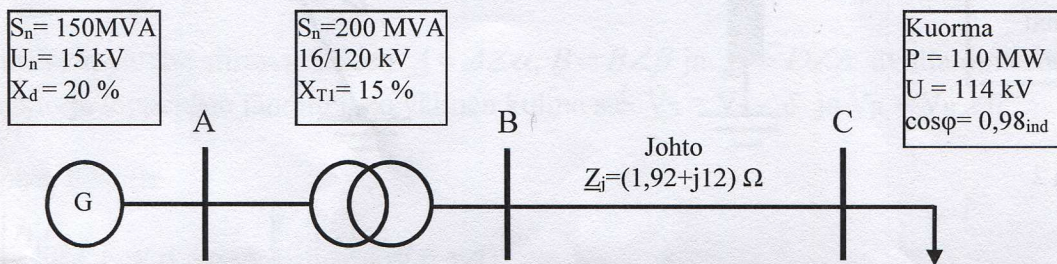


- 1) Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin. Perustelu 0,75 p ja oikea vastaus 0,25 p
- Tehonjaon ratkaisussa vertailupisteen jännite on asetettava arvoon 1.0 pu
  - Jos lyhyen johdon impedanssi on  $\underline{Z}$ , niin siirtovakio  $\underline{A} = 1$  ja siirtovakio  $\underline{B} = \underline{Z}$
  - Avojohtojen nippujohtimet pienentävät johdon resistanssia
  - Fingridin verkossa on n. 4500 km 400 kV avojohtoa, joiden susceptanssi on n. 4  $\mu\text{S}/\text{km}$ . Tyhjäkäynnissä verkko tuottaisi n. 2880 MVA<sub>r</sub> loistehoa
- 2) Muodosta kuvan 1 verkolle suhteellisarvot käyttäen perustehona arvoa  $S_b = 100 \text{ MVA}$  ja perusjännitteenä pisteessä C arvoa  $U_{bC} = 120 \text{ kV}$ . Laske tämän jälkeen pisteen A jännite suhteellisarvona, kun pisteen C jännite on vakio 114 kV.



Kuva 1

- 3) Oletetaan, että 50 Hz taajuudella 50 km pitkän 110 kV avojohdon resistanssi ja konduktanssi ovat nolliä. Johdon reaktanssi on 0,41  $\Omega/\text{km}$  ja luonnollinen teho on 31,66 MW. Laske kyseisen johdon
- Aaltoimpedanssi ja etenemiskerroin
  - Induktanssi (H) ja kapasitanssi (F) kilometriä kohden
  - Miten luonnollinen teho muuttuisi, jos ko. johto olisi 25 km pitkä?
- 4) 200 km pitkän johdon loppupäässä on kuorma 750 MW, tehokerroin  $\cos\varphi = 0,98_{\text{kap}}$  ja pääjännite on vakio 410 kV. Johdon arvot ovat:  $r = 0,017 \Omega/\text{km}$ ,  $x = 0,291 \Omega/\text{km}$  ja  $b = 4,04 \mu\text{S}/\text{km}$ . Laske johdon alkupään pätö- ja loisteho, kun johdon mallina käytetään  $\pi$ -sijaiskytkentää.



Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

- 5) Kuvan 2 esittämässä tilanteessa ulkoinen verkko syöttää 110 kV johtoa. On laskettava virrat ja jännitteet, kun 4 km:n etäisyydellä muuntajasta sattuu maasulku a-vaiheessa. Jännite ennen vikaa on 115 kV. Muuntajan tähtipiste on maadoitettu maadoituskuristimen kautta.

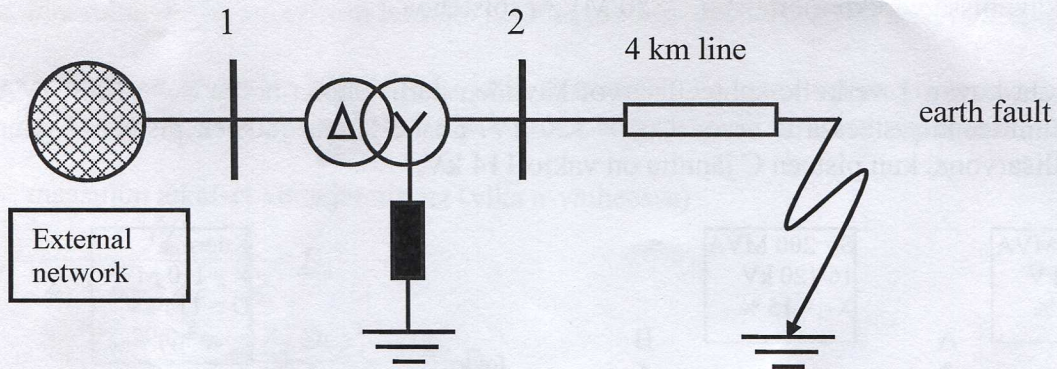
Ulkoinen verkko: 400 kV laskentajännitteellä vikavirrat:

3-v. vikavirta  $I_{k3} = 12 \angle -80^\circ \text{ kA}$  ja 1-v. vikavirta  $I_{k1} = 4 \angle -10^\circ \text{ kA}$

Muuntaja: 400/115.47 kV, 400 MVA,  $x_1 = 15 \%$ ,  $x_0 = 12 \%$ , kytkentä Dyn11

Maadoituskuristin 110 kV:n puolella:  $X = 5 \Omega$

110 kV avojohto, myötäreaktanssi  $x = 0,4 \Omega/\text{km}$ , nolhareaktanssi:  $x_0 = 1,2 \Omega/\text{km}$



Kuva 2



Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

Keskipitkän johdon  $\pi$ -sijaiskytkennän siirtovakiot

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

Tarkan  $\pi$ -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  $\delta$  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

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

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



Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

### 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

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