

Elektriahelad I ATE3150

Metoodiline juhend - Kodutöö nr.3 individuaalülesande

„Kolmefaasiline ahel“ lahendamiseks

Kodutöö ülesande lähteseosed: Kolmefaasilise sümmeetrilise toitesüsteemi elektromotoorjõud efektiivväärtusega E muutuvad siinuseliselt sagedusega $f = 1/T$ [Hz]. **A**-faasi elektromotoorjõu algfaasinurk on 0 kraadi, **B**-faasis vastavalt -120 kraadi ja **C**-faasis +120 kraadi.

Kolmefaasilise süsteemi liinitakistused ($\underline{Z}_L = \underline{Z}_L' + \underline{Z}_L''$) ja faasitakistused $\underline{Z}_F$ on kompleksuurused, mille komponendid on vastavalt variandile esitatud algandmete tabelis. Mõne variandi korral on osa skeemielemente ühendatud rööbiti (tähistus näiteks $\underline{R}_1//\underline{C}_2$, seega $\underline{R}_1$ ja $\underline{C}_2$ paiknevad teineteise suhtes rööbiti). Algandmete tabelis esinevate suuruste T (siinuse perioodi pikkus sekundites), L , $\underline{C}_1$ ja $\underline{C}_2$ väärtusi tuleb mõne variandi korral korrutada teguriga A (näiteks $A=3,5$). Induktiivsete ja mahtuvuslike elementide takistused avalduvad vastavalt $X_L = \omega L$ ja $X_C = 1/\omega C$, kus nurksagedus $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$. Algandmete tabelis on märgitud kolmefaasilise tarbija faasitakistuste omavahelise ühendamise skeem – kas tähtühenduses (T) või kolmnurga kujulises ühenduses (K).

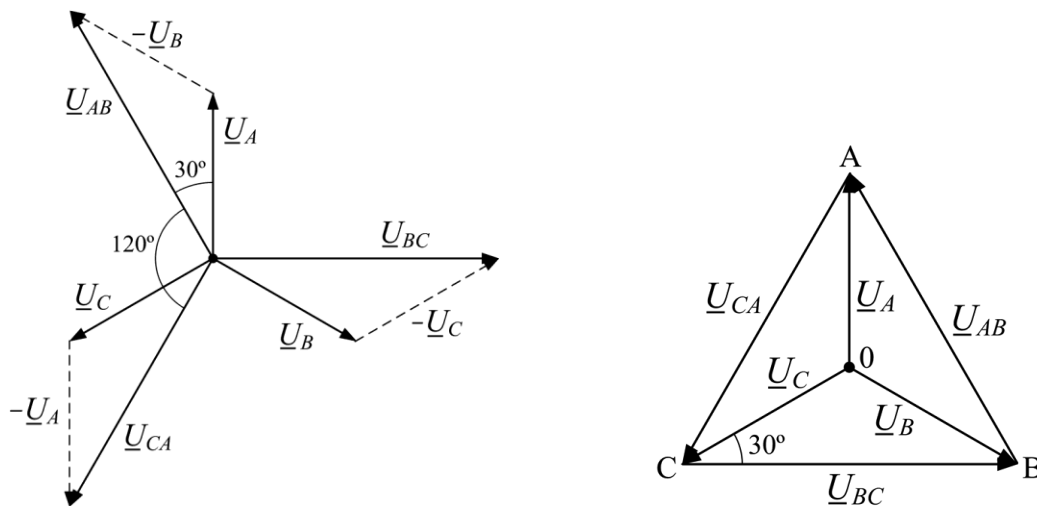
Ülesande lahendamise ettevalmistamiseks tuleb kõigepealt välja joonistada konkreetse variandi algandmetele vastavate elementidega kolmefaasiline skeem, sealjuures kas täht- või kolmnurkühenduses faasitakistustega. Tähistada kõik skeemielemendid ja skeemi sõlmed. Skeemi sõlmed A, B ja C tähistavad vastavate liinide algussõlmi ning a, b ja c liinide lõpusõlmi, mis on ühtlasi faasitakistuste algussõlmedeks. Kui faasitakistused on algskeemi kohaselt ühendatud kolmnurga kujuliselt, on otstarbekas ülesande lahendamise esimeses etapis teisendada need faasitakistused $\underline{Z}_F$ ekvivalentseteks tähekujuliselt ühendatud takistusteks $\underline{Z}_F'$.

Sümmeetrilise toite- ja tarbijasüsteemi tõttu on faaside elektromotoorjõudude väärtused võrdsed vastava summaarse liini- ja faasipingelanguga (näiteks $\underline{E}_A = \underline{U}_{A0} = \underline{U}_{A0}'$, kus 0 tähistab generaatori faasipingete vektorite ühist alguspunkti ja 0' tähistab tarbijate tähekiirtekujuliselt paiknevate faasitakistuste ühist ühenduspunkti (keskpunkti). Seega saab liinivoolud avaldada vastava faasi elektromotoorjõu ning liini- ja faasitakistuse suhte kaudu. Näiteks A-liini vool $\underline{I}_A$ avaldub: $\underline{I}_A = \underline{E}_A / (\underline{Z}_L + \underline{Z}_F)$. Sarnaselt sellega arvutatakse liinivoolud $\underline{I}_B$ ja $\underline{I}_C$.

Kui algskeemi kohaselt olid tarbija faasitakistused ühendatud tähekujuliselt, siis on faasivoolud võrdsed vastavate liinivooludega (näiteks $\underline{I}_a = \underline{I}_A$). Sellisel juhul avalduvad pingelangud liini- ja faasitakistustel (ka kolmnurgakujulisest ühendusest tähekujulisse skeemi teisendamise järel ekvivalentse 0' punkti suhtes) ühtmoodi lihtsalt, näiteks $\underline{U}_{Aa} = \underline{I}_A * \underline{Z}_L$ ja $\underline{U}_{a0'} = \underline{I}_A * \underline{Z}_F$.

Kui algskeemi kohaselt on tarbija faasitakistused ühendatud kolmnurga kujuliselt, siis tuleb faasivoolude $\underline{I}_{ab}$, $\underline{I}_{bc}$ ja $\underline{I}_{ca}$ arvutamiseks määrata kõigepealt faasipinged $\underline{U}_{ab}$, $\underline{U}_{bc}$ ja $\underline{U}_{ca}$. Selleks saab kasutada ekvivalentse tähtühenduse alusel arvutatud pingelangusid $\underline{U}_{a0'}$, $\underline{U}_{b0'}$ ja $\underline{U}_{c0'}$, mille kaudu kolmnurgakujulises ühenduses faasitakistuste pingelangud avalduvad vastavalt skeemile: $\underline{U}_{ab} = \underline{U}_{a0'} - \underline{U}_{b0'}$, $\underline{U}_{bc} = \underline{U}_{b0'} - \underline{U}_{c0'}$ ja $\underline{U}_{ca} = \underline{U}_{c0'} - \underline{U}_{a0'}$. Järgnevalt avalduvad faasivoolud vastavate pingelangude ja faasitakistuste suhtena: $\underline{I}_{ab} = \underline{U}_{ab} / \underline{Z}_{ab}$, $\underline{I}_{bc} = \underline{U}_{bc} / \underline{Z}_{bc}$ ja $\underline{I}_{ca} = \underline{U}_{ca} / \underline{Z}_{ca}$.

Voolude vektordiagramm ja pingete topograafiline diagramm joonestatakse vastavat mõõtkava kasutades komplekstasandile. Voolude vektorid lähtuvad kõik komplekstasandi 0-punktist. Pingete diagrammi konstrueerimist alustatakse faaside elektromotoorjõududest ehk toitepingetest, mille tasapinnavektorid $\underline{E}_A = \underline{U}_{A0}$, $\underline{E}_B = \underline{U}_{B0}$ ja $\underline{E}_C = \underline{U}_{C0}$ lähtuvad komplekstasandi 0-punktist ja on suunatud vektori noolega vastavalt tasandi punktidesse A, B ja C. Ühendades sirglõikudega omavahel komplekstasandi punktid A, B ja C, saame kolmefaasilise toitesüsteemi liinipingete vektorid $\underline{U}_{AB}$, $\underline{U}_{BC}$ ja $\underline{U}_{CA}$, mille noole suund on topograafilise diagrammi põhimõtete kohaselt indeksi viimase tähe punktist esimese tähe punkti suunas. Nii näiteks on liinipinge $\underline{U}_{AB} = \underline{\phi}_A - \underline{\phi}_B = \underline{U}_A - \underline{U}_B$ kui kahe komplekspotentsiaali või –pinge vahe suunatud tasandi punktist B punkti A:



Sellele toitepingeid iseloomustavale topograafilisele diagrammile saab kanda liinide ja tarbijafaaside pingelangud. Näiteks A-liinis kantakse liini pingelang $\underline{U}_{Aa}$ diagrammile noolega A-tipu juurde ja B-liinis pingelang $\underline{U}_{Bb}$ noolega B-tipu juurde. Kui tarbija faasitakistused on ühendatud kolmnurga kujuliselt, siis faasipinge $\underline{U}_{ab}$ ühendatakse liinide pingelangude vektorite punktide a ja b vahele. Analoogiliselt toimitakse faasipingetega $\underline{U}_{bc}$ ja $\underline{U}_{ca}$.

Kui tarbija faasitakistused on tähtühenduses, siis faasitakistuste ühise ühenduspunkti 0' komplekspotentsiaali asukoht langeb sümmeetrilise ahela tingimustes kokku toitesüsteemi 0-punktiga, olles kõigi faasitakistuste pingelangude ühispunktiks. Tarbija faasitakistuste pingelangud $U_{a0'}$, $U_{b0'}$ ja $U_{c0'}$ kantakse topograafilisel diagrammil 0'-punktist vastavalt liinipingete punktideni a, b ja c.

Kolmefaasilise ahela aktiivvõimsuse arvutamisel saame lähtuda kõigi faaside sümmeetria eeldusest, kus iga faasi aktiivvõimsus moodustab ühe kolmandiku kogu kolmefaasilise süsteemi aktiivvõimsusest. Näiteks A-faasi aktiivvõimsus sisendis avaldub faasi elektromotoorjõu ja liinivoolu moodulite korrutise kaudu, arvestades elektromotoorjõu ja liinivoolu vahelist nurka: $P_A = E_A \cdot I_A \cdot \cos(\psi_{EA} - \psi_{IA})$. Olgu näiteks $\underline{E}_A = 230 \angle 0^\circ$ ja $\underline{I}_A = 10 \angle 60^\circ$. Siis avaldub aktiivvõimsus A-faasis $P_A = 230 \cdot 10 \cdot \cos(0^\circ - 60^\circ) = 2300 \cdot \cos(-60^\circ) = 2300 \cdot 0,5 = 1150$ W. Kogu kolmefaasilise sümmeetrilise süsteemi aktiivvõimsus on antud näite korral järelikult $P = 3 \cdot P_A = 3450$ W.