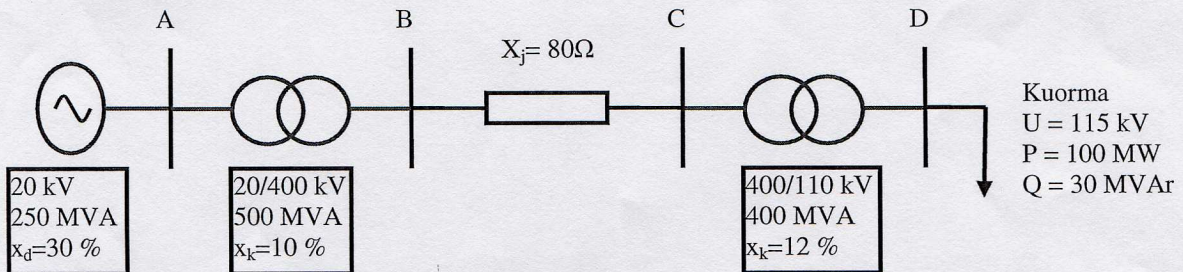


Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta

- 1) Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin. Vastauksen perustelu on tärkeä!
  - a) Nippujohdin pienentää johdon induktanssia
  - b) Solmupisteadmittanssimatriisin lävistäjäalkio voi olla nolla
  - c) Avojohtojen vasta- ja nollaimpedanssi ovat aina yhtä suuria
  - d) Tehonjaon laskennassa tarvitaan aina vertailupiste
  - e) Siirtoverkon siirtokykyä rajoittaa harvoin laitteiden lämpenemä
  - f) 1-vaiheinen vikavirta voi olla suurempi kuin 3-v. vikavirta
  
- 2) 400 kV avojohdon ( $f=50\text{Hz}$ ) resistanssi on  $r=2\ \Omega$ , induktanssi  $L=0.1\ \text{H}$  sekä kapasitanssi  $8\ \text{F}$ . Laske johdon
  - a) reaktanssi
  - b) impedanssi
  - c) admittanssi
  - d) susceptanssi
  - e) luonnollinen teho
  - f) tuottama loisteho tyhjäkäynnillä
  
- 3) Muodosta kuvan 1 verkolle suhteellisarvot käyttäen perustehona arvoa  $S_b = 100\ \text{MVA}$  ja perusjännitteenä pisteessä B arvoa  $U_{bB} = 400\ \text{kV}$ . Laske suhteellisarvoilla pisteen A jännite, kun pisteen D jännite on vakio  $115\ \text{kV}$ .



Kuva 1.

- 4) 400 kV johdon parametrit ovat:  $r = 0.026\ \Omega/\text{km}$ ,  $x = 0.33\ \Omega/\text{km}$ ,  $g=0$  ja  $b = 3.57\ \mu\text{S}/\text{km}$ . Johdon pituus on  $200\ \text{km}$ . Johdon loppupäässä on  $P = 500\ \text{MW}$  kuormitus, jonka tehokerroin on  $\cos\phi = 0.97_{\text{ind}}$ . Johdon loppupään pääjännite pysyy vakiona arvossa  $400\ \text{kV}$ .
  - a) Laske johdon alkupään pääjännite käyttämällä lyhyen johdon sijaiskytkentää
  - b) Laske johdon alkupään pääjännite käyttämällä keskipitkän johdon  $\pi$ -sijaiskytkentää
  - c) Minkälaista johtomallia ko. johdolle pitäisi käyttää?



5) Vastaa myötaverkon solmupisteimpedanssimatriisia koskeviin kysymyksiin.

a) Matriisin ominaisuudet ja muodostamistapoja

b) Myötaverkon solmupisteimpedanssimatriisi  $\underline{Z}_{bus}$  suhteellisarvoina lausuttuna on seuraava.

$$\underline{Z}_{bus} = \begin{pmatrix} j0.30 & j0.08 & j0.04 & j0.07 \\ j0.08 & j0.15 & j0.06 & j0.09 \\ j0.04 & j0.06 & j0.10 & j0.05 \\ j0.07 & j0.09 & j0.05 & j0.12 \end{pmatrix} pu$$

Solmupisteessä 4 sattuu 3-vaiheinen vika, jonka vikaimpedanssi  $\underline{Z}^f = 0.0$  pu. Laske vikavirran suuruus ja vian aikainen jännite solmupisteessä 2, kun ennen vikaa kaikkien solmupisteiden jännite on 1.0 pu.



Keskipitkän johdon  $\pi$ -sijaiskytkennän siirtovakiot

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

Tarkan  $\pi$ -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

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

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



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

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