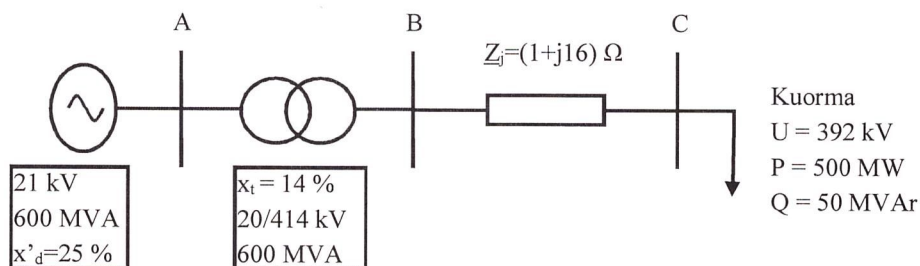


- 1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin
- Miksi 400 kV verkossa pätötehosiirto on voimakkaasti riippuvainen solmupisteiden välistä kulmaerosta?
 - Miksi 400 kV avojohdoissa käytetään nippujohtimia (bundled conductor)?
 - Miksi vikavirtalaskennassa (esimerkiksi kantaverkkoyhtiö Fingrid) joudutaan ratkaisemaan tuhansia vikatilanteita?
- 2) Olet ratkaisemassa kolmen solmupisteen verkon tehonjakoa.
- Laske solmupisteadmittanssimatriisin Y_{bus} alkioit $Y(2,1)$ ja $Y(3,3)$, kun johtotiedot ovat taulukon 1 mukaiset. Perusteho $S_b = 100$ MVA ja perusjännite $U_b = 400$ kV.

Taulukko 1. Johtotiedot

Solmuväli	resistanssi Ω	reaktanssi Ω	suskeptanssi μS
1 - 2	1.7	29.0	400
1 - 3	4.3	73.0	1000
2 - 3	3.4	58.0	800
3 - 4	0.85	14.5	200

- Kyseisessä verkossa solmupiste 4 on vertailupiste ja solmupiste 1 generaattoripiste. Kuinka monta solmupisteyhtälöä tehonjaossa on ratkaistava ja mitkä suureet ovat ratkaistavissa solmupisteyhtälöissä tuntemattomia?
 - Miten b-kohdan yhtälöryhmä muuttuu, jos solmupiste 1 on kuormituspiste?
- 3) Muodosta kuvan 1 verkolle suhteellisarvot käyttäen perustehona arvoa $S_b = 100$ MVA ja perusjännitteenä pisteessä C arvoa $U_{bc} = 400$ kV.
- Laske suhteellisarvoilla pisteen A jännite, kun pisteen C jännite on vakio 392 kV
 - Laske generaattorin verkkoon (piste A) syöttämän pätö- ja loistehon suuruus



Kuva 1.

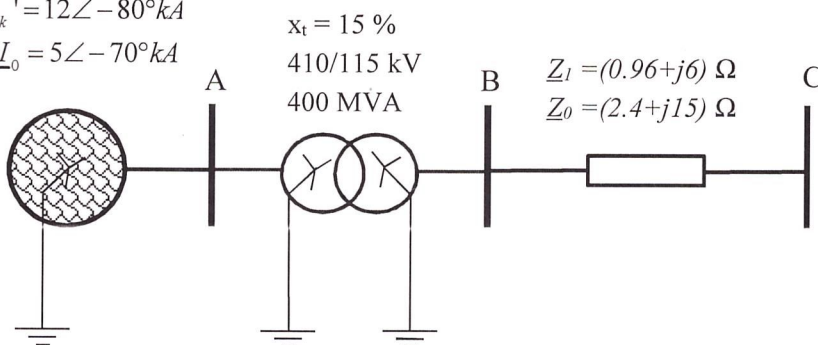
- 4) 300 km pitkän 400 kV johdon sähköiset arvot ovat: $r = 0,017 \Omega/\text{km}$, $x = 0,29 \Omega/\text{km}$ ja $b = 4,04 \mu\text{S}/\text{km}$. Johdon loppupään jännite on 400 kV. Pitkän johdon yhtälöitä ei käytetä.
- Laske johdon luonnollinen teho
 - Laske johdon alkupään jännite tyhjäkäynnissä
 - Loppupäähän liitetään kuormitus, jonka pätöteho on 800 MW ja loisteho -60 MVar. Laske alkupään jännite, kun loppupään jännite on edelleen 400 kV.
- 5) Tarkastellaan kuvan 2 mukaista verkkoa. Syöttävän verkon myötä- ja vastaimpedanssi ovat yhtä suuria. Vikaimpedanssi on aina nolla ja vikapaikan jännite ennen vikaa on 110 kV. Laske pisteessä C tapahtuvan
- 3-vaiheisen oikosulun vikavirta
 - 2-vaiheisen oikosulun vikavirta
 - 1-vaiheisen maasulun vikavirta

Ulkoisen verkon

$$U = 420 \text{ kV}$$

$$\underline{I}_k' = 12 \angle -80^\circ \text{ kA}$$

$$3\underline{I}_0 = 5 \angle -70^\circ \text{ kA}$$



Kuva 2.

Keskipitkän johdon π -sijaiskytkennän siirtovakiot

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_S \\ \underline{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{I}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{\underline{ZY}}{2} & \underline{Z} \\ \underline{Y} \left(1 + \frac{\underline{ZY}}{4} \right) & 1 + \frac{\underline{ZY}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{I}_R \end{bmatrix}$$

Tarkan π -sijaiskytkennän korjatut \underline{Z}' ja $\underline{Y}'/2$ pitkälle johdolle ovat:

$$\underline{Z}' = \underline{Z} \cdot \frac{\sinh(\underline{\gamma} \cdot l)}{\underline{\gamma} \cdot l} \quad \text{ja} \quad \frac{\underline{Y}'}{2} = \frac{\underline{Y}}{2} \cdot \frac{\tanh(\underline{\gamma} \cdot l / 2)}{\underline{\gamma} \cdot l / 2}$$

jossa $\underline{\gamma}$ on etenemiskerroin ja l johtopituus.

Tehonsiirron yhtälöt siirtovakioiden $\underline{A} = A \angle \alpha$, $\underline{B} = B \angle \beta$ ja $\underline{D} = D \angle \alpha$ avulla ilmaistuna.

Kulma δ on alku- ja loppupään jännitteiden välinen kulma s.e. $\underline{V}_S = V_S \angle \delta$ ja $\underline{V}_R = V_R \angle 0^\circ$.

Alkupään tehoille

$$P_S = \left| \frac{\underline{D}}{\underline{B}} \right| |V_S|^2 \cos(\beta - \alpha) - \frac{|V_S| |V_R|}{|B|} \cos(\beta + \delta)$$

$$Q_S = \left| \frac{\underline{D}}{\underline{B}} \right| |V_S|^2 \sin(\beta - \alpha) - \frac{|V_S| |V_R|}{|B|} \sin(\beta + \delta)$$

Loppupään tehoille

$$P_R = \frac{|V_S| |V_R|}{|B|} \cos(\beta - \delta) - \left| \frac{\underline{A}}{\underline{B}} \right| |V_R|^2 \cos(\beta - \alpha)$$

$$Q_R = \frac{|V_S| |V_R|}{|B|} \sin(\beta - \delta) - \left| \frac{\underline{A}}{\underline{B}} \right| |V_R|^2 \sin(\beta - \alpha)$$

Kolmio-tähtimuunnos

$$\underline{Z}_a = \frac{\underline{Z}_{ab} \cdot \underline{Z}_{ac}}{\underline{Z}_{ab} + \underline{Z}_{bc} + \underline{Z}_{ca}} \quad \underline{Z}_Y = \frac{\underline{Z}_\Delta}{3}, \text{ jos } \underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca}$$

Tähti-kolmiomuunnos

$$\underline{Z}_{bc} = \frac{\underline{Z}_a \cdot \underline{Z}_b + \underline{Z}_b \cdot \underline{Z}_c + \underline{Z}_c \cdot \underline{Z}_a}{\underline{Z}_a} \quad \underline{Z}_\Delta = 3\underline{Z}_Y, \text{ jos } \underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$$

Symmetristen komponenttien muunnokset abc => 120 ja 120 => abc

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_{a1} \\ \underline{V}_{a2} \\ \underline{V}_{a0} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \underline{\alpha} & \underline{\alpha}^2 \\ 1 & \underline{\alpha}^2 & \underline{\alpha} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_a \\ \underline{V}_b \\ \underline{V}_c \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{V}_a \\ \underline{V}_b \\ \underline{V}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \underline{\alpha}^2 & \underline{\alpha} & 1 \\ \underline{\alpha} & \underline{\alpha}^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_{a1} \\ \underline{V}_{a2} \\ \underline{V}_{a0} \end{bmatrix}$$

Vikavirtojen laskentakaavoja

1-v. maasulun osalta vikavirran lauseke ja komponenttiverkkojen kytkennät on osattava ulkoa.

\underline{E}_a on a-vaiheen Thevenin jännite ja \underline{I}_{a1} ja \underline{I}_{a2} ovat myötä- ja vastaverkon virrat a-vaiheessa
 \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 , \underline{Z}_0 ovat myötä-, vasta- ja nollaverkon impedanssit ja \underline{Z}^f on vikaimpedanssi

1-v. maasulun aikaiset vaihejännitteet (vika a-vaiheessa)

$$\underline{V}_a = \frac{3\underline{Z}^f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f} \underline{E}_a$$

$$\underline{V}_b = \frac{3\underline{\alpha}^2 \underline{Z}^f + (\underline{\alpha}^2 - \underline{\alpha})\underline{Z}_2 + (\underline{\alpha}^2 - 1)\underline{Z}_0}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f} \underline{E}_a$$

$$\underline{V}_c = \frac{3\underline{\alpha} \underline{Z}^f + (\underline{\alpha} - \underline{\alpha}^2)\underline{Z}_2 + (\underline{\alpha} - 1)\underline{Z}_0}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f} \underline{E}_a$$

2-v. oikosulku vikavirran lauseke

$$\underline{I}_{a1} = -\underline{I}_{a2} = \frac{\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}^f} \quad \underline{I}_b = -\underline{I}_c = \frac{-j\sqrt{3}\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}^f}$$

2-v. maaosikosulku vikavirran lauseke vaihevirtojen lauseketta ei tarvita

$$\underline{I}_{a1} = \frac{\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2(\underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f)}{\underline{Z}_2 + (\underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f)}}$$