

KAAPELIN ULKOPUOLINEN PE-JOHDIN

SISÄLTÖ:

1. Johdanto
2. Esimerkki
3. Symmetristen komponenttien kaavat

1. Johdanto

PE-johdin on yleensä puolet vaihejohtimien poikkipinnasta. Määriteltäessä poiskytkentäehtojen toteutumista, oletamme että vikavirta kulkee vaihe ja PE-johtimissa. Koska PE johdin on ”vain puolikas” vaihejohtimen poikkipinnasta tulee helposti ajatus kasvattaa PE johtimen poikkipintaa ulkopuolisella lisäjohtimella.

Vaihtovirtapiirissä on aina resistanssin lisäksi myös reaktanssia (induktanssia). Reaktanssi kasvaa kun johtimien etäisyys toisistaan kasvaa. Kuten alla olevasta laskentaesimerkistä huomaamme ei ole varmaa saavutetaanko haluttu tulos vahvistamalla PE-johdin ulkopuolisella johtimella.

Ulkopuolinen PE-johdin on herkempi vaurioitumaan ja vauriota ei välttämättä huomata.

Totutuista asennustavoista poikkeaminen tuo myös aina mukanaan asennukseen liittyviä ongelmia. Esimerkiksi ylimääräinen johtimen liittäminen sähkölaitteeseen ja korjausasennuksissa ei välttämättä tunneta miksi poikkeamat on tehty.

Ols-Consult Oy:n ohjelmilla ei voi laskea piirien poiskytkentäehtojen toteutumista, kun käytetään kaapelin ulkopuolista PE-johdinta.

Tasavirtapiireissä ei ole reaktanssia joten näissä piireissä voi PE-johtimen poikkipintaa kasvattaa kaapelien ulkopuolisilla johtimilla. Yllä mainitut asennukseen liittyvät ongelmat on luonnollisesti aina huomioitava. **AKKU**-ohjelmalla voi tarkistaa laukaisuehtojen toteutumista vahvistetuilla PE-johtimilla.

2. Esimerkki

Laske impedanssi ja maasulkuvirta 100 m pitkässä MCMK 3x70+35 kaapelin päässä tapahtuvassa jäykässä oikosulussa. Kaapeli on kytketty 400 V, 50 Hz, TN-verkkoon. Syöttävän verkon reaktanssi redusoituna pienjännitepuolelle on $X_Q = 5$ m-ohmia ja syöttävän muuntajan nolhareaktanssi X_0 ja vaihereaktanssi X_{uk} ovat myös 5 m-ohmia. Vaihtoehdossa 1 käytämme kaapelin konsentrissa johdinta PE-johtona ja vaihtoehdossa 2 asennamme kaapelin ulkopuolelle 70 mm² Cu PE-johdon jota käytämme PE johtimena. Ulkoisen PE-johtimen ja kaapelin välimatka on 0,2 m.

Kun lasketaan piirin impedanssia, on huomioitava että piirissä on kaksi erillistä induktanssia, kaapelin sisäinen induktanssi ja lisätyn PE-johtimen (ulkoisen) ja kaapelin vaihejohtimen välinen induktanssi.

Sisäinen induktanssi ja reaktanssi per johdin ovat:

$$L_s = \frac{\mu_0}{8} \cdot l \quad \text{ja vastaava reaktanssi } X_s = \omega \cdot l \cdot L_s = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s \text{ eli } = 0,00157 \text{ m-ohmia/m}$$

ja vastaavasti ulkoinen induktanssi ja reaktanssi per johdin ovat:

$$L_u = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot l \cdot \ln \frac{d}{r} \quad \text{ja vastaava reaktanssi } X_u = \omega \cdot l \cdot L_u = \mu_0 \cdot f \cdot l \cdot \ln \frac{d}{r}. \text{ (Kaava 3)}$$

jossa:

l on johtimen (kaapelin) pituus (m)

r on ulkopuolisen PE johtimen säde (m)

d on johtimien välinen etäisyys (m) (vaihe ja ulkopuolinen PE-johto)

f on taajuus (Hz)

μ_0 on tyhjiön permeabiliteetti $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ (Vs/Am) $\approx 1,256 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{H/m}$)

Vikavirrat (maasulkuvirrat) lasketaan kaavoilla:

Koska verkko on suoraan maadoitettu (TN järjestelmä) joten käytetään laskentamenetelmää ”symmetriset komponentit” (yksivaiheinen maasulku).

$$I_{vika1} = \frac{U_v}{\frac{2 \cdot (X_Q + X_{uk}) + X_0}{3} + \bar{Z}_v + \bar{Z}_{pe}} \quad \text{(Kaava 1)}$$

$$I_{vika2} = \frac{3 \cdot U_v}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0 + 3\bar{Z}_u} \quad \text{(Kaava 2)}$$

jossa:

U_v on vaihejännite (V)

X_Q on syöttävän verkon reaktanssi (ohmi)

X_{uk} on muuntajan vaihereaktanssi (ohmi)

X_0 on muuntajan nollaimpedanssi (ohmi)

Z_v on kaapelin vaiheimpedanssi (ohmi)

Z_{pe} on kaapelin maasulkuimpedanssi (ohmi)

Z_1, Z_2, Z_0 ja Z_u on symmetristen komponenttien myötä-, vasta-, nolla-, ja ulkoinen-impedanssi. Kun piiriin ei ole kytketty tahtikoneita, on $Z_1 = Z_2$.

Kaava 2 on symmetristen komponenttien peruskaava 1-vaiheisessa maasulussa. Kaava 1 on sama kaava kirjoitettuna toisella tavalla. Katso tarkemmin kohta 3.

Koska olemme kiinnostuneita ainoastaan maasulkuvirtojen erosta, on laskennasta jätetty pois liitettä muuntajan ja keskuksen välillä, syöttävän verkon ja muuntajan resistanssit ja c-kertoimet. Maasulussa on lisäksi aina myös muita reittejä vikavirralle. Oletamme että koko vikavirta kulkee vaihe ja PE johtimissa.

Lasketaan ensin vikavirta käyttäen PE-johtimena kaapelin 35 mm² konsentrista johdinta.

MCMK 3x70+35 impedanssi kaapelin vaiheimpedanssi 70 °C ja 100m on 32,4 + j7,6 m-ohmia. ja konsentrisen PE johtimen resistanssi on 62,9 m-ohmia (70 °C).

$$Z_{vika1} = j5 + 32,4 + 62,9 + j7,6 = \sqrt{95,3^2 + 12,6^2} = 96,13 \text{ m-ohmia}$$

Kaavalla 1 saadaan:

$$I_{\text{vika 1}} = 230 / 96,13 = 2,39 \text{ kA}$$

Kun lasketaan vikavirta kaapelin ulkopuoliselle PE-johdolla, ei kaava 1 ole käyttökelpoinen joten käytämme kaavaa 2.

Ylimääräisen PE-johtimen halkaisija on n. 5,4 mm.

Ulkoisen PE johtimen resistanssi on 27 m-ohmia (20 °C)

Sisäinen reaktanssi on $0,0157 \cdot 100 = 1,57$ m-ohmia

Ulkoinen reaktanssi kaavan 3 mukaan on $4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 50 \cdot 100 \cdot \ln 200/5,4 = 22,7$ m-ohmia.

Jos oletamme että vaihejohtimen säde on sama kuin ulkoisen PE-johtimen on kaapelin ulkoinen reaktanssi myös 22,7 m-ohmia.

$$Z_1 = Z_2 = j5 + j5 + 32,4 + j7,6 = 32,4 + j17,6 \text{ eli } 2 \cdot = 64,8 + j35,2 \text{ m-ohmia}$$

(syöttävä verkko, muuntajan vaiheimpedanssi ja kaapelin impedanssi)

$$Z_0 = j5 + 3 \cdot 62,9 + 32,4 + j7,6 = 221,1 + j12,6 \text{ m-ohmia}$$

(muuntajan nolaimpedanssi ja kaapelin nolaimpedanssi $3 \cdot R_{pe} + R_v$ sekä $X_0 = X_v$)

$$3Z_u = 3(27 + j(1,57 + 22,7 + 22,7)) = 81 + j141 \text{ m-ohmia}$$

(ulkoisen PE-johtimen resistanssi, sisäinen reaktanssi ja ulkoinen reaktanssi sekä kaapelin ulkoinen reaktanssi)

$$Z_{\text{vika2}} = 64,8 + j35,2 + 221,1 + j12,6 + 81 + j141 = 366,9 + j188,8 = \sqrt{366,9^2 + 188,8^2} = 412 \text{ m-ohmia}$$

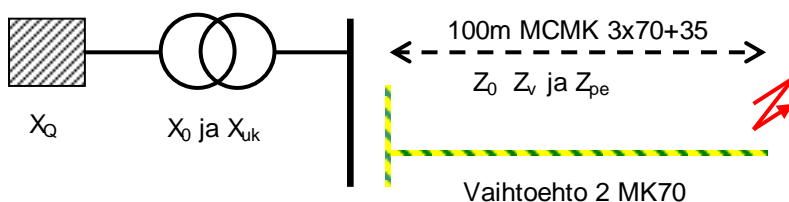
$$I_{\text{vika 2}} = 3 \cdot 230 / 412 = 1,67 \text{ kA} \quad I_{\text{vika 2}} / I_{\text{vika 1}} = 1,67 / 2,39 = 0,69$$

Vaikka olimme kaksinkertaistaneen PE-johtimen poikkipinnan (35–70 mm²), niin vikavirta on vain 69 %, verrattuna tapaukseen jossa käytettiin kaapelin konsentrista johdinta PE johtimena.

Kun lasketaan TN-verkon vikavirtoja, on tunnettava nolaimpedanssi. Tarkka nolaimpedanssi saadaan vain mittaamalla valmis asennus. Kuten esimerkistä huomataan, monimutkaistuu vikavirran laskenta kun rinnalle kytketään muita kulkureittejä vikavirrälle.

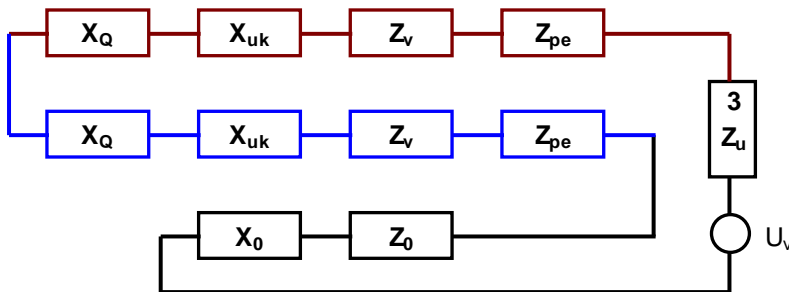
3. Symmetristen komponenttien kaavat

Esimerkin yksinkertaistettu kytkentäkaava:



Kaava 2

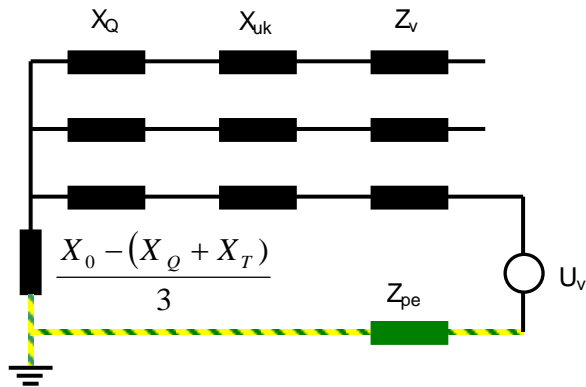
Sijaiskytkentä kun lasketaan symmetrisillä komponenteilla:
(yksivaiheinen maasulku TN-verkossa)



$$I_{vika2} = \frac{3 \cdot U_v}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_0 + 3\bar{Z}_u}$$

Kaava 1

Sijaiskytkentä kaavalle 1:



Lisäämällä sijaiskytkentään yllä oleva impedanssi voidaan kaava 2 kirjoittaa muotoon.

$$I_{vika1} = \frac{U_v}{\frac{2 \cdot (X_Q + X_{uk}) + X_0}{3} + \bar{Z}_v + \bar{Z}_{pe}}$$

Johdetaan kaava 1:

Sijoitetaan kaavaan 2: $Z_1=Z_2=X_Q+X_{uk}+Z_{kaap}$ ja siirretään luku 3 jakoviivan alle:

$$I_{vika} = \frac{U_v}{\frac{2X_Q + 2X_{uk} + 2Z_{kaap} + X_0 + Z_{0kaap}}{3}}$$

Kirjoitetaan kaava vähän toiseen muotoon:

$$I_{vika} = \frac{U_v}{\frac{2}{3} \cdot \bar{Z}_{kaap} + \frac{1}{3} \cdot \bar{Z}_{0kaap} + \frac{X_0 + 2 \cdot (X_Q + X_{uk})}{3}} \quad (\text{lisäimpedanssi on nyt oikeassa muodossa})$$

Vaikka oikea nollaimpedanssi voidaan saada vain mittaamalla valmis asennus, niin laskennoissa käytetään yleisesti seuraavia likiarvoja:

$$R_{0\text{kaap}} = R_v + 3R_{pe} \text{ ja } X_{0\text{kaap}} = jX_v \text{ eli } Z_{0\text{kaap}} = R_v + 3R_{pe} + jX_v$$

Kaapelin impedanssi on $Z_{\text{kaap}} = R_v + jX_v$

Sijoitetaan yllä olevat kaavat I_{vika} kaavan kaapeli osuuteen

$$2/3(R_v + jX_v) + 1/3(R_v + 3R_{pe} + jX_v) = R_v + jX_v + R_{pe} = \underline{Z}_v + \underline{Z}_{pe}$$

$$I_{\text{vika1}} = \frac{U_v}{\frac{2 \cdot (X_{\underline{Q}} + X_{uk}) + X_0}{3} + \bar{Z}_v + \bar{Z}_{pe}} \quad (\text{huom. kaavasta puuttuu c-kerroin})$$

Kaavan yksinkertaistaa laskentoja kun kaapelien nollaimpedansseja ei tarvitse käsitellä.