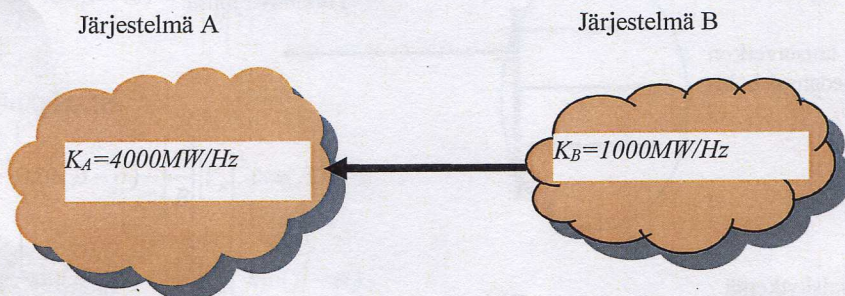
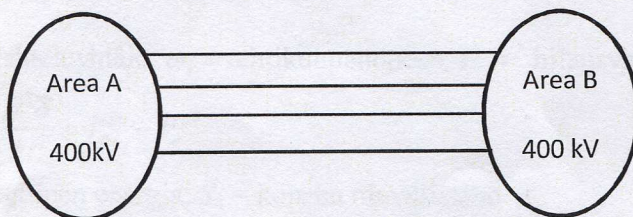


- 1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin
 - a) Selosta mitkä verkon komponentit tuottavat tstabiiisuuden laskennassa ratkaistavia differentiaaliyhtälöitä? Huom! PSCAD-ohjelmaa ei yleensä käytetä stabiilisuuden tutkimiseen.
 - b) Mitä tarkoittaa voimajärjestelmän luonnollinen säätövoima?
 - c) Verkon kineettinen energia eräänä hetkenä oli 100 GWs ja taajuuden laskunopeudeksi alkuvaiheessa mitattiin 0.15 Hz/s. Laske kuinka iso tuotantoyksikkö irtosi verkosta.
- 2) Kaksi sähkövoimajärjestelmää A ja B on kytketty toisiinsa yhdysjohdolla, jossa kulkee 600 MW teho B:stä A:han. Järjestelmän A säätövoima on $K_a = 4000$ MW/Hz ja järjestelmän B säätövoima $K_b = 1000$ MW/Hz. Alueella B kuorma kasvaa äkillisesti 200 MW:ia.
 - a) Selosta aikajärjestyksessä mitä taajuudelle ja yhdysjohdon teholle tapahtuu ja miksi
 - b) Laske pysyvän tilan taajuuden arvo ja yhdysjohdon uusi teho



Kuva 1.

- 3) 400 km pitkä 400 kV avojohto on tyypiltään 3-Finch, jonka $r = 0.017 \Omega/\text{km}$, $x = 0.29 \Omega/\text{km}$, $b = 4.04 \mu\text{S}/\text{km}$. Johdon loppupäässä on kuormitus, jonka pätöteho on 600 MW ja $\cos\phi = 0.98_{\text{ind}}$. Pitkän johdon yhtälöitä **ei tarvita**.
 - a) Laske johdon alkupään jännite ja virta, jos loppupään jännite on 400 kV.
 - b) Johto sarjakompensoidaan kytkemällä johdon keskelle joka vaiheeseen kapasitanssi, joka on suuruudeltaan $40 \mu\text{F}/\text{vaihe}$. Laske johdon alkupään jännite ja virta. Loppupään jännite ja tehokerroin pysyvät a-kohdan arvoissa.
- 4) Alueiden A ja B välillä on kuvan 2 mukaisesti 4 johtoa. Yhden johdon kokonaisreaktanssi on 80Ω . Alku- ja loppupään jännitteiden oletetaan pysyvän vakiona arvossa 400 kV.
 - a) Laske siirrettävissä oleva teho, kun tehokulma saa olla korkeintaan 40°
 - b) Laske kuinka suuri siirtokyky alueiden välillä on teoriassa, jos noudatetaan (n-1) -periaatetta ja varmuusmarginaali olisi 100 MW
 - c) Mitkä tekijät muuttaisivat todellisuudessa c kohdan vastausta?



Kuva 2.

Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

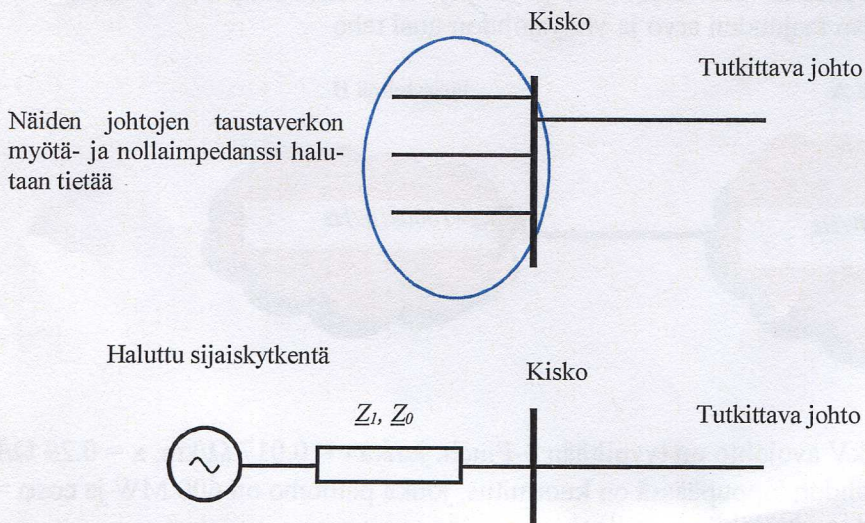
- 5) 400 kV sähköasemalla on 4 lähtevää johtoa (kuva 3). Halutaan tutkia erilaisia symmetrisiä ja epäsymmetrisiä vikoja tilanteessa, jossa yhdelle johdoista asennetaan sarjakondensaattori. Tätä varten tarvitaan kuvan mukainen sijaiskytkentä, jossa kolmen kompensoimattoman johdon edustaman verkko kuvataan ideaalisella jännitelähteellä ja taustaverkon impedanssilla. Laske taustaverkon impedanssi, jonka nämä kolme johtoa muodostavat.

Kun tutkittava (sarjakompensoitava) johto on kytketty pois ja asemalle on vikavirtaohjelmalla laskettu vikavirtoja, on saatu seuraavat arvot:

$$3\underline{I}_0 = 2800 \angle -92^\circ A \quad \text{1-v.maasulkuvirta}$$

$$\underline{I}'_k = 5200 \angle -98^\circ A \quad \text{3-v.vikavirta}$$

$$\text{Jännite ennen vikaa } \underline{U} = 415 \angle -10^\circ kV$$



Kuva 3.

Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

Keskipitkän johdon π -sijaiskytkennän siirtovakiot

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

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

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

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

Loppupään tehoille

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

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

Symmetristen komponenttien muunnokset $abc \Rightarrow 120$ ja $120 \Rightarrow abc$

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

1-vaiheisen vikavirran lauseke on alla. \underline{E}_a on a-vaiheen Thevenin jännite ja \underline{I}_{a1} , \underline{I}_{a2} ja \underline{I}_{a0} ovat myötä-, vasta- ja nollaverkon virrat a-vaiheessa. \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 , \underline{Z}_0 ovat myötä-, vasta- ja nollaverkon impedanssit ja \underline{Z}^f on vikaimpedanssi.

$$\underline{I}_{a1} = \underline{I}_{a2} = \underline{I}_{a0} = \frac{\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f} \quad \text{vikavirta} \quad \underline{I}_a = 3\underline{I}_{a1} = \frac{3\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f}$$

Heilahteluyhtälö, ω_s = tahtikulmanopeus, H = hitausvakio s

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{\partial^2 \delta}{\partial t^2} = P_m^{pu} - P_e^{pu}$$

Kineettinen energia, S_n = koneen nimellisteho

$$W_k = \frac{1}{2} J \omega^2 \quad \text{toisaalta } H = \frac{W_k}{S_n} [s]$$