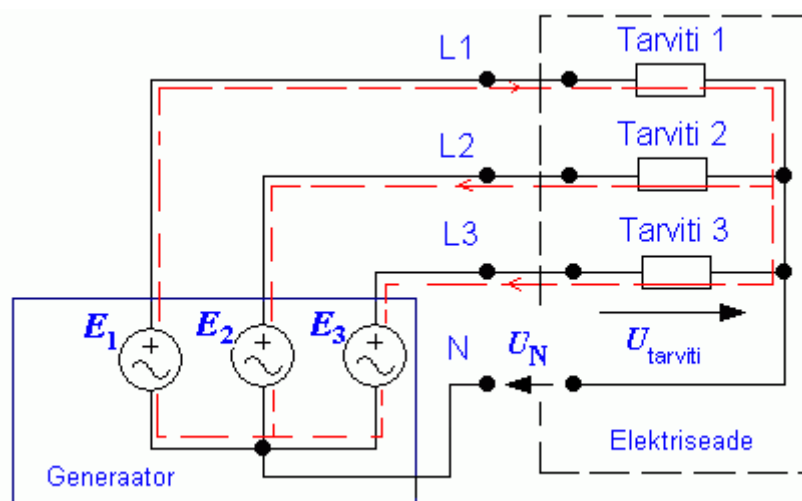


Kolmefaasilised ahelad - miks on vaja neutraaljuhet?

On elektriseade, milles on kolm aktiivtarviti. Tarvitid on erinevad: $Z_1 = 12 + j0$, $Z_2 = 6 + j0$, $Z_3 = 4 + j0$. Seadme ja generaatori neutraalid on ühendamata. Kuidas neutraaljuhi puudumine mõjutab tarvitite tööd?



Ühefaasilised tarvitid moodustavad tähtühenduses kolmefaasilise mittesümmeetrilise koormuse. Et neutraaljuhti ei ole, siis iga faasi vooluring sulgub läbi ülejäänud faaside. See on võimalik, sest kolmefaasilise pingesüsteemi faasid on üksteise suhtes ajas nihutatud.

Üldjuhul on kolmefaasilise pingesüsteemi faaside hetkväärtused:

$$\begin{aligned} e_1 &= E_m \sin \omega t & \underline{E}_1 &= 230 \text{ V} \\ e_2 &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ) & \underline{E}_2 &= -115 - 115\sqrt{3} \cdot j \text{ V} \\ e_3 &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ) & \underline{E}_3 &= -115 + 115\sqrt{3} \cdot j \text{ V} \end{aligned}$$

ja kompleksefektiivväärtused:

$$E_m = 230 \cdot \sqrt{2} \text{ V}$$

kui

Sellises lülituses võib tekkida generaatori ja koormuse neutraalpunktide vahel **nihkepinge**.

Nihkepinge saab arvutada valemiga:

$$\begin{aligned} \underline{U}_N &= \frac{\frac{\underline{E}_1}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{E}_2}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{E}_3}{\underline{Z}_3}}{\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{1}{\underline{Z}_3} + \frac{1}{\underline{Z}_N}} = \frac{\frac{230}{12} + \frac{-115 - 115\sqrt{3} \cdot j}{6} + \frac{-115 + 115\sqrt{3} \cdot j}{4}}{\frac{1}{12} + \frac{1}{6} + \frac{1}{4} + \frac{1}{\infty}} = \\ &= -57,5 + 33 \cdot j = 66,4 \angle 150^\circ \text{ V} \end{aligned}$$

Kui neutraaljuhti ei ole, siis $\underline{Z}_N = \infty$ ja tekib nihkepinge. Kui neutraaljuht on, siis $\underline{Z}_N = 0$ ja nihkepinget ei teki.

Nihkepinge tõttu on **tarvite pinged üksteisest erinevad ja on** järgmised:

$$\underline{U}_{tar1} = \underline{E}_1 - \underline{U}_N = 230 + 57,5 - 19\sqrt{3} \cdot j = 287,5 - 33 \cdot j = 289 \angle -7^\circ \text{ V}$$

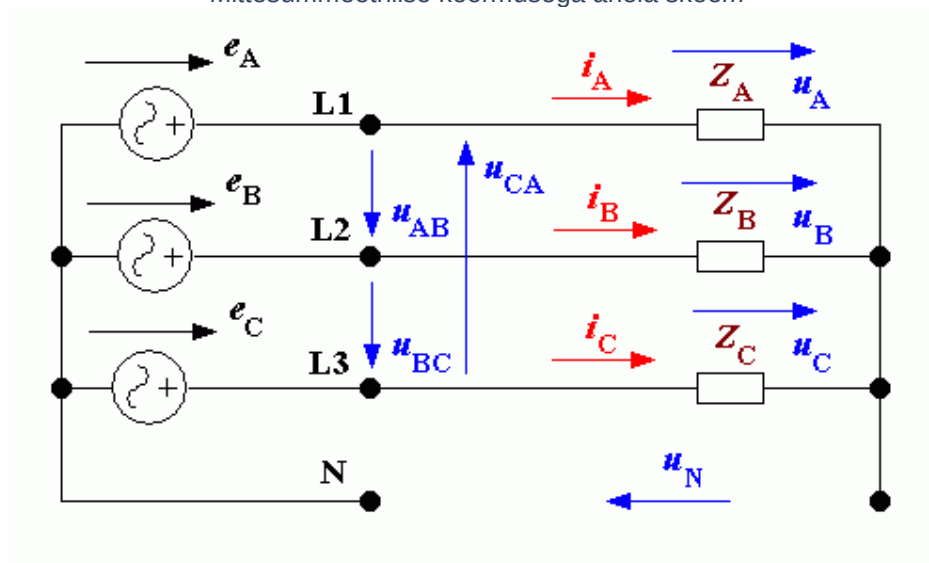
$$\underline{U}_{tar2} = \underline{E}_2 - \underline{U}_N = -115 - 115\sqrt{3} \cdot j + 57,5 - 19\sqrt{3} \cdot j = -57,5 - 232 \cdot j = 239 \angle -104^\circ \text{ V}$$

$$\underline{U}_{tar3} = \underline{E}_3 - \underline{U}_N = -115 + 115\sqrt{3} \cdot j + 57,5 - 19\sqrt{3} \cdot j = -57,5 + 162 \cdot j = 176 \angle 161^\circ \text{ V}$$

Seega esimeses faasis pinge oluliselt suureneb ja kolmandas väheneb, teises jääb enam-vähem samaks. Konkreetsete numbrid sõltuvad takistite suurusest, **kuid on suur oht, et mõni tarviti läheb rikki.**

Samade tulemusteni jõuame ka siis, kui koostame antud skeemi kohta Kirchhoffi seaduste järgi võrrandisüsteemi ja lahendame selle.

Mittesümmeetrilise koormusega ahela skeem



Kolmefaasilise ahela faasitakistused on järgmised: $Z_A = 12 + j0$, $Z_B = 6 + j0$, $Z_C = 4 + j0$. Skeemis on neli tundmatut suurust: voolud i_A , i_B ja i_C ja pinge u_N .

$$\begin{aligned} 0 &= \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C \\ \underline{E}_A - \underline{E}_B &= \underline{I}_A \underline{Z}_A - \underline{I}_B \underline{Z}_B \\ \underline{E}_A - \underline{E}_C &= \underline{I}_A \underline{Z}_A - \underline{I}_C \underline{Z}_C \\ \underline{E}_A &= \underline{I}_A \underline{Z}_A + \underline{U}_N \end{aligned}$$

Koostame võrrandisüsteemi kompleksarvudega

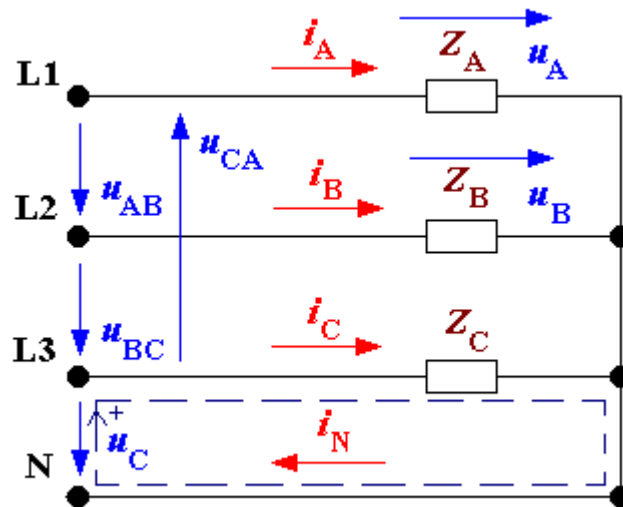
Võrrandisüsteemi lahendamiseks koostame kordajate ja vabaliikmete maatriksid

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 12 & -6 & 0 & 0 \\ 12 & 0 & -4 & 0 \\ 12 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \underline{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 345 + 199j \\ 345 - 199j \\ 230 \end{bmatrix}$$

ja leiame süsteemile lahendid sobiva arvutiprogrammiga. Lahenditeks on faasivoolude ja nihkepinge

väärtused. Faasipingete leidmiseks kasutame Ohmi seadust $\underline{U}_{faasi} = \underline{I}_{faasi} \cdot \underline{Z}_{faasi}$.

Sümmeetrilise koormusega ahela skeem



On kolmefaasiline sümmeetriline koormus (tarviti). Faaside takistused on ühesugused: $Z_A = 16 + 12j$ $Z_B = 16 + 12j$, $Z_C = 16 + 12j$. Seadme ja toiteallika neutraalpunktid on ühendatud. Arvutame voolud ja kolmefaasilise tarviti näivvõimsuse, kui faasidevaheline pinge $U = 400$ V.

Toitesüsteem loetakse tavaliselt sümmeetriliseks, siis on faasidevahelised pinged omavahel võrdsed:

Et tarviti on sümmeetriline, siis $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 400$ V.

Et tarviti on sümmeetriline, siis on faasipinged on ka omavahel võrdsed

$$U_A = U_B = U_C = \frac{U}{\sqrt{3}} \approx 230 \text{ V}$$

. Seega arvutame ühe faasi voolu, näiteks I_C .

Valime alumise kontuuri: $0 = I_C Z_C - U_C$ ehk $U_C = I_C Z_C$ ehk $U_C = I_C Z_C$.

Komplekstakistuse võime asendada näivtakistusega, kui eesmärgiks on leida ainult voolu suurus ja

$$I_C = \frac{230}{\sqrt{16^2 + 12^2}} = 11,5 \text{ A}, I_A = 11,5 \text{ A}, I_B = 11,5 \text{ A}$$

voolu algfaasi ei määra.

Kui suur on neutraljuhi vool I_N ?

Ühe faasi aktiivvõimsus $P_C = I_C^2 R = 11,5^2 \cdot 16 = 2116 \text{ W}$ ja kolme faasi peale kokku

$$P = 3P_C = 6348 \text{ W}$$

Ühe faasi reaktiivvõimsus $Q_C = I_C^2 X = 11,5^2 \cdot 12 = 1587 \text{ var}$ ja kolme faasi peale kokku

$$Q = 3Q_C = 4761 \text{ var}$$

Kolmefaasilise tarviti näivvõimsus $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 7935 \text{ VA} = 8 \text{ kVA}$