

## Keskijännitejohdon jännitteen alenema

### Kivirannan johtolähtö

Ei ole mieltä laskea jännitteen alenemaa päämuuntajalta asti vaan lasketaan se MP097: ltä. Xpowerin mukaan jännite muuntamalla MP097 on 20575,8V. Jännitteenalenema muuntamon MP097-MP157 välillä lasketaan AHXAMK-W 4x185S kaapelin mukaan. Jännitteenalenema lasketaan kaavalla 1.

$$U_{hv} = IR_J \cos \varphi + IX_J \sin \varphi \quad (1)$$

Jotta jännitteen alenema voidaan laskea pitää virrasta erottaa pätö- ja loiskikomponentit. Virrat voidaan erotella soveltamalla kaavaa 1.

$$I_p = I \cos \varphi$$

$$I_Q = I \sin \varphi$$

Lasketaan jännitteen alenema prosentteina kaavalla 2.

$$U_H = 100\% \times \frac{\sqrt{3} \times U_{hv}}{U} \quad (2)$$

Kaapeleiden jännitteenalenemat on laskettu seuraavasti. Virta saadaan Xpower ohjelmasta  $I = 65A$ .

$$I_p = I \cos \varphi = 65A \times 0,95 = 61,75A$$

$$I_Q = I \sin \varphi = 65A \times 0,31 = 20,15A$$

$$U_{hv} = I_p R_J + I_Q X_J = 61,75A \times 0,088\Omega + 20,15A \times 0,057\Omega = 6,58V \quad (1)$$

$$U_h = 100\% \times \frac{\sqrt{3} \times U_{hv}}{U} = 100\% \times \frac{\sqrt{3} \times 6,58V}{20575,8V} = 0,06\% \quad (2)$$

**Taulukko 1. MP097-MP157 Jännitteenalenemat. Johdon resistansseissa on huomioitu matkat ja kaapeli tyypit.**

	U (V)	I (A)	Ip (A)	Iq (A)	Rj (Ω)	Xj (Ω)	U <sub>hv</sub> (V)	U <sub>h</sub> %
MP097-MP157	20575,8	65	61,75	20,15	0,088	0,057	6,58	0,06
MP157-MP138	20563,38	29,00	27,55	8,99	0,130	0,058	4,11	0,03
MP138-MP069	20557,17	24,00	22,80	7,44	0,022	0,066	2,82	0,02

Jännitteenalenema muuntamalla MP069. 0,6% on jännitteenalenema muuntamalla MP097 ja joka on otettu Xpowerin laskennasta.

$$U_h = 0,06\% + 0,03\% + 0,02\% + 0,6\% = 0,71\%$$

Vertailun vuoksi Xpower antoi jännitteen alenemaksi samaan pisteeseen 0,7%.

## Raustin johtolähtö

Lasketaan jännitteenalenemat päämuuntajalta asti koska MP156 ja sähköaseman välissä ei ole muita muuntamoita ja kaapeleita joten laskeminen ei näin ollen ole työläs. Taulukon 2 arvot on laskettu samalla tavoin kuin taulukon 1 arvot. Jännitteenalenema on laskettu erottimelle E63 asti.

**Taulukko 2. Raustin johtolähdön jännitteenalenema.**

	U (V)	I (A)	Ip (A)	Iq (A)	Rj (Ω)	Xj (Ω)	U <sub>hv</sub> (V)	U <sub>h</sub> %
SA01-MP156	20700	48	45,60	14,88	0,455	0,212	23,91	0,2
MP156-E63	20563,4	34,0	32,30	10,54	0,284	0,186	11,14	0,09

$$U_h = 0,2\% + 0,09\% = 0,29\%$$

## Keskijännitejohdon vikavirrat

### Raustin johtolähtö

Lasketaan kolme- ja kaksivaiheiset vikavirrat alku- ja lopputilanteesta. Kolmevaiheisessa viassa käytetään 20°C lämpötilaa ja kaksivaiheisessa viassa 40°C lämpötilaa.

Kolmivaiheinen vikavirta lasketaan kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times \sqrt{\left( (R_K + R_M + R_J)^2 + (X_K + X_M + X_J)^2 \right)}} \quad (3)$$

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{k3} \quad (8)$$

Xpowerista saadaan taustaverkon resistanssit ja reaktanssit.  $R_K=3,3\Omega$  ja  $X_K=10,1\Omega$ . Redusoidaan taustaverkon arvot alajännitepuolelle kaavoilla 4 ja 5.

$$R_{K20kV} = \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 \times R_K = \left( \frac{20kV}{110kV} \right)^2 \times 3,3\Omega = 0,12027\Omega \quad (4)$$

$$X_{K20kV} = \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 \times X_K = \left( \frac{20kV}{110kV} \right)^2 \times 10,1\Omega = 0,36811\Omega \quad (5)$$

315MVA muuntajan oikosulkuresistanssi  $r_{k\%}=0,42\%$  ja oikosulkuimpedanssi  $z_{k\%}=10,2\%$ . Nämä arvot pitää muuttaa ohmeiksi. Laskeminen tapahtuu kaavoilla 6 ja 7.

$$R_M = \frac{U_n^2}{S_n} \times \frac{r_{k\%}}{100} \quad (6)$$

$$Z_M = \frac{U_n^2}{S_n} \times \frac{z_{k\%}}{100} \quad (7)$$

$$R_M = \frac{U_n^2}{S_n} \times \frac{r_{k\%}}{100} = \frac{(21000V)^2}{31500000VA} \times \frac{0,42}{100} \% = 0,0588\Omega \quad (9)$$

$$Z_M = \frac{U_n^2}{S_n} \times \frac{z_{k\%}}{100} = \frac{(21000V)^2}{31500000VA} \times \frac{10,2}{100} \% = 1,428\Omega \quad (10)$$

$$X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)} = \sqrt{(1,428\Omega)^2 - (0,0588\Omega)^2} = 1,4268\Omega \quad (11)$$

Edellä laskettuja arvoja käytetään kun lasketaan kolme- ja kaksivaiheisiavikavirtoja. Vain kaapeleiden ja ilmajohtojen impedanssit muuttuvat.

## Alkutilanne

**Taulukko 3. Alkuperäinen tilanne Raustin johtolähdössä 20°C lämpötilassa.**

	L (km)	RV ( $\Omega/km$ )	Xv ( $\Omega/km$ )
AHX120	1,9298	0,256	0,129
Pg99	1,0742	0,377	0,354

Lasketaan  $R_J$  ja  $X_J$  molemmista johdoista yhteenlaskettuna.

$$R_J = 1,9298km \times 0,256\Omega/km + 1,0742km \times 0,377\Omega/km = 0,899$$

$$X_j = 1,9298 \text{ km} \times 0,129 \Omega / \text{ km} + 1,0742 \text{ km} \times 0,354 \Omega / \text{ km} = 0,629 \Omega$$

Lasketaan  $I_{k3}$  kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{1,1 \times 21000 \text{ V}}{\sqrt{3} \times \sqrt{\left( (0,12027 \Omega + 0,0588 \Omega + 0,899 \Omega)^2 \times (0,3681 \Omega + 1,4268 \Omega + 0,629 \Omega)^2 \right)}} = 5027 \text{ A}$$

Xpower antaa samaiseksi arvoksi 4500A.

Lasketaan seuraavaksi  $I_{k2}$ .

Lasketaan uudestaan  $R_j$  ja  $X_j$  molemmista johdoista 40°C lämpötilassa.

**Taulukko 4. Alkuperäinen tilanne Raustin johtolähdössä 40°C lämpötilassa.**

	L (km)	RV (Ω/km)	Xv (Ω/km)
AHX120	1,9298	0,277	0,129
Pg99	1,0742	0,364	0,354

$$R_j = 1,9298 \text{ km} \times 0,277 \Omega / \text{ km} + 1,0742 \text{ km} \times 0,364 \Omega / \text{ km} = 0,9256 \Omega$$

$$X_j = 1,9298 \text{ km} \times 0,129 \Omega / \text{ km} + 1,0742 \text{ km} \times 0,354 \Omega / \text{ km} = 0,629 \Omega$$

Lasketaan  $I_{k3}$  kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{1,0 \times 21000 \text{ V}}{\sqrt{3} \times \sqrt{\left( (0,12027 \Omega + 0,0588 \Omega + 0,9256 \Omega)^2 \times (0,3681 \Omega + 1,4268 \Omega + 0,629 \Omega)^2 \right)}} = 4486,3 \text{ A}$$

Lasketaan  $I_{k2}$  kaavalla 8.

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 4486,3 \text{ A} = 3885,2 \text{ A}$$

Xpower antaa samaiseksi arvoksi 3850A.

### Lopputilanne

Lasketaan seuraavaksi kolme- ja kaksivaiheiset vikavirrat kun ilmalinjan johtimet on korvattu maakaapelilla. Taustaverkon ja muuntajan arvot pysyvät samoina.

**Taulukko 5. Lopputilanne Raustin johtolähdössä 20°C lämpötilassa.**

	L (km)	RV (Ω/km)	Xv (Ω/km)
AHX120	1,9298	0,256	0,129
AHX185	1,2494	0,169	0,119

Rj	0,705
Xj	0,398

Lasketaan  $I_{k3}$  kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{1,1 \times 21000V}{\sqrt{3} \times \sqrt{((0,12027\Omega + 0,0588\Omega + 0,705\Omega)^2 \times (0,3681\Omega + 1,4268\Omega + 0,398\Omega)^2)}} = 5640A$$

Lasketaan seuraavaksi  $I_{k2}$ .

Lasketaan uudestaan  $R_j$  ja  $X_j$  molemmista johdoista 40°C lämpötilassa.

**Taulukko 6. Lopputilanne Raustin johtolähdössä 40°C lämpötilassa.**

	L (km)	RV ( $\Omega/km$ )	Xv ( $\Omega/km$ )
AHX120	1,9298	0,277	0,129
AHX185	1,2494	0,183	0,119

Rj	0,763
Xj	0,398

Lasketaan  $I_{k3}$  kaavalla 5.

$$I_{k3} = \frac{1,0 \times 21000V}{\sqrt{3} \times \sqrt{((0,12027\Omega + 0,0588\Omega + 0,763\Omega)^2 \times (0,3681\Omega + 1,4268\Omega + 0,398\Omega)^2)}} = 5007,9A \quad (3)$$

Lasketaan  $I_{k2}$  kaavalla 8.

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 5007,9A = 4337,0A \quad (8)$$

## Kivirannan johtolähtö

Kivirannan johtolähdöllä on samat muuntajan arvot ja taustaverkon arvot kuin Raustin johtolähdöllä. Tässä tarkastellaan vain lopputilannetta kun muutos on niin suuri verrattuna raustin johtolähtöön.

Lasketaan vikavirrat muuntamolle MP138.

**Taulukko7. Kivirannan johtolähtö ja MP138 20°C lämpötilassa.**

	Pituus(km)	R ( $\Omega/km$ )	X ( $\Omega/km$ )
AHX185	0,4806	0,169	0,119
APY120	1,4783	0,262	0,115
AHX120	1,3489	0,256	0,129

Rj	0,814
Xj	0,401

Lasketaan  $I_{k3}$  kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{1,1 \times 21000V}{\sqrt{3} \times \sqrt{((0,12027\Omega + 0,0588\Omega + 0,814\Omega)^2 \times (0,3681\Omega + 1,4268\Omega + 0,401\Omega)^2)}} = 5533A$$

Xpower antaa samaiseksi arvoksi 4960A.

**Taulukko 8. Kivirannan johtolähtö ja MP138 40°C lämpötilassa.**

	Pituus(km)	R ( $\Omega$ /km)	X ( $\Omega$ /km)
AHX185	0,4806	0,183	0,119
APY120	1,4783	0,283	0,115
AHX120	1,3489	0,277	0,129

Rj	0,880
Xj	0,401

Lasketaan  $I_{k3}$  kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{1,0 \times 21000V}{\sqrt{3} \times \sqrt{((0,12027\Omega + 0,0588\Omega + 0,88\Omega)^2 \times (0,3681\Omega + 1,4268\Omega + 0,401\Omega)^2)}} = 4901,8A \quad (3)$$

Lasketaan  $I_{k2}$  kaavalla 8.

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 4901,8A = 4245,1A \quad (8)$$

Xpower antaa samaiseksi arvoksi 4250A

Lasketaan vikavirrat muuntamolle MP069.

**Taulukko 9. Kivirannan johtolähtö ja MP069 20°C lämpötilassa.**

	Pituus(km)	R ( $\Omega$ /km)	X ( $\Omega$ /km)
AHX185	1,0382	0,169	0,119
APY120	1,4783	0,262	0,115
AHX120	1,3489	0,256	0,129

Rj	0,908
Xj	0,468

Lasketaan  $I_{k3}$  kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{1,1 \times 21000V}{\sqrt{3} \times \sqrt{((0,12027\Omega + 0,0588\Omega + 0,908\Omega)^2 \times (0,3681\Omega + 1,4268\Omega + 0,468\Omega)^2)}} = 5312A \quad (3)$$

Xpower antaa samaiseksi arvoksi 4760A.

**Taulukko 9. Kivirannan johtolähtö ja MP069 40°C lämpötilassa.**

	Pituus(km)	R ( $\Omega$ /km)	X ( $\Omega$ /km)
AHX185	1,0382	0,183	0,119
APY120	1,4783	0,283	0,115
AHX120	1,3489	0,277	0,129

Rj	0,982
Xj	0,468

Lasketaan  $I_{k3}$  kaavalla 3.

$$I_{k3} = \frac{1,0 \times 21000V}{\sqrt{3} \times \sqrt{((0,12027\Omega + 0,0588\Omega + 0,982\Omega)^2 \times (0,3681\Omega + 1,4268\Omega + 0,468\Omega)^2)}} = 4699,7A \quad (3)$$

Lasketaan  $I_{k2}$  kaavalla 8.

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 4699,7A = 4070A \quad (8)$$

Xpower antaa samaiseksi arvoksi 4070A

**Taulukko 10. Laskutulosten vertailu Kivirannan johtolähdöllä**

	MP138	MP069
<b>Xpower</b>		
$I_{k3}$ (A)	4,76	4,96
$I_{k2}$ (A)	4,07	4,25
<b>Käsin</b>		
$I_{k3}$ (A)	4761,2	4958,7
$I_{k2}$ (A)	4070,0	4245,1

## Keskijännitejohdon maasulkulaskenta

### PM01

Päämuuntajalta 1 lähtee pois Pg99 avojohtoa 1,917 km ja APY120 kaapelia 0,2908 km. Näiden tilalle rakennetaan AHX185 kaapelia 1,249km. Lasketaan maakapasitanssien arvot kullekin johtolajille.

APY120

$$C_o = C_m \times l = 0,35 \mu F / km \times 0,2908 km = 1,1078 \times 10^{-7} F$$

Pg99

$$C_o = C_m \times l = 0,0061 \mu F / km \times 1,917 km = 1,1693 \times 10^{-7} F$$

AHX185

$$C_o = C_m \times l = 0,26 \mu F / km \times 1,249 km = 3,2484 \times 10^{-7} F$$

Lasketaan seuraavaksi maakapasitanssi kun otetaan huomioon uudet sekä vanhat kaapelit ja ilmajohtot.

Maakapasitanssi yhteensä on :

$$3,2484 - 1,1693 - 1,1078 = 2,1137 \times 10^{-7} F$$

Lasketaan maasulkuvirta  $I_e$  kaavalla 10.

$$I_e = \sqrt{3} \times \omega \times C_o \times U = \sqrt{3} \times 2\pi \times 50 \text{ Hz} \times 2,1137 \times 10^{-7} \times 20700 \text{ V} = 2,38 \text{ A}$$

Maasulkuvirta kasvaa päämuuntaja 1:llä 2,38A.

### PM02

Päämuuntajalta 2 lähtee pois Pg99 ilmajohtoa sekä sitä myöskin tulee tilalle jakorajojen muutosten myötä. Pg99 lopullinen muutos on että sitä tulee 0,091km lisää. Lisäksi tulee myös AHX185 kaapelia 1,0382 km ja AHX120 kaapelia 1,068km ja APY120 kaapelia 0,1865km. Lasketaan maakapasitanssien arvot kullekin johtolajille.

AHX185

$$C_o = C_m \times l = 0,26 \mu F / km \times 1,0382 km = 2,699 \times 10^{-7} F$$

AHX120

$$C_o = C_m \times l = 0,23 \mu F / km \times 1,068 km = 2,456 \times 10^{-7} F$$

APY120

$$C_o = C_m \times l = 0,35 \mu F / km \times 0,1865 km = 6,527 \times 10^{-8} F$$

Pg99

$$C_o = C_m \times l = 0,0061 \mu F / km \times 0,091 km = 5,551 \times 10^{-10} F$$



Lasketaan seuraavaksi maakapasitanssi kun otetaan huomioon uudet sekä vanhat kaapelit ja ilmajohtot.

Maakapasitanssi yhteensä on :

$$2,699 \times 10^{-7} F + 2,456 \times 10^{-7} F + 6,527 \times 10^{-8} F + 5,551 \times 10^{-10} F = 5,814 \times 10^{-7} F$$

Lasketaan maasulkuvirta  $I_e$  kaavalla 10.

$$I_e = \sqrt{3} \times \omega \times C_0 \times U = \sqrt{3} \times 2\pi \times 50 \text{hz} \times 5,814 \times 10^{-7} \times 20700V = 6,55A \quad (10)$$

Maasulkuvirta kasvaa päämuuntaja 2:llä 6,55A.