

2.7. Conexiunea stea a circuitelor electrice trifazate

1. Scopul lucrării este studiul comportării circuitelor electrice trifazate echilibrate sau dezechilibrate conectate în stea, alimentate cu sisteme trifazate simetrice de tensiuni. Se dorește stabilirea rolului conductorului de nul la conectarea în stea a consumatorilor trifazați.

2. Considerații teoretice

2.1. Noțiuni generale

Circuitele electrice trifazate sunt acele circuite în care intervin sisteme trifazate de tensiuni sau curenți, care au aceeași frecvență și sunt defazate între ele. Dacă aceste mărimi au aceeași amplitudine și același unghi de defazaj între ele ($\varphi = \frac{2\pi}{3}$), formează un sistem trifazat *simetric*. În caz contrar, dacă cel puțin una din condițiile de mai sus nu este îndeplinită, sistemul trifazat se numește *nesimetric*.

Un consumator trifazat este echilibrat dacă: $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3$ respectiv $\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_{23} = \underline{Z}_{31}$, ceea ce implică egalitate atât între modulele impedanțelor ($Z_1 = Z_2 = Z_3$) cât și între argumentele lor ($\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$). Dacă una dintre aceste egalități nu este verificată, atunci consumatorul este dezechilibrat.

Într-un circuit trifazat intervin:

- tensiuni de linie (dintre faze) (U_l) - tensiunile dintre intrările a două faze succesive;
- tensiuni de fază (U_f) - tensiunea dintre intrarea și ieșirea unei faze;
- curenți de linie (I_l) - curenții care străbat cele trei conductoare ale liniei de alimentare;
- curenți de fază (I_f) - curenții care străbat cele trei faze ale circuitului.

Sistemul trifazat simetric de tensiuni (fig.1.) este:

$$\begin{aligned} u_1 &= u_m \sin \omega t \\ u_2 &= u_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ u_3 &= u_m \sin \left(\omega t - 2\frac{2\pi}{3} \right) = u_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

în care u_m reprezintă *amplitudinea*.

Circuitele electrice trifazate pot fi conectate în *stea* sau în *triunghi* (fig.2.). Pentru un consumator echilibrat conectat în stea, în cazul unui sistem trifazat simetric de tensiuni, între tensiunile de linie și cele de fază există relația $U_l = \sqrt{3}U_f$. De asemenea, în cazul consumatorului echilibrat conectat în triunghi

alimentat cu un sistem trifazat simetric de tensiuni, între curenții de linie și cei de fază există relația $I_l = \sqrt{3}I_f$.

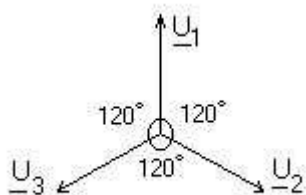


Fig.1. Sistem trifazat simetric

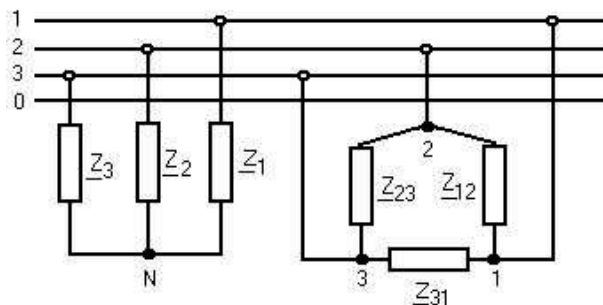


Fig.2. Conexiuni în stea și în triunghi

2.2. Circuite trifazate conectate în stea

Un receptor este conectat în stea dacă ieșirile fazelor sunt legate într-un punct comun numit *nul* (fig.3).

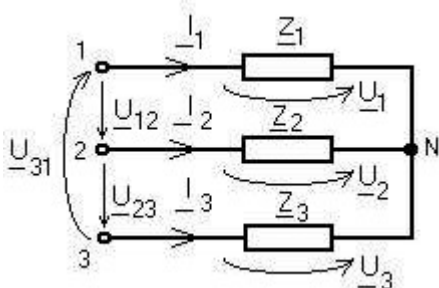


Fig.3. Receptor conectat în stea

La receptoarele conectate în stea curenții de linie (I_1, I_2, I_3) coincid cu cei de fază, iar între tensiunile de linie (U_{12}, U_{23}, U_{31}) și cele de fază (U_1, U_2, U_3) se scriu relațiile de legătură:

$$\begin{aligned} U_{12} &= U_1 - U_2 \\ U_{23} &= U_2 - U_3 \\ U_{31} &= U_3 - U_1 \end{aligned} \quad (2)$$

Dacă receptorul este echilibrat ($Z_1 = Z_2 = Z_3$), deci tensiunile de fază formează un sistem simetric (fig.4.), nulul N al acestuia se află la același potențial cu nulul sursei O ($U_{NO}=0$). Pentru un receptor dezechilibrat ($Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$) între nulul sursei și cel al receptorului există diferență de potențial ($U_{NO} \neq 0$), deci tensiunile de fază vor forma un sistem nesimetric (fig.5.).

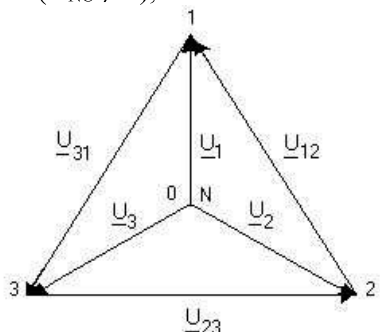


Fig.4. Sistem trifazat simetric

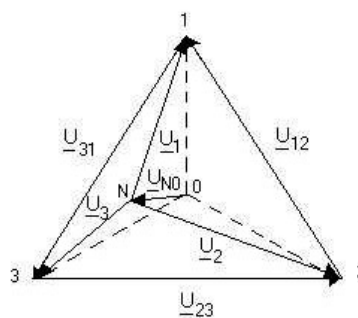


Fig.5. Sistem trifazat nesimetric

În cazul receptorului dezechilibrat, conectând nulul sursei (O) cu nulul receptorului (N), prin intermediul unui conductor cu impedanță neglijabilă ($Z_0 = 0$), numit *conductor de nul*, se obține un sistem simetric al tensiunilor de fază cu $U_{NO} = 0$. Sistemul nesimetric de tensiuni la receptorul dezechilibrat sau întreruperea conductorului de nul, pot produce pagube importante pe fazele receptorului trifazat. Însă, dacă receptorul este echilibrat, conductorul de nul poate lipsi.

3. Partea experimentală

Conexiunea în stea a unui receptor trifazat

Se realizează circuitul cu schema din figura 6 (rezistoarele liniare din fig.3 au fost înlocuite cu becuri cu $U_n = 12V$). Se utilizează un voltmetru digital setat pe domeniul de c.a. cu ajutorul căruia se măsoară tensiunile de linie și de fază, precum și tensiunea dintre N și 0.

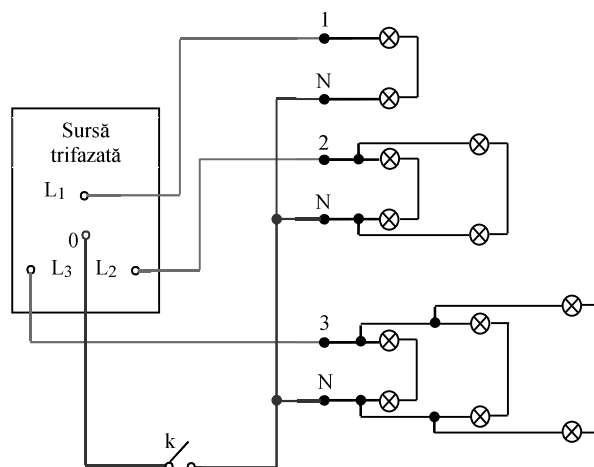


Fig.6. Receptor conectat în stea

3.1. Consumatorul din fig.6 este un **consumator dezechilibrat** ($R_1 \neq R_2 \neq R_3$), cu sau fără conductor de nul după cum întrerupătorul este închis, respectiv deschis. Intensitatea luminoasă diferită a becurilor pe cele trei faze relevă nesimetria tensiunilor de fază, în varianta întrerupător deschis. Închizând întrerupătorul, sistemul de tensiuni de fază devine simetric aceasta observându-se prin aceeași intensitate luminoasă a becurilor de pe cele trei faze. Se măsoară tensiunile de linie și de fază precum și tensiunea U_{N0} între nulul sursei și nulul receptorului în cele două situații și se trec în *tabelul 1*.

3.2. Pentru a obține un **consumator echilibrat** modificați numărul de becuri pe faze (spre ex. câte 4 pe fiecare fază), astfel încât $R_1 = R_2 = R_3$. Valorile tensiunilor măsurate se trec în *tabelul 1*.

3.3. Se **întrerupe una din faze**, repetând măsurătorile și trecând valorile acestora în *tabelul 1*.

Tabelul 1

Tipul consumatorului	Conductor de nul	U_1 [V]	U_2 [V]	U_3 [V]	U_{12} [V]	U_{23} [V]	U_{31} [V]	U_{N0} [V]
Echilibrat	DA							
	NU							
Dezechilibrat	DA							
	NU							
O fază întreruptă	DA							
	NU							

3.4. Se construiesc la scară pe hârtie milimetrică diagramele fazoriale ale tensiunilor (conform fig.4. și fig.5.) pentru cele șase cazuri studiate.