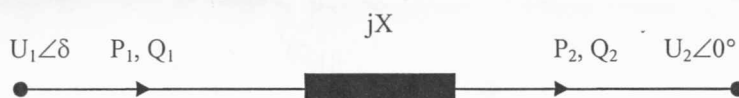


Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta

- 1) Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin. Perustele vastauksesi lyhyesti.
 - a) Avojohtojen myötä- ja vastaimpedanssi ovat aina yhtä suuria
 - b) Nippujohtimien avulla saadaan johdon kapasitanssi ja induktanssi yhtä suuriksi jokaisessa vaiheessa
 - c) Siirtoverkon vikapaikan myötä- ja vastaimpedanssi ovat yleensä aina yhtä suuria
 - d) Suhteellisarvoilla laskien 3-vaiheinen teho saadaan lausekkeesta $s = \sqrt{3} \cdot \underline{u} \cdot \underline{i}^*$
 - e) Siirtojohdon luonnollinen teho on suurin johdolla siirrettävissä oleva teho
 - f) Solmupiste-impedanssimatriisi on helppo muodostaa johto- ja muuntajatietojen avulla

- 2) Vastaa seuraaviin silmukoidun siirtoverkon tehonjaon laskentaa koskeviin kysymyksiin.
 - a) Selosta miksi tarvitaan iteratiivinen ratkaisumenetelmä?
 - b) Miksi solmupisteet jaotellaan eri tyyppisiin ja mitkä ovat solmupistetyyppien ominaisuudet?
 - c) Mihin siirtoverkon ominaisuuksiin perustuu yksinkertaistettu Newton-Raphson (fast decoupled loadflow) menetelmä?

- 3) **Johda** kuvan 1 johdon alku- ja loppupään 3-vaiheiset pätö- ja loistehojen lausekkeet tehokulman δ (pääjännitteiden \underline{U}_1 ja \underline{U}_2 välinen kulma) funktiona eli niin sanotut yksinkertaistetut tehonsiirtoyhtälöt (Vihje: tämä onnistuu sijaiskytkennän perusteella tai liitteen tehonsiirtokaavojen soveltamisella).



Kuva 1.

- 4) Suhteellisarvoina lausuttu myötäverkon solmupisteimpedanssimatriisi \mathbf{Z}_{1-bus} on seuraava:

$$\mathbf{Z}_{1-bus} = \begin{bmatrix} j0.30 & j0.018 & j0.02 \\ j0.018 & j0.12 & j0.04 \\ j0.02 & j0.04 & j0.25 \end{bmatrix} pu$$

Verkon jännitteet ennen vikaa ovat $\underline{V} = 1.0 \angle 0^\circ$ pu. Solmupisteessä 2 tapahtuu 3-vaiheinen oikosulku vikaimpedanssin $\underline{Z}^f = j0.25$ pu kautta. Laske vikavirran suuruus ja solmupisteiden 2 ja 3 jännitteet vian aikana.

- 5) Johto kytketään jännitteiseksi jäykästä verkosta, jonka pääjännite on 400 kV. Laske johdon loppupään pysyvän tilan jännite kytkennän jälkeen. Kuinka suuri reaktori on oltava kytkettynä johdon loppupäässä, jotta jännite ei ylitä arvoa 420 kV? Johdon parametrit ovat: pituus $l = 350$ km, $r = 0.026 \Omega/\text{km}$, $x = 0.33 \Omega/\text{km}$, $g = 0$ ja $b = 4.0 \mu\text{S}/\text{km}$. Pitkän johdon yhtälöitä ei tarvitse käyttää.

$$\underline{V}_2 = \underline{V}_1 - \frac{\underline{Z}_{23}}{\underline{Z}_{22}} \underline{V}_1 =$$

Keskipitkän johdon π -sijaiskytkennän siirtovakiot

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_S \\ \underline{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{I}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{\underline{ZY}}{2} & \underline{Z} \\ \underline{Y} \left(1 + \frac{\underline{ZY}}{4} \right) & 1 + \frac{\underline{ZY}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{I}_R \end{bmatrix}$$

Pitkän johdon siirtovakiot. \underline{Z}_C = aaltoimpedanssi, $\underline{\gamma}$ = etenemiskerroin ja l = etäisyys johdon lopusta.

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_S \\ \underline{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{I}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\underline{\gamma} \cdot l) & \underline{Z}_C \cdot \sinh(\underline{\gamma} \cdot l) \\ \frac{\sinh(\underline{\gamma} \cdot l)}{\underline{Z}_C} & \cosh(\underline{\gamma} \cdot l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_R \\ \underline{I}_R \end{bmatrix}$$

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

$$P_R = \frac{|V_S| |V_R|}{|B|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|A|}{|B|} |V_R|^2 \cos(\beta - \alpha)$$

$$Q_R = \frac{|V_S| |V_R|}{|B|} \sin(\beta - \delta) - \frac{|A|}{|B|} |V_R|^2 \sin(\beta - \alpha)$$

Tarkan π -sijaiskytkennän korjatut \underline{Z}' ja $\underline{Y}'/2$ ovat:

$$\underline{Z}' = \underline{Z} \cdot \frac{\sinh(\underline{\gamma} \cdot l)}{\underline{\gamma} \cdot l} \quad \text{ja} \quad \frac{\underline{Y}'}{2} = \frac{\underline{Y}}{2} \cdot \frac{\tanh(\underline{\gamma} \cdot l / 2)}{\underline{\gamma} \cdot l / 2}$$

Symmetristen komponenttien muunnokset $abc \Rightarrow 120$ ja $120 \Rightarrow abc$

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

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)

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

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

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

2-v. oikosulku vikavirran lauseke

$$\underline{I}_{a1} = -\underline{I}_{a2} = \frac{\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}^f} \quad \underline{I}_b = -\underline{I}_c = \frac{-j\sqrt{3}\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}^f}$$

2-v. maaosulku vikavirran lauseke

$$\underline{I}_{a1} = \frac{\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2(\underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f)}{\underline{Z}_2 + (\underline{Z}_0 + 3\underline{Z}^f)}}$$