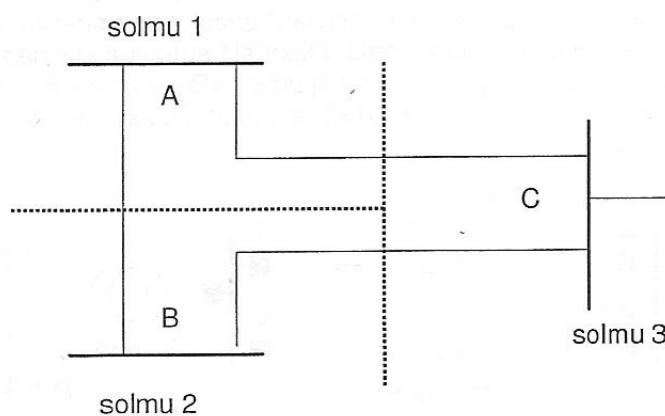


Vastaa enintään viiteen tehtävään. Muista kirjoittaa vastauspaperiin, jos teit siirtokapasiteettiesityksen ja saat siitä 3 pistettä.

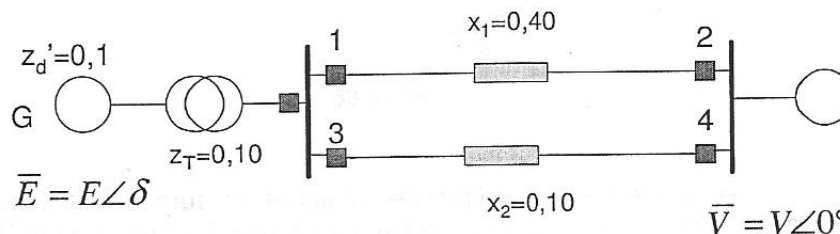
1.1. Alla olevan kuvan mukaisessa verkossa on ongelmia, jotka eivät välttämättä esiinny yhtä aikaa. Valitse sopivia toimenpiteitä, joilla ongelma saadaan poistettua eli mitä tehdään ja minne. Huomaa, että johonkin ongelmaan voi olla useita sopivia vaihtoehtoja, mutta yksi oikea vastaus perusteluineen kuhunkin ongelmaan riittää oikeaan vastaukseen. Vääristä vastauksista ei sakoteta, koska kyseessä ei ole monivalintatehtävä.

- 1) Yhtiö A myy sähköä yhtiölle B, ja yhtiö C ilmoittaa, että liian suuri osa tästä tehosta menee solmun 3 kautta.
- 2) Yhtiö A ilmoittaa että sillä on liian korkea jännite solmussa 1.
- 3) Yhtiö C ilmoittaa, että jännite solmussa 3 on liian alhainen.
- 4) Yhtiö A myy sähköä yhtiölle B. Verkostolaskelmat osoittavat, että tällaisessa tilanteessa johdon 1-2 irtoaminen romahduttaa järjestelmän jännitestabiiliuden takia.
- 5) Tiettyjen vikojen jälkeen generaattorit solmuissa 1 ja 2 alkavat heilahtella solmun 3 generaattoreita vasten, eivätkä heilahtelut vaimene.
- 6) Johtojen siirtokyky ei riitä tulevaisuudessa, koska solmuun 2 on tulossa loistehokuormaa niin paljon, että solmun loisteho tulee olemaan lähes yhtä suuri kuin pätöteho.

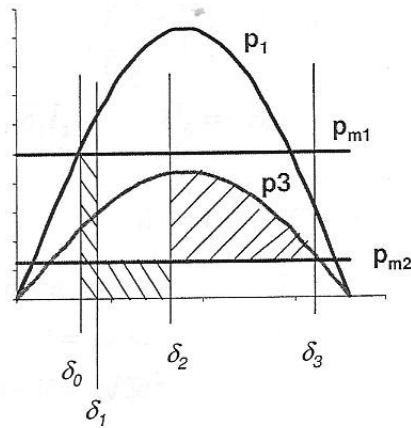
Esimerkkitoimenpiteitä: rinnakkaiskondensaattori, rinnakkaisreaktori, sarjakondensaattori, uusi johto, uusi generaattori, stabilointisäätö generaattoreihin. Voit keksiä muitakin toimenpiteitä.



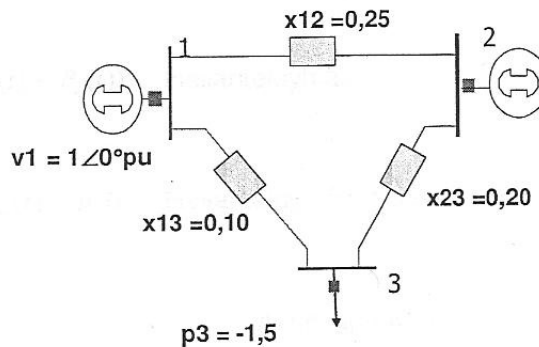
- 1.2. Kerro siirtokapasiteettiin vaikuttavista asioista (terminen kapasiteetti, stabiilius, käyttövarmuus). Kerro myös, miten kussakin tapauksessa siirtokapasiteettia voidaan kasvattaa. Miten johdon pituus vaikuttaa siirtokapasiteettiin? Mikä on verkkosuoja? Mainitse vähintään yksi esimerkki verkkosuojasta.
- 1.3. 520 km pitkän 400 kV 2-Finch teräsalumiinijohdon aaltoimpedanssi Z_{SIL} on $304,1 \angle -2,1^\circ \Omega$ ja etenemiskerroin pituutta kohti (γ) on $1,09 \cdot 10^{-3} \angle 87,57^\circ 1/km$.
- Määritä johdon yleiset siirtovakiot **A**, **B**, **C** ja **D** ja ilmoita miten lasket johdon alkupään jännitteen (U_1) ja virran (I_1) loppupään jännitteen U_2 ja loppupään virran I_2 funktiona.
 - Johdon alkupää on jäykässä verkossa ja sen jännite on nimellinen (400 kV) ja johdon loppupää on auki. Mikä on loppupään jännitteen itseisarvo? Onko tämä hyväksyttävä tilanne?
 - Johdon alkupää on jäykässä verkossa (400 kV) ja loppupäässä on 3-vaiheinen oikosulku, jonka vikaimpedanssi on nolla. Mikä on oikosulkuvirta johdon loppupäässä ja alkupäässä?
- 1.4. 3-vaiheisessa oikosulkuviassa tiedetään, että vika on asemien G ja H välisellä johdolla ja että katkaisija on auennut asemalla H. Tiedetään johdon reaktanssi X , johdon pituus sekä häiriötallentimen tai releen asemalla G mitaama vaihejännite U_v ja vikavirta I_v . Johdon resistanssia ei oteta huomioon. Oletetaan, että vikaimpedanssi on nolla ja että johdon reaktanssi/pituus on vakio. Miten lasket vikapaikan?
- 1.5. Transienttistabiiliutta voidaan parantaa siten, että kun verkkoon sattuu oikosulku, turpiinin höyryä päästetään nopeasti pois avaamalla venttiilit. Tämä pienentää turpiinin antamaa mekaanista tehoa. (Tällaista kutsutaan englanniksi nimellä "fast valving" ja sellainen on tulossa Olkiluodon uuteen ydinvoimalaitokseen.) 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: $V=1,0$ pu, $X_d'=0,1$ pu, $X_T=0,1$ pu, $X_T=0,4$ 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 V ja E välinen kulma) vian alkamishetkellä?
- b) Onko tilanne stabiili, jos a-kohdan 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 vika edeltävästä arvosta, kun generaattori on kiihtynyt 10° (kohda δ_1 kuvassa). Katkaisijat 3 ja 4 avautuvat kun kulma (δ_2) on 87° . Onko tilanne stabiili? c)-kohdan tilanne on alla olevan mukainen ja kulma δ_3 on se kulma, millä pienennetty mekaaninen teho ja vian selvittämisen jälkeinen sähköinen teho ovat yhtä suuret.



Tutkitaan kuvan verkkoa.



- a) Luokittele solmut PV, PQ ja V θ -solmuiksi. Perustele valintasi.
- b) Miten luokittelisit kuormasolmun, jossa on nopea loistehon kompensattori, joka pitää jännitteen vakiona?
- c) Laadi kuvan verkosta Y-matriisi.

Kaavoja:

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

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

$$\sinh x = \sinh\left(\frac{x}{2} + \frac{x}{2}\right) = 2 \sinh \frac{x}{2} \cosh\left(\frac{x}{2}\right) \quad \cosh^2 x - \sinh^2 x = -1$$

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_A \\ \bar{U}_B \\ \bar{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_0 \\ \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{I}_A \\ \bar{I}_B \\ \bar{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_0 \\ \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_A \\ \bar{U}_B \\ \bar{U}_C \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_A \\ \bar{I}_B \\ \bar{I}_C \end{bmatrix}$$

$$\bar{U}_1 = \bar{E}_A - \bar{Z}_1 \bar{I}_1 \quad \bar{U}_2 = -\bar{Z}_2 \bar{I}_2 \quad \bar{U}_0 = -\bar{Z}_0 \bar{I}_0$$

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

$$\begin{aligned} \bar{a} + \bar{a}^2 &= -1 & -\bar{a} - \bar{a}^2 &= 1 & \bar{a} - \bar{a}^2 &= j\sqrt{3} \\ -\bar{a} + \bar{a}^2 &= -j\sqrt{3} & \bar{a}^2 - 1 &= j\sqrt{3}\bar{a} & 1 - \bar{a}^2 &= -j\sqrt{3}\bar{a} \\ \bar{a} - 1 &= -j\sqrt{3}\bar{a}^2 & 1 - \bar{a} &= j\sqrt{3}\bar{a}^2 \end{aligned}$$

$$\bar{A} = \bar{D} = \cosh \bar{\gamma} s \quad \bar{B} = \bar{Z}_c \sinh \bar{\gamma} s \quad \bar{C} = \frac{\sinh \bar{\gamma} s}{\bar{Z}_c}$$

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{\omega_s^2}{2HS_N \cdot \omega(t)} (P_m(t) - P_e(t)) \quad \text{Heilahtelu yhtälö}$$

$$\omega(t) \cdot \frac{2HS_N}{S_b \cdot \omega_s^2} \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} = p_m(t) - p_e(t) \quad \text{Heilahtelu yhtälö suhteellisarvoina}$$

$$\text{Etenemiskerroin } \gamma = \sqrt{zy}$$

$$\text{Aaltoimpedanssi } Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}}$$

$$\text{Johdolle (johdon päästä 2) menevä loisteho } Q_2 = \frac{U_2^2 - U_1 U_2 \cos \delta}{X}$$

$$\text{Johdolle (johdon päästä 1) menevä loisteho } Q_1 = \frac{U_1^2 - U_1 U_2 \cos \delta}{X}$$