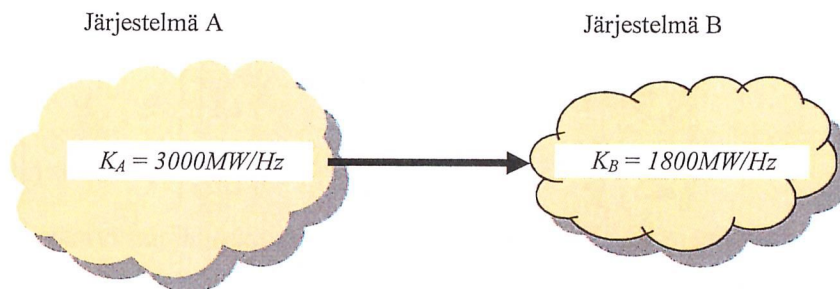


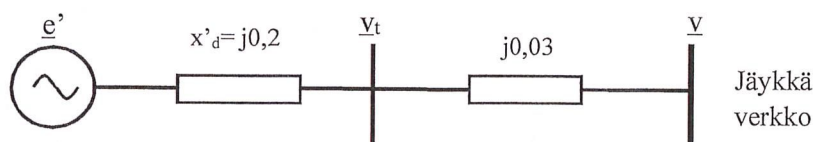
Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta. Kaikki tehtävät ovat 6 p. arvoisia

- 1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin
  - a) Minkä takia siirtojärjestelmässä tarvitaan tehon säätöä?
  - b) Mitä tarkoittaa pinta-alakriteerio ja miten ja mihin sitä voi soveltaa?
  - c) Pohjoismaisesta siirtojärjestelmästä irtosi 1000 MW generaattori. Taajuuden laskunopeudeksi välittömästi irtoamisen jälkeen mitattiin 0,2 Hz/s. Kuinka suuri oli verkon liike-energia ennen generaattorin irtoamista?
  
- 2) Vastaa 400 kV verkon osalta seuraaviin kysymyksiin
  - a) Mitkä ovat jännitteensäädön tavoitteet ja mitä rajoituksia jännitteiden suuruuteen liittyy?
  - b) Miksi 400 kV avojohtojen loistehon tuotanto on aika lailla vakio pätötehosiiirron muuttuessa, mutta johtojen loistehon kulutus vaihtelee paljon enemmän?
  
- 3) Kaksi sähkövoimajärjestelmää A ja B on kytketty toisiinsa yhdysjohdolla, jossa kulkee 700 MW teho A:sta B:hen. Järjestelmän A säätövoima on  $K_A = 3000 \text{ MW/Hz}$  ja järjestelmän B säätövoima  $K_B = 1800 \text{ MW/Hz}$ . Alueella B kuorma kasvaa äkillisesti 480 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.

- 4) Tarkastellaan kuvassa 2 esitettyä järjestelmää, jossa jäykkään verkkoon siirtyvä pätöteho on 6,0 pu, napajännite  $\underline{v}_t = 1,04 \angle \beta^\circ$  pu ja jäykän verkon jännite on 1,0 pu.
  - a) Määritä järjestelmälle tehokulmayhtälö edellä kuvatussa tilanteessa
  - b) Kuinka suureksi korkeintaan voidaan a-kohdan tilanteessa nostaa tahtigeneraattorin pätöteho, kun koneen magnetointia ei säädetä?
  - c) Kuinka suureksi korkeintaan voidaan a-kohdan tilanteessa nostaa tahtigeneraattorin pätöteho, jos koneen magnetointia säädetään?



Kuva 2.

käännä

- 5) Sähkönsiirtoon käytetään vaihtosähkön ohella myös tasajännitettä.
- a) Missä tilanteissa DC-yhteyden käyttö on taloudellisesti ja teknisesti järkevämpää kuin AC-yhteyden käyttö?
  - b) DC-kaapelin alkupään tasajännite on 600 kV ja virta 1200 A. Loppupään jännite on 590,4 kV. Laske kaapelin häviöt ja resistanssin suuruus.

Keskipitkän johdon  $\pi$ -sijaiskytkennän siirtovakiot

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

Tehonsiirron yhtälöt siirtovakioiden  $\underline{A} = A \angle \alpha$ ,  $\underline{B} = B \angle \beta$  ja  $\underline{D} = D \angle \alpha$  avulla ilmaistuna. Kulma  $\delta$  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  $120 \Rightarrow abc$

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

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.

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

Kompensointiaste kuvaa prosentteina, kuinka paljonko johdon induktanssi tai kapasitanssi pienee kompensoinnin vaikutuksesta. Sarjakompensoinnissa 80 %:in kompensointiaste kertoo johdon induktanssin  $L$  olevan kompensoinnin jälkeen  $0.2 * L$ .

Heilahteluyhtälö,  $\omega_s$  = 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

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