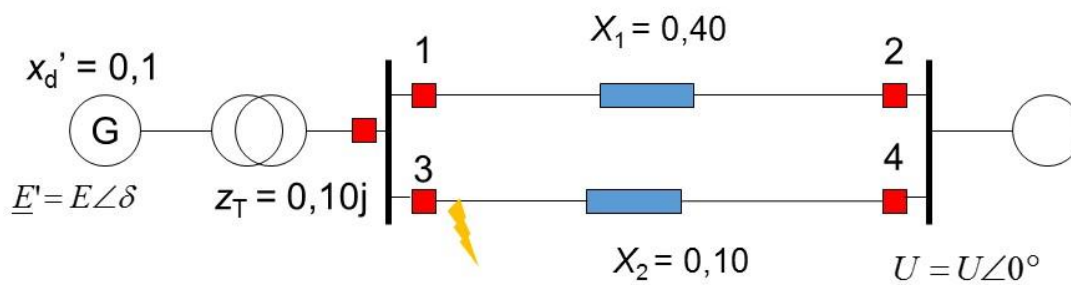
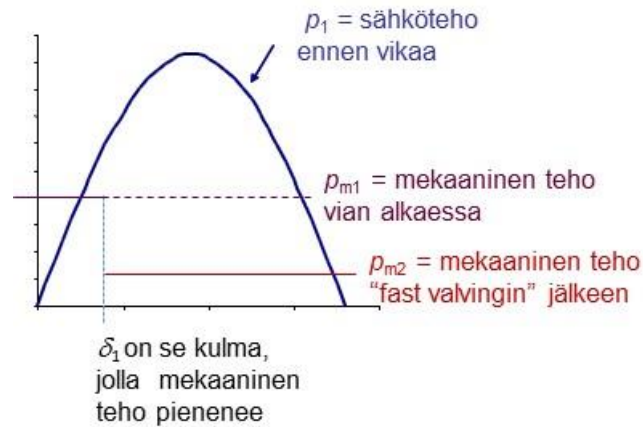


1. Miten siirtokapasiteetti määritetään? Kerro teknisistä reunaehdoista ja käyttövarmuusfilosofiasta. Muista sekä vaihto- että tasasähköjohdot.
2. Tämä tehtävä käsittelee verkon maadoittamista ja maasulkuja.
 - a) Miksi epäsymmetrisiä vikoja lasketaan symmetrisillä komponenteilla?
 - b) Sähköasemalle tulee maasulku. Verkon Theveninin impedanssit ovat seuraavat: $Z_0 = j44,1$ Ohm, $Z_1 = j26,5$ Ohm ja $Z_2 = j24,7$ Ohm. Vika sattuu vaiheessa A, vikaimpedanssi on nolla ja vikapaikan jännite ennen vikaa on 390 kV. Laske vikavirta fysikaalisina arvoina tai suhteellisarvoina, jossa perusteho on 100 MVA ja perusjännite 400 kV.
 - c) Sähköasemalle tulee 3-vaiheinen oikosulku. Verkon Theveninin impedanssit ovat seuraavat: $Z_0 = j44,1$ Ohm, $Z_1 = j26,5$ Ohm ja $Z_2 = j24,7$ Ohm. Vikaimpedanssi on nolla ja vikapaikan jännite ennen vikaa on 390 kV. Laske vikavirta fysikaalisina arvoina tai suhteellisarvoina, jossa perusteho on 100 MVA ja perusjännite 400 kV.
 - d) Vertaile Yy- ja Dy-kytkentäisten muuntajien nollaverkkoja nollavirran kulun kannalta.
 - e) Miten muuntajien tähtipisteen maadoittaminen tai maadoittamatta jättäminen vaikuttaa maasulkuvirran suuruuteen.
3. Transienttistabiiliutta voidaan parantaa siten, että kun verkkoon sattuu oikosulku, turpiinin höyryä päästetään nopeasti pois avaamalla venttiilit. Tällaista kutsutaan englanniksi nimellä "fast valving" ja sellainen on tulossa Olkiluodon uuteen ydinvoimalaitokseen. Tämä pienentää turpiinin antamaa mekaanista tehoa. Tarkastellaan alla kuvattua tilannetta. Generaattorin hitausvakio $H = 4$ s, sisäinen jännite vian alkaessa on $E' = 1,3$ pu ja teho $P = 2,5$ pu. Muut arvot ovat: $U = 1,0$ pu, $X_d' = 0,1$ pu, $Z_T = 0,1j$ pu, $X_1 = 0,4$ pu ja $X_2 = 0,1$ pu.

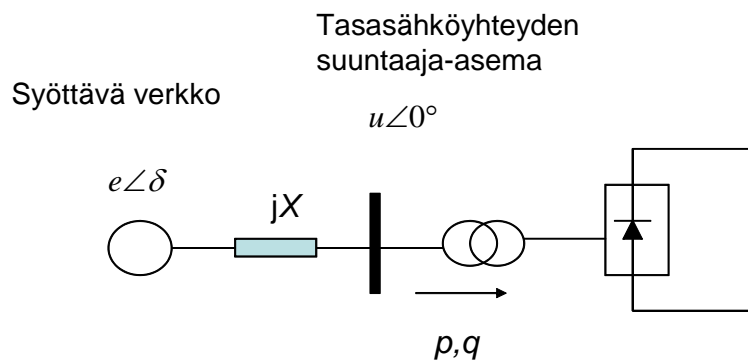


- a) 3-vaiheinen oikosulku sattuu johdolla aivan lähellä katkaisijaa 3 (johdon puolella) ja vian takia generaattori alkaa kiihtyä. Vika erotetaan verkosta avaamalla katkaisijat 3 ja 4. Mikä on tehokulma (jännitteiden \underline{U} ja \underline{E}' välinen kulma) vian alkamishetkellä?
- b) Onko a)-kohdan mukainen tilanne stabiili, jos vika erotetaan kyllin nopeasti, mutta venttiilejä ei avata? Millä tehokulman arvolla vika pitää tällöin erottaa?
- c) 3-vaiheinen oikosulku sattuu johdolla aivan lähellä katkaisijaa 3 ja generaattori alkaa kiihtyä. Nyt avataan turpiinin venttiilit ja päästetään höyryä ulos ja näin alennetaan generaattorin mekaanista tehoa. Tämä tehon alennus voidaan mallintaa siten, että generaattorin mekaaninen teho laskee neljäsosaan vikaa edeltävästä arvosta, kun generaattori on kiihtynyt 10° (vastaa kulmaa δ_1 seuraavassa kuvassa). Katkaisijat 3 ja 4 avautuvat kun kulma on 87° . Onko tilanne stabiili? c)-kohdan tilanne on alla olevan mukainen ja kulma δ_1 on se kulma, missä mekaaninen teho pienenee.



4. Tutkitaan alla olevan kuvan mukaista heikkoon verkkoon kytkettyä suurjännitteistä tasasähköyhteyttä. Tässä tapauksessa syöttävän verkon impedanssi (Theveninin impedanssi, kuvassa jX) on $j0,625$ pu, joten verkon oikosulkuteho nimellisjännitteellä on $e^2/0,625 = 1/0,625 = 1,6$ pu. Tasasähköyhteyden teho on $1,0$ pu, joten oikosulkusuhte on tässä tapauksessa $1,6$. Oikosulkusuhte (short circuit ratio) tarkoittaa järjestelmän oikosulkutehon suhdetta laitteen tehoon. Tasasähköyhteyden päte-teho on 1 pu ja loisteho on $0,6$ pu.

- a) Laske syöttävän verkon Theveninin jännite e , kun tasasähköyhteyden suuntaaja-aseamalla jännite pidetään arvossa 1 pu. Mitä tapahtuu suuntaaja-aseaman jännitteelle, jos tasasähköyhteys yhtäkkiä irtoaa verkosta?
- b) Miten tilanne muuttuu, jos tasasähköyhteys liitetään niin vahvaan verkkoon, että syöttävän verkon Theveninin impedanssi on $0,2$ pu? Mikä on tällöin syöttävän verkon oikosulkuteho? Mikä on oikosulkusuhte? Miten käy suuntaaja-aseaman jännitteelle, jos tasasähköyhteys irtoaa verkosta?



Yhtälöitä:

$$\cosh(\alpha + j\beta) = \frac{1}{2}(e^{\alpha+j\beta} + e^{-\alpha-j\beta}) = \frac{1}{2}(e^{\alpha} \cdot e^{j\beta} + e^{-\alpha} \cdot e^{-j\beta}) = \frac{e^{\alpha}}{2} \angle \beta + \frac{e^{-\alpha}}{2} \angle -\beta$$

$$\sinh(\alpha + j\beta) = \frac{1}{2}(e^{\alpha+j\beta} - e^{-\alpha-j\beta}) = \frac{1}{2}(e^{\alpha} \cdot e^{j\beta} - e^{-\alpha} \cdot e^{-j\beta}) = \frac{e^{\alpha}}{2} \angle \beta - \frac{e^{-\alpha}}{2} \angle -\beta$$

$$\underline{A} = \cosh \underline{\gamma s} \quad \underline{B} = \underline{Z}_0 \sinh \underline{\gamma s} \quad \underline{C} = \frac{\sinh \underline{\gamma s}}{\underline{Z}_0}$$

Heilahteluyhtälö suhteellisarvona:

$$\frac{2H}{\omega_s} \omega_{pu}(t) \frac{d^2 \delta}{dt^2} = p_m(t) - p_e(t)$$

Johdon kuluttama loisteho:

$$Q_1 + Q_2 = \frac{U_1^2}{X} + \frac{U_2^2}{X} - 2 \frac{U_1 U_2}{X} \cos \delta - \frac{B U_1^2}{2} - \frac{B U_2^2}{2} \approx 2 \frac{U^2}{X} (1 - \cos \delta) - B U^2$$

Johdon loppupään jännite u_2 , kun johdon alkupään jännite $e = 1$ pu

$$u = \sqrt{\frac{(1 - 2xp \tan \phi) \pm \sqrt{1 - 4xp \tan \phi - 4x^2 p^2}}{2}}$$

Symmetriset komponentit:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_A \\ \underline{U}_B \\ \underline{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_{A0} \\ \underline{U}_{A1} \\ \underline{U}_{A2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_{A0} \\ \underline{U}_{A1} \\ \underline{U}_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_A \\ \underline{U}_B \\ \underline{U}_C \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_{A1} = \underline{E}_A - \underline{Z}_1 \underline{I}_{A1}$$

$$\underline{U}_{2A} = -\underline{Z}_2 \underline{I}_{A2}$$

$$\underline{U}_{0A} = -\underline{Z}_0 \underline{I}_{A0}$$