

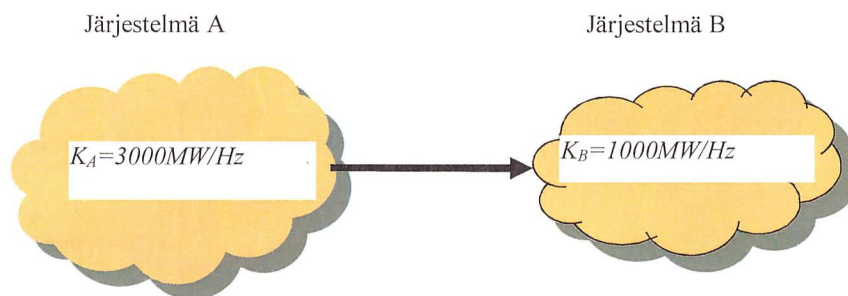
Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta. Kaikki tehtävät ovat 6 p. arvoisia

1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin

- a) Miksi jännitteiden kulman ja siirtyvän pätötehon välillä on voimakas riippuvuus?
- b) Mitä tarkoitetaan käsitteellä verkon kineettinen energia ja mikä vaikutus sillä on pysyvän tilan taajuusvirheeseen?
- c) Selosta mitkä verkon komponentit tuottavat stabiilisuuskalkulaatioissa ratkaistavia differentiaaliyhtälöitä?
- d) Luettele keinoja nostaa siirtokapasiteettia?

2) Kaksi sähkövoimajärjestelmää A ja B on kytketty toisiinsa yhdysjohdolla, jossa kulkee 400 MW teho A:sta B:hen. Järjestelmän A säätövoima on $K_A = 3000$ MW/Hz ja järjestelmän B säätövoima $K_B = 1000$ MW/Hz. Alueella B kuorma kasvaa äkillisesti 400 MW:ia.

- a) Selosta aikajärjestyksessä mitä taajuudelle ja yhdysjohton teholle tapahtuu ja miksi
- b) Laske pysyvän tilan taajuuden arvo ja yhdysjohton uusi teho



Kuva 1.

3) 250 km pitkä (pitkän johdon yhtälöitä **ei käytetä**) 400 kV avojohto on tyypiltään 3-Finch, jonka $r = 0.017 \Omega/\text{km}$, $x = 0.29 \Omega/\text{km}$, $b = 4.0 \mu\text{S}/\text{km}$. Johdon loppupäässä on vakiona pysyvä jännite 400 kV ja vakiokuormitus 600 MW ja 100 MVar.

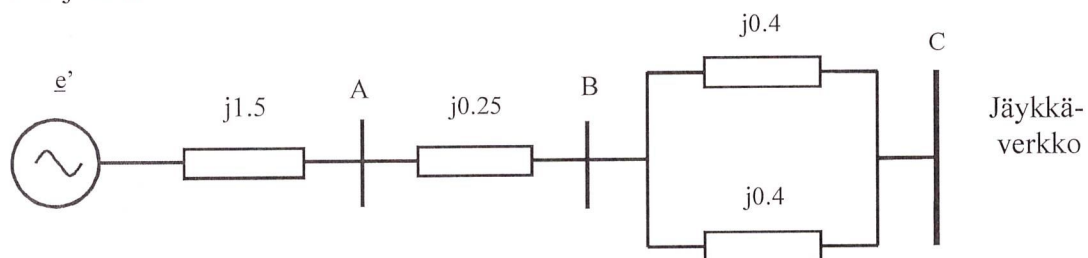
- a) Laske johdon alkupään pätö- ja loisteho
- b) Johto sarjakompensoidaan siten, että kompensointiaste on 70 %. Laske johdon alkupään jännite, kun loppupään jännite pysyy edelleen arvossa 400 kV.
- c) Laske b-kohdassa johdon luonnollinen teho

4) Vastaa seuraaviin kysymyksiin.

- a) Miten 400 kV avojohtojen suojaus on toteutettu Suomessa?
- b) Milloin tasajännitteen käyttäminen sähkönsiirtoon on edullisempaa kuin vaihtojännitteen?
- c) Miten PV-käyriä (nose curve) voidaan hyödyntää jännitestabiilisuuden tutkimisessa?

- 5) Generaattori on liitetty jäykkään verkkoon kuvan 2 mukaisesti. Kuvassa on esitetty suhteellisarvoilla komponenttien reaktanssit. Generaattorin napajännitteen itseisarvo (piste A) pysyy vakiona arvossa 1.04 pu. Jäykän verkon jännite on 1.0 pu ja sinne syötetään pätöteho 0.8 pu. Toisella kaksoisjohdolla tapahtuu 3-vaiheinen vikavastukseton oikosulku aseman B välittömässä läheisyydessä. Suojaus on järjestetty siten, että viallinen johto kytkeytyy irti pysyvästi. Muodosta tilannetta kuvaava tehokulmayhtälö

- ennen vikaa
- vian aikana
- vian jälkeen



Kuva 2.

Keskipitkän johdon π -sijaiskytkennän siirtovakiot

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

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

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

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

Loppupään tehoille

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

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

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

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

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

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