

Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

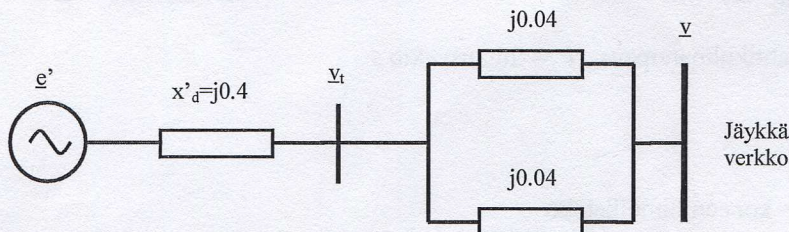
DEE-24010 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

J. Bastman

TTY Tenti 21.10.2016

Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta

- 1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin
  - a) Mitä tarkoittaa generaattorin hitausvakio ja mikä merkitys sillä on stabiiliuden kannalta?
  - b) DC-kaapelin alkupään tasajännite on 490 kV ja loppupään 500 kV. Kaapelin häviö näillä jännitteillä on 12.5 MW. Laske kaapelin virta ja resistanssi.
  - c) Miten yleensä asetellaan distanssireleen suojausvyöhykkeet 400 kV johdon suojauksessa ja miksi?
- 2) Tarkastellaan Pohjoismaisen voimajärjestelmän (säätövoima on 7000 MW/Hz) käyttäytymistä tehonvajaustilanteessa, kun Olkiluodon yksikkö 1 (pätöteho 880 MW) irtoaa äkillisesti verkosta.
  - a) Selosta aikajärjestyksessä mitä järjestelmässä tapahtuu. Voit olettaa Suomen ja Ruotsin välisten vaihtosähköyhteyksien kestävästi aiheutuvan muutoksen. Vastaavasti voit olettaa, että DC-linkit Suomen ja Ruotsin välillä eivät ole käytössä.
  - b) Taajuuden muutosnopeus välittömästi irtoamisen jälkeen oli  $-0.1$  Hz/s. Laske tietojen perusteella järjestelmän kineettinen energia.
- 3) 300 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 500 MW,  $\cos\phi = 0.95_{\text{ind}}$ . Pitkän johdon yhtälöitä **ei tarvita**.
  - a) Laske johdon alkupään pätö- ja loisteho, jos loppupään jännite on 400 kV.
  - b) Johto sarjakompensoidaan kytkemällä johdon keskelle joka vaiheeseen kapasitanssi, joka on suuruudeltaan 0,18 F/vaihe. Laske johdon alkupään pätö- ja loisteho. Loppupään jännite ja tehokerroin pysyvät a-kohdan arvoissa.
- 4) Selosta siirtokapasiteettiin liittyviä asioita
  - a) Mitkä tekijät rajoittavat siirtokapasiteettia?
  - b) Miten siirtokapasiteettia voidaan nostaa?
  - c) Laske montako johtoa tarvitaan 2500 MW tehon siirtämiseen 300 km päähän 400 kV jännitteellä, jos verkkoa käytetään  $(n-1)$  - kriteerin mukaisesti. Johdon reaktanssi on 0.33/km ja alku- ja loppupään jännitteiden kulma-ero voi olla korkeintaan  $35^\circ$ .
- 5) Stabiilisuuskysymyksiä
  - a) Selosta pinta-alakriteerion käyttöä transienttistabiiliuden tutkimiseen.
  - b) Tarkastellaan kuvassa 1 esitettyä järjestelmää, jossa jäykkään verkkoon siirtyvä pätöteho on 3.0 pu, napajännite  $\underline{v}_t = 1.05$  pu ja jäykän verkon jännite  $\underline{v} = 1.0$  pu. Määritä järjestelmälle tehokulmayhtälö edellä kuvatussa tilanteessa.



Kuva 1.





Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

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.

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

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

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