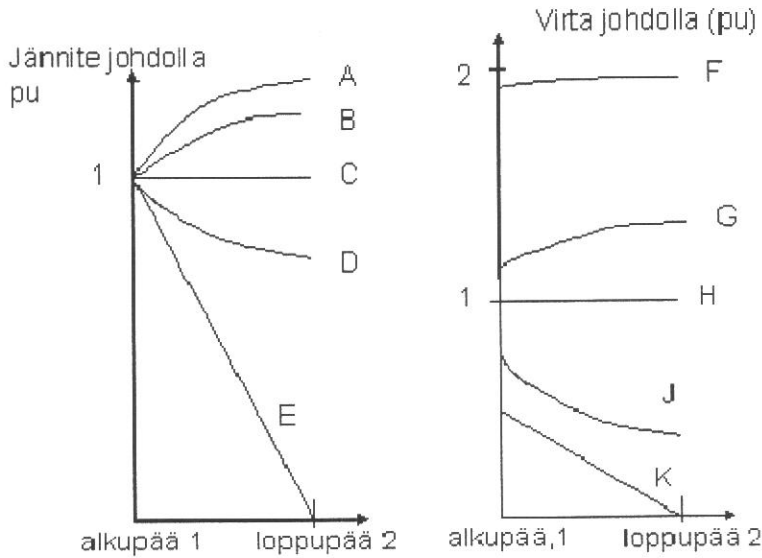


1. Tutkitaan pitkää voimajohtoa ja alla lueteltuja tilanteita. Johdon alkupää on jäykässä verkossa eli sen jännite pysyy vakiona (1,0 pu).

- a) Johto on tyhjäkäynnissä.
- b) Johdon läpi virtaa luonnollinen teho.
- c) Johdon läpi virtaava teho on pienempi kuin luonnollinen teho.
- d) Johdon loppupäässä on 3-vaiheinen oikosulku.
- e) Johdon läpi virtaava teho on suurempi kuin luonnollinen teho.

Tee taulukko, jossa yhdistät yllä luetellut tilanteet alla olevan kuvan käyriin ja selitä, miksi virta ja jännite ovat kuvan mukaiset.

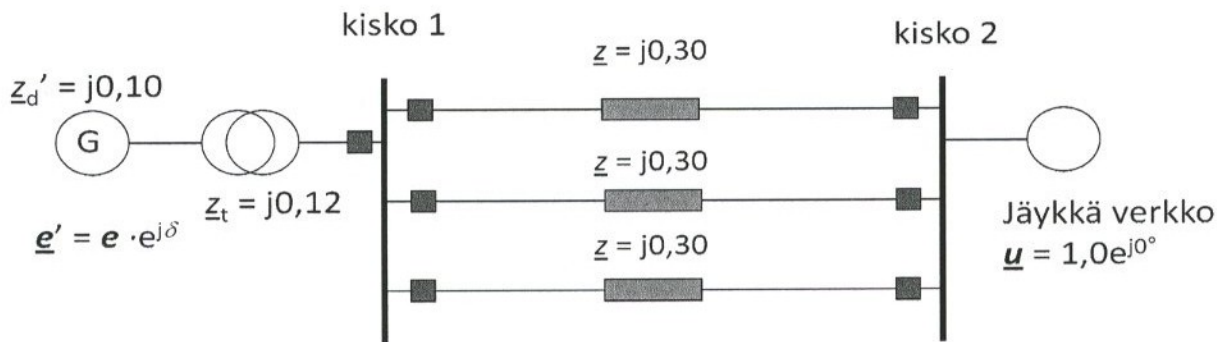


2. Tutkitaan 400 kV:n käytössä olevaa 2-Finch-teräsalumiinijohtoa, jonka pituus on 200 km. Johdon induktanssi pituutta kohti on 1,04 mH/km ja johdon kapasitanssi pituutta kohti on 11,4 nF/km.

- a) Laske johdon luonnollinen teho ja luonnollista tehoa vastaava virta, kun jännite on 410 kV.
- b) Laske johdon loistehotaseet 410 kV:n jännitteellä, kun johdolla siirretään 213 MW ja 639 MW. Laske 1- ja 3-vaiheiset tehot.

3. Vertaile tasa- ja vaihtosähköyhteyksillä toteutettua siirtojohtoa keskenään. Luettele kummankin hyviä ja huonoja puolia. Vertaa myös jännitelähdesuunnatulla ja verkkokommutoivaa tasasähköyhteyttä keskenään. Miksi valtaosa johdoista on toteutettu vaihtosähköllä? Mihin tapauksiin tasasähkö on ainoa vaihtoehto?

4. Tarkastellaan alla kuvattua tilannetta. Generaattorin sisäinen jännite vian alkaessa on  $e' = 1,4$  pu ja teho  $p = 2$  pu. Muut arvot ovat:  $u = 1,0$  pu,  $z_d' = j0,1$  pu,  $z_T = j0,12$  pu,  $z_{\text{johto}} = j0,3$  pu. Generaattorin hitausvakio  $H = 4$  s.



Kahdella johdolla sattuu yhtä aikaa 3-vaiheinen oikosulku ja vian takia generaattori alkaa kiihtyä. Oletetaan, että vian aikana tehokulmakäyrän maksimiarvo on 10 % ehjän verkon tehokulmakäyrän maksimiarvosta. Vikaantunut johto erotetaan verkosta suojarleiden toimittua. Generaattori on tänä aikana kiihtynyt 22,8 astetta. Pikajälleenkytkentää ei käytetä.

- Mikä on tehokulma (generaattorin sisäisen jännitteen  $\underline{e}'$  ja jäykän verkon jännitteen  $\underline{u}$  välinen kulma) vian alkamishetkellä?
- Tarkastele pinta-alakriteerin avulla, onko tilanne  $N - 2$  vian jälkeen stabiili eli kestääkö järjestelmä kahden johdon irtoamisen. Piirrä kuva, jossa esität pinta-alakriteerin tehokulmakäyrät ja mukaiset pinta-alat.
- Laske onko tilanne stabiili, jos vain yhteen johtoon tulee vika ja vikaantunut johto irrotetaan 0,1 sekunnin kuluttua. Tässä voit olettaa, että sähköinen teho on nolla vian aikana ja että stabiiliuden varmistamiseksi hidastavan pinta-alan on oltava 20 % suurempi kuin kiihdyttävän pinta-alan.

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

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

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

Heilahtelyyhtälö 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:

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

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

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

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

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

$$\underline{a} = 1 \angle 120^\circ = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \underline{a}^2 = 1 \angle -120^\circ = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\underline{a} + \underline{a}^2 = -1 \quad -\underline{a} - \underline{a}^2 = 1 \quad \underline{a} - \underline{a}^2 = j\sqrt{3} \quad -\underline{a} + \underline{a}^2 = -j\sqrt{3}$$

$$\underline{a}^2 - 1 = j\sqrt{3}\underline{a} \quad 1 - \underline{a}^2 = -j\sqrt{3}\underline{a} \quad \underline{a} - 1 = -j\sqrt{3}\underline{a}^2 \quad 1 - \underline{a} = j\sqrt{3}\underline{a}^2$$

$$\underline{u}_k^{(i+1)} = \frac{1}{\underline{Y}_{kk}} \left\{ \frac{\underline{S}_k^*}{\underline{u}_k^{*(i)}} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \underline{Y}_{kj} \underline{u}_j^{(i)} \right\},$$

missä  $n$  on solmujen lukumäärä ja  $i$  on iteraatiokierrosten lukumäärä.