

Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

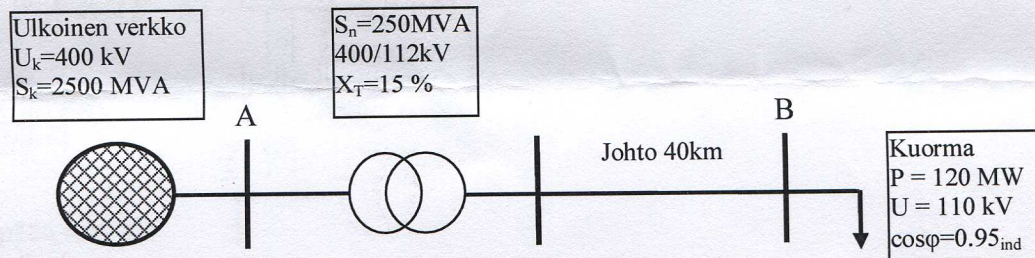
DEE-24000 Sähköverkkojen mallintaminen ja analyysi

J. Bastman

TTY Tentti 3.3.2016

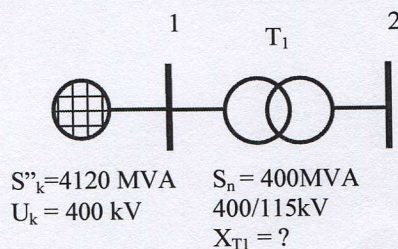
Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta

- 1) Ovatko seuraavat väittämät oikein vai väärin. Perustelu 0.75 p ja oikea vastaus 0.25 p
- a) 2- ja 3-vaiheisen oikosulkuvirran itseisarvojen suhde on $\frac{\sqrt{3}}{2}$, jos vikapaikasta lasketut Theveninin myötä- ja vastaimpedanssit ovat yhtä suuret.
 - b) Generaattorisolmun jännite pysyy aina vakiona tehonjaon laskennassa
 - c) Näennäisteho suhteellisisarvoilla lasketaan lausekkeesta $\underline{s} = \underline{u} \cdot \underline{i}$
 - d) 400 kV avojohdon luonnollinen teho on n. 500 - 600 MW
 - e) Johdon aaltoimpedanssin suuruus ei riipu johdon jännitteestä
 - f) Fingridin verkossa on 4400 km 400 kV avojohtoa, joiden susceptanssi on n. 4 $\mu\text{S}/\text{km}$. Tyhjäkäynnissä verkko tuottaisi n. 500 MVAR loistehoa.
- 2) Tarkastellaan kuvan 1 mukaista verkkoa. Kuorman jännite pysyy arvossa 110 kV ja johto on tyypiltään 2* 2-Duck $\underline{Z} = (0.048 + j0.274) \Omega/\text{km}$. Muodosta verkolle suhteellisarvot käyttäen perustehona arvoa $S_b = 100 \text{ MVA}$ ja perusjännitteenä pisteessä B arvoa $U_{Bb} = 110 \text{ kV}$.
- a) Laske pisteen A jännite suhteellisisarvoilla
 - b) Laske johdon pätö- ja loistehohäviöt



Kuva 1.

- 3) Kuvan 2 syöttävän verkon 3-v. alkuoikosulkuteho on $S''_k = 4120 \text{ MVA}$ jännitteellä 400 kV. Mitoita muuntajan T_1 reaktanssi s.e. 3-v. alkuoikosulkuvirta kiskossa 2 on korkeintaan 8.47 kA. Ilmoita muuntajan reaktanssi
- a) arvo ohmeina 400 kV:n puolella
 - b) suhteellisarvona muuntajan nimellisarvojen suhteen lausuttuna.

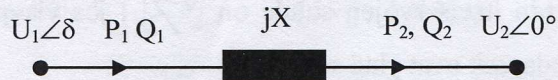


Kuva 2.

jatkuu toisella puolella

Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

- 4) Kuva 3 esittää pelkällä reaktanssilla mallinnettua siirtojohtoa.
- Johda siirtojohdon alku- ja loppupään pätö- ja loistehojen lausekkeet tehokulman δ funktiona eli niin sanotut yksinkertaistetut tehonsiirtoyhtälöt (tehokulmayhtälöt).
 - Laske loppupään loisteho, kun $X = 33 \Omega$ ja alku- ja loppupään jännitteet ovat vastaavasti $\underline{U}_1 = 415.0 \angle 15.0^\circ kV$ $\underline{U}_2 = 405.0 \angle 0.0^\circ kV$



Kuva 3.

- 5) Erään verkon Theveninin impedanssit vikapaikasta katsottuna myötä-, vasta- ja nollaverkossa ovat $\underline{Z}_1 = j5.0 \Omega$, $\underline{Z}_2 = j4.0 \Omega$, $\underline{Z}_0 = j21.0 \Omega$. Vikapaikan pääjännite ennen vikaa on $\underline{U}_0^f = 115 \angle -20^\circ kV$ ja vikaimpedanssi on jokaisessa tapauksessa nolla. Laske
- 3-vaiheisen oikosulun vikavirta
 - 2-vaiheisen oikosulun vikavirta
 - 1-vaiheisen maasulun vikavirta

Opiskelija saa viedä tenttipaperin mukanaan

Keskikipitkän 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

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

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. maaosulku vikavirran lauseke vaihevirtojen lauseketta ei tarvita

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