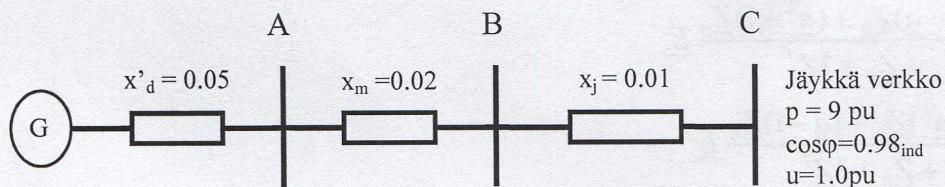


Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta ja viedä paperin mukanaan

- 1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin
  - a) Mitä tarkoittaa generaattorin statiikka (droop) asettelu esim. 4 %:ia?
  - b) Miksi distanssireleissä käytetään joskus heilahtelusalpaa?
  - c) Mitä kuvaa verkon liike-energia ja mihin sitä käytetään?
- 2) Tarkastellaan Pohjoismaisen voimajärjestelmän (säätövoima on 6000 MW/Hz) käyttäytymistä tehonvajaustapauksessa. Olkiluodon yksikkö 1 (pätöteho 850 MW) irtoaa äkillisesti verkosta.
  - a) Selosta aikajärjestyksessä mitä verkossa tapahtuu. Oleta Suomen verkon pysyvän kiinni Ruotsissa.
  - b) Selosta minkälaisia pätötehoeservejä voimajärjestelmässä on?
- 3) 200 km pitkä 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 kuormitus 800 MW,  $\cos\phi = 0.99_{\text{ind}}$ .
  - a) Laske johdon alkupään jännite, jos loppupään jännite on 400 kV.
  - b) Johdon keskelle kytketään sarjakompensaattori, jonka kapasitanssi on  $72,37 \mu\text{F}/\text{vaihe}$ . Laske johdon alkupään jännite. Loppupään jännite ja tehokerroin pysyvät a-kohdan arvoissa.
- 4) Sähkönsiirtoon käytetään vaihtosähkön ohella tasajännitettä.
  - a) Missä tilanteissa DC-linkin käyttö on taloudellisesti ja teknisesti järkevämpää kuin AC-yhteyden käyttö?
  - b) Vaihtosähkökaapelin kapasitanssi on  $200 \text{ nF}/\text{km}$  ja taajuus 50 Hz. Kaapeli kestää 600 A virran. Laske kuinka pitkä kaapeli voi olla?
  - c) DC-kaapelin alkupään tasajännite on tietyssä siirtotilanteessa 512 kV ja loppupään 500 kV. Kaapelin häviöt näillä jännitteillä on 15 MW. Laske kaapelin virta ja resistanssi.
- 5) Generaattori syöttää kuvan 1 mukaisesti muuntajan ja johdon kautta jäykkään verkkoon tehon  $p = 9 \text{ pu}$  tehokertoimella  $\cos\phi = 0.98_{\text{ind}}$ . Generaattorin muutostilan tahtireaktanssi  $x'_d = 0.05$ , muuntajan reaktanssi 0.02 ja johdon reaktanssi 0.01 pu. Asemalla B tapahtuu vikavastukseton 3-vaiheinen oikosulku, joka poistuu itsestään tehokulmaa  $\delta = 80^\circ$  vastaavalla ajanhetkellä. Tarkastele pinta-alakriteerion avulla, onko tilanne stabiili? Häviöitä ei oteta huomioon.



Kuva 1.

$$-P_{\text{max}} [\cos\phi_2 - \cos\phi_1]$$

$$-P_m [\cos\phi_2 - \cos\phi_1]$$

$$P = UI$$

$$R = \frac{U}{I}$$

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

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

Vikavirtojen laskentakaavoja

1-v. maasulun osalta vikavirran lauseke ja komponenttiverkkojen kytkennät on osattava ulkoa.

$\underline{E}_a$  on a-vaiheen Thevenin jännite ja  $\underline{I}_{a1}$  ja  $\underline{I}_{a2}$  ovat myötä- ja vastaverkon virrat a-vaiheessa  
 $\underline{Z}_1$ ,  $\underline{Z}_2$ ,  $\underline{Z}_0$  ovat myötä-, vasta- ja nollaverkon impedanssit ja  $\underline{Z}^f$  on vikaimpedanssi

1-v. maasulun aikaiset vaihejännitteet (vika a-vaiheessa)

$$\underline{V}_a = \frac{3\underline{Z}^f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f} \underline{E}_a$$

$$\underline{V}_b = \frac{3\underline{\alpha}^2 \underline{Z}^f + (\underline{\alpha}^2 - \underline{\alpha})\underline{Z}_2 + (\underline{\alpha}^2 - 1)\underline{Z}_0}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f} \underline{E}_a$$

$$\underline{V}_c = \frac{3\underline{\alpha} \underline{Z}^f + (\underline{\alpha} - \underline{\alpha}^2)\underline{Z}_2 + (\underline{\alpha} - 1)\underline{Z}_0}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f} \underline{E}_a$$

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

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