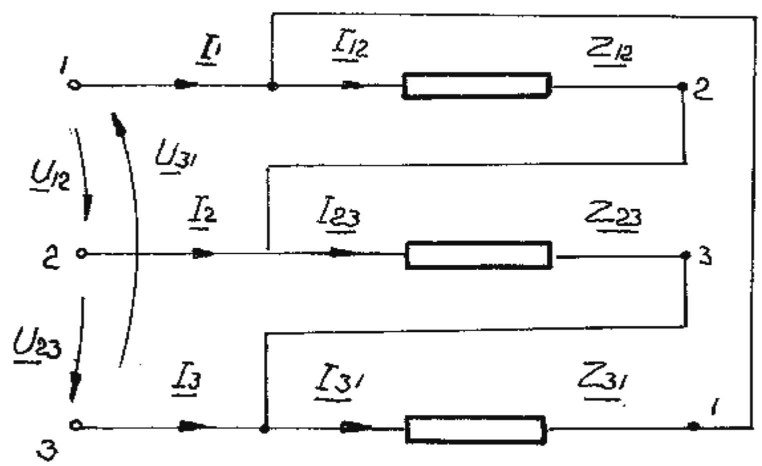

Fig. 7.2.5

$$\underline{I}_{12}=\frac{\underline{U}_{12}}{\underline{Z}_{12}}$$

$$\underline{I}_{23}=\frac{\underline{U}_{23}}{\underline{Z}_{23}} \tag{7.2.16}$$

$$\underline{I}_{31}=\frac{\underline{U}_{31}}{\underline{Z}_{31}}$$

$$\underline{I}_1=\underline{I}_{12}-\underline{I}_{31}$$

$$\underline{I}_2=\underline{I}_{23}-\underline{I}_{12} \tag{7.2.17}$$

$$\underline{I}_3=\underline{I}_{31}-\underline{I}_{23}$$