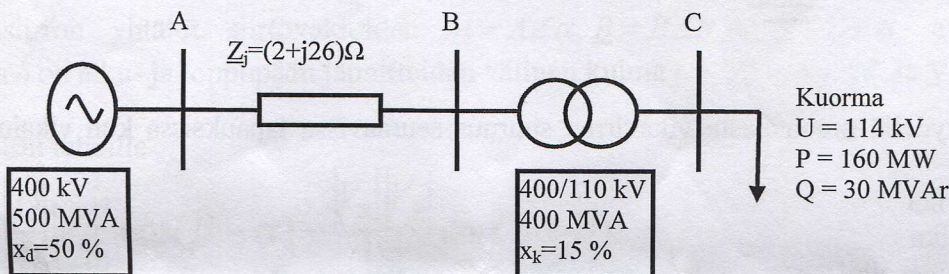




Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta

- 1) Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin. Perustelu 0.75 p ja oikea vastaus 0.25 p
  - a) Vikalaskennassa riittää laskea muutaman sähköaseman vikavirrat
  - b) Muuntajan tai johdon irtoamisen vaikutukset voidaan selvittää tehonjako-ohjelmalla
  - c) Ainoastaan Fingridillä on lupa omistaa ja rakentaa 400 kV verkkoa
  - d) Suomen ja Norjan välillä on kaksi 400 kV johtoa
  - e) Suomen ja Ruotsin välinen tehonsiirto pidetään yleensä vakiona
  - f) Koko 400 kV verkkoa koskeva suurhäiriö on Suomessa viimeksi sattunut 1970-luvulla
- 2) Muodosta kuvan 1 verkolle suhteellisarvot käyttäen perustehona arvoa  $S_b = 100$  MVA ja perusjännitteenä pisteessä C arvoa  $U_{bC} = 118$  kV.
  - a) Laske suhteellisarvoilla pisteen A jännite, kun pisteen C jännite on vakio 114 kV
  - b) Laske generaattorin verkkoon (piste A) syöttämän pätö- ja loistehon suuruus



Kuva 1

- 3) 160 km pitkän 400 kV johdon parametrit ovat:  $r = 0.026 \Omega/\text{km}$ ,  $x = 0.33 \Omega/\text{km}$  ja  $b = 3.57 \mu\text{S}/\text{km}$ . Loppupäässä on kuorma, jonka pätöteho on 700 MW ja loisteho 40 MVar. Johdon loppupään pääjännite pysyy vakiona arvossa 400 kV.
  - a) Kuinka suuri on johdon induktanssi ja kapasitanssi 50 Hz taajuudella?
  - b) Muodosta johdolle sijaiskytkentä (lukuarvoineen) ja perustele miksi käytät kyseistä mallia. Perustelut on oltava järkeviä lähtötietoihin nähden.
  - c) Laske sitten johdon alkupään jännite käyttäen b-kohdassa valitsemaasi mallia
- 4) Vastaa seuraaviin silmukoidun siirtoverkon tehonjaon laskentaa koskeviin kysymyksiin.
  - a) Selosta miksi tarvitaan iteratiivinen ratkaisumenetelmä?
  - b) Mistä saadaan tehonjaon laskennassa iteroinnin alkuarvot ja mille suureille alkuarvot tarvitaan?
  - c) Miksi solmupisteet pitää jaotella eri tyyppisiin ja mitkä ovat solmupistetyyppien ominaisuudet?

jatkuu toisella puolella



5) Kuvassa 2 on 110 kV verkko. Muuntajan tähtipiste on maadoitettu maadoituskuristimen kautta. Muut lähtöarvot ovat seuraavat:

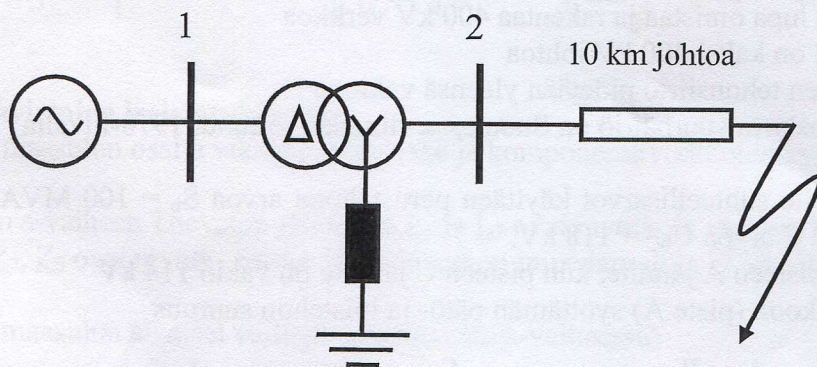
Generaattori: 10 kV, 200 MVA,  $x_1 = 30\%$ ,  $x_2 = 20\%$ ,  $x_0 = 10\%$

Muuntaja: 11/110 kV, 200 MVA,  $x_1 = x_2 = 15\%$ ,  $x_0 = 12\%$

Maadoituskuristin:  $x_n = 20\%$

110 kV avojohto:  $l = 10$  km,  $r = 0.05 \Omega/\text{km}$ ,  $x = 0.40 \Omega/\text{km}$

nollaimpedanssi:  $r_0 = 0.2 \Omega/\text{km}$ ,  $x_0 = 1.6 \Omega/\text{km}$



Kuva 2

Laske 10 km etäisyydellä muuntajasta vikavirran suuruus seuraavissa tapauksissa kun vikaimpedanssi  $Z^f = 2 \Omega$ .

- 3-vaiheinen vika
- 2-vaiheisen vika
- 1-vaiheinen maasulku



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 vaihevirtojen lauseketta ei tarvita

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