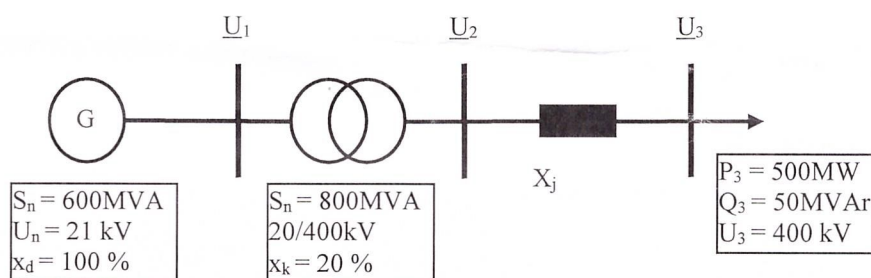


DEE-24010 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö
TTY Tenta 27.11.2017

J. Bastman

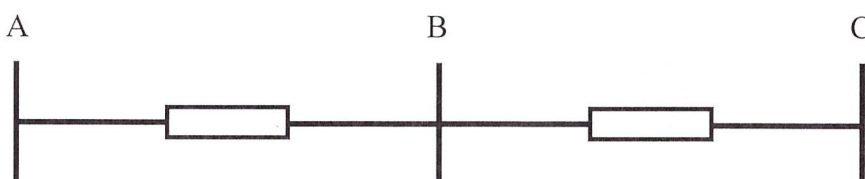
Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta. Kaikki tehtävät ovat 6 p. arvoisia

- 1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin
 - a) Mitä tarkoitetaan käsitteellä statiikka?
 - b) Mitkä komponentit tuottavat stabiilisuuskennassa ratkaistavia differentiaaliyhtälöitä?
 - c) Miksi vaihtosähkökaapelin pituus rajoittuu muutamaan kymmeneen kilometriin?
- 2) Johda luonnollisen tehon lauseke häviöttömälle johdolle ($r = 0$, $g = 0$), joka on
 - a) Sarjakompensoitu ja kompensointiaste on k_{se}
 - b) Olkoon 400 kV johdon reaktanssi $0.33 \Omega/\text{km}$, susceptanssi $3.57 \mu\text{S}/\text{km}$ sekä sarjakompensointiaste 70 %. Laske johdon luonnollinen teho.
- 3) Tarkastellaan kuvan 1 verkkoa. Jännite solmussa 3 pysyy vakiona arvossa $\underline{U}_3 = 400 \angle 0^\circ \text{ kV}$.
Laske staattisen stabiilisuuden rajateho, kun
 - a) Generaattorin magnetointia ei säädetä
 - b) Magnetointia säätämällä pidetään generaattorin napajännite siinä arvossa, joka sillä oli em. kuormitustilanteessa.



Kuva 1.

- 4) Vastaa seuraaviin kysymyksiin.
 - a) Miten 400 kV avojohtojen suojaus on toteutettu Suomessa?
 - b) Alla olevassa kuvassa on esitetty säteittäinen siirtojohto välillä A – B – C. Piirrä koepaperiin näkyviin distanssisuojauksen 3 suojausvyöhykettä sekä selosta miten ne on valittu?



Kuva 2.

- 5) Kaksi generaattoria toimii rinnakkain. Generaattoreiden nimellistehot, statiikat ja pätötehot ovat:

$S_{n1} = 80 \text{ MVA}$, $R_1 = 4 \%$ ja $P_1 = 60 \text{ MW}$

$S_{n2} = 45 \text{ MVA}$, $R_2 = 5 \%$ 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 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

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