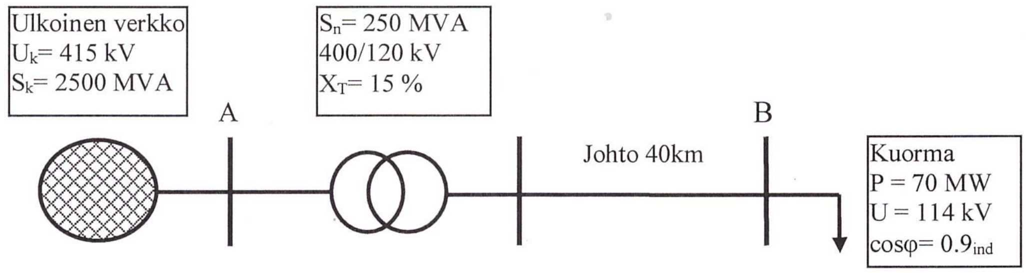
DEE-24000 Sähköverkkojen mallintaminen ja analyysi J. Bastman
TTY Tentti 2.3.2018
Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta

1) Vastaa seuraaviin kysymyksiin
a) Miksi tehonjaon laskennassa joudutaan iteroimaan?
b) Solmupisteadmittanssimatriisin ominaisuudet ja käyttö
c) 50 Hz taajuudella erään 200 km pitkän 400 kV johdon suskeptanssi on 808 μS ja induktanssi 0,185 H. Laske johdon aaltoimpedanssi ja luonnollinen teho.

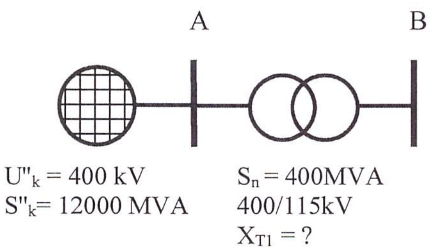
2) Tarkastellaan kuvan 1 verkkoa. 110 kV johdon impedanssi on $\underline{Z} = (0.096+j0.383)\ \Omega$/km.
a) Muodosta verkolle suhteellisarvot käyttäen perustehona arvoa $S_b = 100$ MVA ja perusjännitteenä pisteessä B arvoa $U_{Bb} = 110$ kV.
b) Laske solmun A jännitteen arvo suhteellisena ja todellisena arvona.



Kuva 1.

3) Johdon pituus on 250 km ja sähköiset arvot ovat: r = 0,017 Ω/km, x = 0,29 Ω/km ja b = 4,04 μS/km. Johdon loppupäässä on kuorma 600 MW ja 50 MVAr. Loppupään jännite pysyy vakiona arvossa 395,0 kV. Tehtävässä ei tarvita pitkän johdon teoriaa.
a) Laske johdon alkupään jännite, kun johdon mallina on impedanssi.
b) Laske johdon alkupään jännite, kun johdon mallina käytetään π-sijaiskytkentää.
c) Laske johdon pätö- ja loistehohäviöt käyttäen π-sijaiskytkentää.

4) Kuvan 2 syöttävän verkon alkuoikosulkuteho on $S''_k = 12000$ MVA jännitteellä 400 kV. Mitoita muuntajan T_1 reaktanssi siten, että 3-vaiheinen alkuoikosulkuvirta (laskentajännite 118 kV) kiskossa B on korkeintaan 10,658 kA. Ilmoita muuntajan reaktanssi
a) ohmeina 400 kV:n puolella.
b) suhteellisarvona muuntajan nimellisarvojen suhteen lausuttuna.

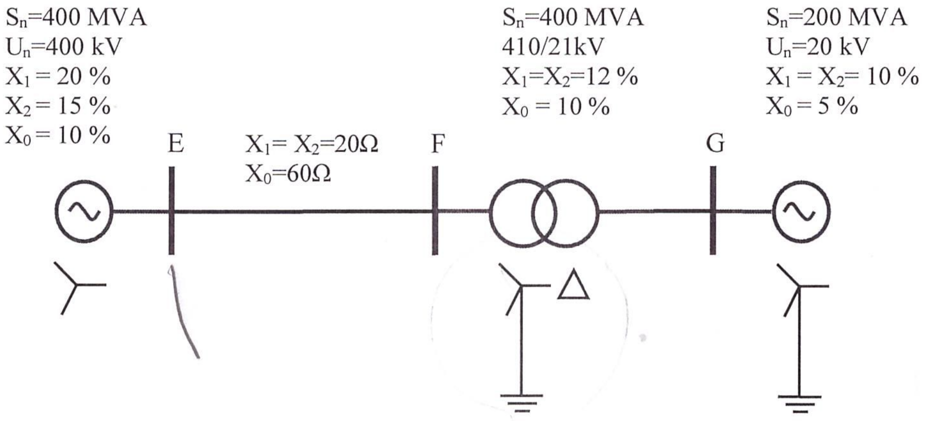


Kuva 2.

5) Kuvan 3 pisteen E pääjännite ennen vikaa on $400\angle 10°kV$ ja pisteen G jännite ennen vikaa $20\angle 0°kV$. Pisteiden E ja F välillä on 400 kV johto, jonka reaktanssit ovat kuvassa.

a) Laske vikavirran suuruus, kun pisteessä E tapahtuu 1-v. maasulku ja vikavastus R = 2 Ω.

b) Laske vikavirran suuruus, kun pisteessä G tapahtuu 1-v. maasulku ja vikaimpedanssi on nolla.



Kuva 3.

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 $\underline{V}_R = V_R\angle 0°$.

Alkupään tehoille

$$P_S = \left|\frac{D}{B}\right| |V_S|^2 \cos(\beta-\alpha) - \frac{|V_S||V_R|}{|B|}\cos(\beta+\delta)$$

$$Q_S = \left|\frac{D}{B}\right| |V_S|^2 \sin(\beta-\alpha) - \frac{|V_S||V_R|}{|B|}\sin(\beta+\delta)$$

Loppupään tehoille

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

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

Symmetristen komponenttien muunnokset abc => 120 ja 120 => abc

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

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)

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

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

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

2-v. oikosulku vikavirran lauseke

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

2-v. maaoikosulku vikavirran lauseke vaihevirtojen lauseketta ei tarvita

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