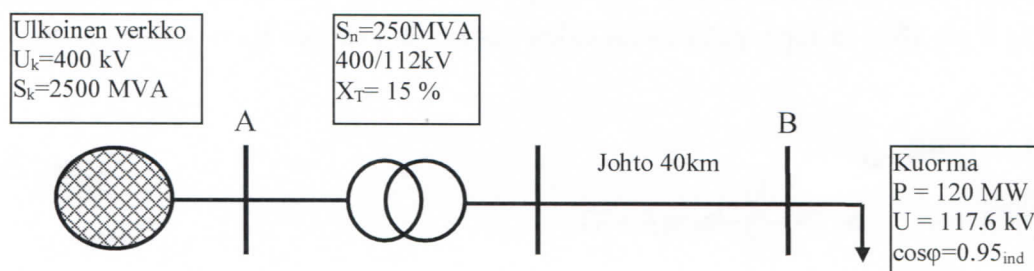


- 1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin (a ja b-kohta 1p. c ja d 2p.)
- Miksi suurjännitteiset avojohdot täytyy rakentaa käyttämällä johdon vuorottelua?
 - Mitä etuja nippujohtimien käytöllä saavutetaan?
 - 50 Hz avojohdon reaktanssi on $87,0 \Omega$ ja susceptanssi $1212 \mu\text{S}$. Laske johdon induktanssi ja kapasitanssi.
 - Selosta siirtoverkossa Suomessa käytettäviä maadoitusratkaisuja ja miksi näin tehdään?

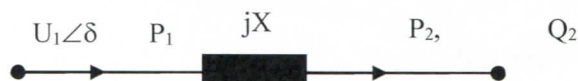
2) Tarkastellaan kuvan 1 mukaista verkkoa. Kuorman jännite pysyy arvossa $117,6 \text{ kV}$ ja johto on tyypiltään 2*2-Duck $Z = (0,048 + j0,274) \Omega/\text{km}$. Muodosta verkolle suhteellisarvot käyttäen perustehona arvoa $S_b = 100 \text{ MVA}$ ja perusjännitteenä pisteessä B arvoa $U_{Bb} = 120 \text{ kV}$.

- Laske pisteen A jännite suhteellisarvoilla
- Laske johdon pätö- ja loistehohäviöt



Kuva 1.

- 3) Kuva 2 esittää pelkällä reaktanssilla mallinnettua siirtojohtoa
- Johda siirtojohdon alkupään pätö- ja loistehojen lausekkeet tehokulman δ funktiona eli niin sanotut yksinkertaistetut tehonsiirtoyhtälöt (tehokulmayhtälöt)
 - Laske loppupään loisteho, kun ($X = 20 \Omega$) ja alku- ja loppupään jännitteet ovat vastaavasti $\underline{U}_1 = 415,0 \angle 15,0^\circ \text{ kV}$ $\underline{U}_2 = 405,0 \angle 0,0^\circ \text{ kV}$



Kuva 2.

- 4) Vastaa seuraaviin silmukoidun siirtoverkon tehonjaon laskentaa koskeviin kysymyksiin.
- Selosta miksi tarvitaan iteratiivinen ratkaisumenetelmä?
 - Miksi solmupisteet pitää jaotella eri tyypeihin ja mitkä ovat solmupistetyypien

5) Erään verkon Theveninin impedanssit vikapaikasta katsottuna ovat:
 $\underline{Z}_1 = (1 + j5,0) \Omega$, $\underline{Z}_2 = (1 + j4,0) \Omega$, $\underline{Z}_0 = (5 + j20,0) \Omega$. Vikapaikan pääjännite ennen vikaa on $\underline{U}_0^f = 115 \angle -20^\circ \text{ kV}$ ja vikaimpedanssi on 2Ω jokaisessa tapauksessa. Laske

- 3-vaiheisen oikosulun vikavirta
- 2-vaiheisen oikosulun vikavirta
- 1-vaiheisen maasulun vikavirta

Keskipitkän johdon π -sijaiskytkennän siirtovakiot

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

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

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

jossa $\underline{\gamma}$ on etenemiskerroin ja l johtopituus.

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

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

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

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

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

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. maaosikosulku vikavirran lauseke vaihevirtojen lauseketta ei tarvita

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