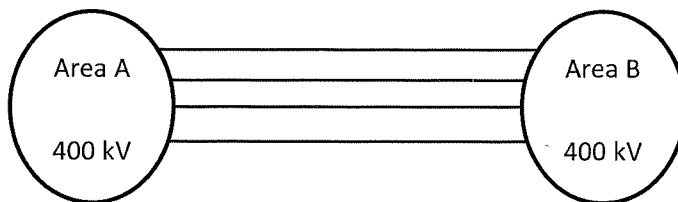


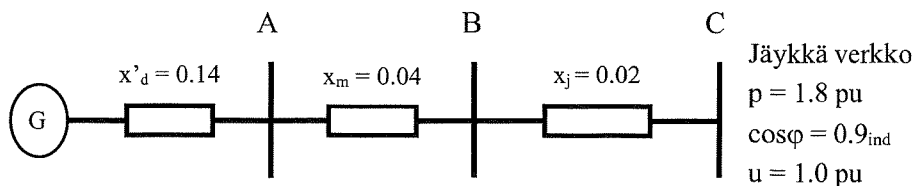
Tentissä saa käyttää ohjelmoitavaa laskinta. Opiskelija saa viedä paperin. Tehtävästä yksi saa 8 pistettä ja muista 6 p.

- 1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin
  - a) Mitä tarkoitetaan voimalaitoksen hitausvakiolla? Kuinka suuria hitausvakiot yleensä ovat?
  - b) Miksi siirtoverkossa tarvitaan loistehoreservejä ja miten Fingrid niitä ylläpitää?
  - c) Mitä tarkoitetaan distanssisuojauksen käsitteellä sivusyöttö ja mitä haittaa siitä on?
  - d) Miksi distanssisuojauksen yhteydessä tarvitaan viestiyhteys sähköasemien välille?
  
- 2) Sarjakompensoinnin toteutus, edut ja haitat
  
- 3) Alueiden A ja B välillä on kuvan 1 mukaisesti 4 johtoa. Johtojen pituus on 200 km ja reaktanssi  $0.3 \Omega/\text{km}$ . Johdot kestävät  $+30^\circ$  lämpötilassa virtaa 2800 A. Alku- ja loppupään jännitteiden oletetaan pysyvän koko ajan vakiona arvossa 400 kV.
  - a) Laske johtojen terminen rajateho
  - b) Laske alueelle B siirrettävissä oleva teho, kun tehokulma saa olla korkeintaan  $40^\circ$
  - c) Laske kuinka suuri siirtokyky alueiden välillä (suuntaan A – B) on teoriassa, jos noudatetaan (N-1) –periaatetta ja varmuusmarginaali olisi 100 MW.
  - d) Onko siirtokyky suuntaan B – A yhtä iso kuin c-kohdassa?
  - e) Mitkä tekijät muuttaisivat todellisuudessa b kohdan vastausta?



Kuva 1.

- 4) Generaattori syöttää kuvan 2 mukaisesti muuntajan ja johdon kautta jäykkään verkkoon pätötehon 1.8 pu tehokertoimella  $\cos\varphi = 0.9_{\text{ind}}$ . Generaattorin muutostilan tahtireaktanssi  $x'_d = 0.14$ , muuntajan reaktanssi 0.04 ja johdon reaktanssi 0.02 pu. Asemalla B tapahtuu vikavastukseton 3-vaiheinen oikosulku, joka poistuu itsestään tehokulmaa  $\delta = 100^\circ$  vastaavalla ajanhetkellä. Tarkastele pinta-alakriteerion avulla, onko tilanne stabiili? Häviöitä ei oteta huomioon.



Kuva 2.

käännä sivua

- 5) Kaksi generaattoria toimii rinnakkain 50 Hz verkossa. Generaattoreiden nimellistehot, statiat ja pätötehot ovat:

$$S_{n1} = 80 \text{ MVA}, R_1 = 4 \% \text{ ja } P_1 = 50 \text{ MW}$$

$$S_{n2} = 50 \text{ MVA}, R_2 = 5 \% \text{ ja } P_2 = 25 \text{ MW}$$

Oletetaan, että kuormituksella ei ole taajuusriippuvuutta ja kuormitus kasvaa äkillisesti 30 MW.

- a) Laske taajuuden pysyvän tilan arvo kuormitusmuutoksen jälkeen
- b) Laske generaattoreiden uudet pätötehot

Keskipitkän johdon  $\pi$ -sijaiskytkennän siirtovakiot

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

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

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

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.

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

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

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