

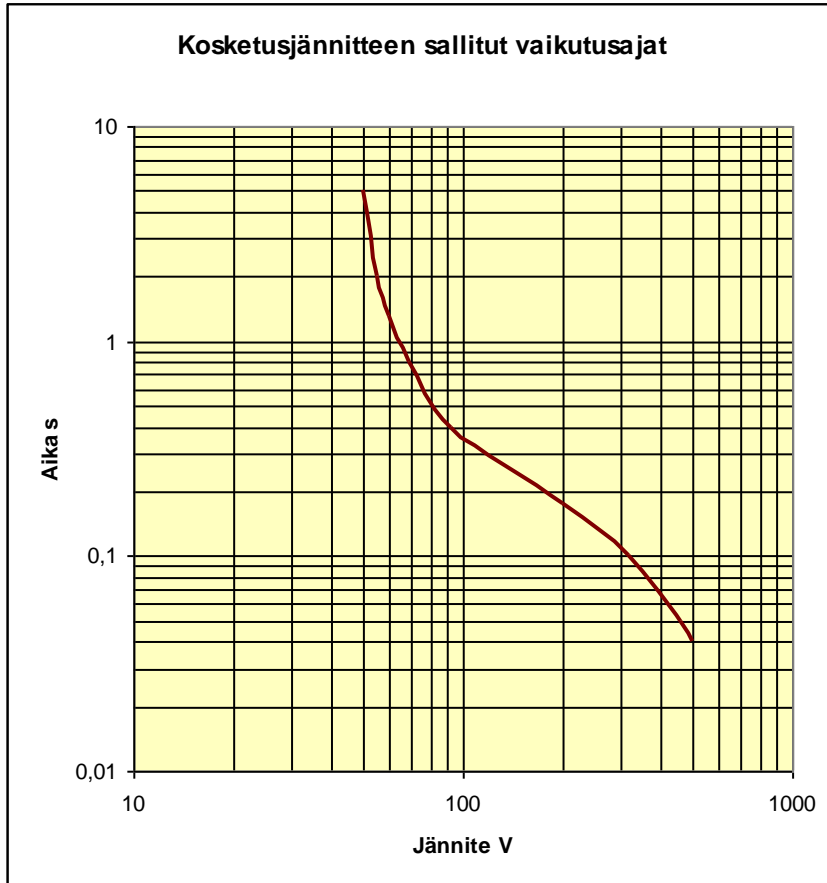
KOSKETUSJÄNNITESUOJAUS SYÖTÖN AUTOMAATTISELLA POISKYTKENNÄLLÄ (poiskytkentäehdot)

SISÄLTÖ:

- 1. Johdanto**
- 2. SFS 6000, Pienjänniteasennukset**
- 3. Oikosulkuvirtojen laskenta IEC 60909 mukaan**
- 4. Laukaisuehtojen tarkistus MITOITUS ohjelmalla**
- 5. Esimerkki**
- 6. Laskelmien tarkkuus ja nollaimpedanssi**
- 7. Laukaisuehdot ja paloturvallisuus**
- 8. ≥ 32 A ryhmäjohtojen laukaisuaika**

1. Johdanto

Syötön automaattisen **poiskytkennän ja/tai potentiaalitasauksen** tulee rajoittaa kosketusjännitteen nousu sellaiseen arvoon ja aikaan, että siitä ei aiheudu haitallisia fysiologisia vaikutuksia henkilölle, joka koskettaa samanaikaisesti kosteltavia johtavia osia (SFS 6000 413.1.1.1). Tämä edellyttää että maadoitusjärjestelmän toteutus sekä suojajohtimien ja suojalaitteiden ominaisuudet sovitetaan yhteen.



IEC 60479-1 standardin mukainen käyrä ihmiselle vaarallisesta kosketusjännitteestä suhteessa kestoajaan.

Käyrä antaa erään marginaalin, jolloin jännite ja sen kesto ei todennäköisesti ole hengenvaarallinen. **Vaikka käyrän vasemmalla puolella vaara on epätodennäköinen, se on kuitenkin mahdollinen.**

Kosketusjännitteen laskeminen tai arviointi on monestakin syystä vaikeaa. Ylivirtasuojauksen (kosketusjännitesuojauksen syötön automaattisen poiskytkennän avulla) suunnittelu tulisi työlääksi, jos referenssinä käytettäisiin kosketusjännitettä. Siksi asennusmääräyksissä (SFS 6000) annetaan aika jonka kuluessa viallinen piiri tulee kytkeä pois syöttävästä verkosta.

Suojausta koskevien vaatimusten soveltamisen helpottamiseksi vaaditut poiskytkentäajat on määritelty asennuksen nimellisjännitteestä riippuvina eikä suurimman kosketusjännitteen mukaan (SFS 6000). Tällöin on otettu huomioon verkon rakenne ja kosketusjännitteen vaikutus ihmiskehoon.

TN järjestelmä		IT järjestelmä		
			Poiskytkentäaika	
Uo V	Poiskytkentäaika s	Järjestelmän nimellijännite Uo/U V	ei nollajohdinta s	nollajohdin käytössä s
230	0,4	230/400	0,4	0,8
400	0,2	400/690	0,2	0,4
>400	0,1	580/1000	0,1	0,2

Ylläolevan taulukon aikoja tulee käyttää ryhmäjohtoille jotka syöttävät suoraan tai pistorasian kautta kädessä pidettäviä laitteita tai siirrettäviä ykkösluokan laitteita. Myös kaikille ≥ 32 A ryhmäjohtoissa on käytettävä taulukon mukaisia aikoja.

Pääjohtoille ja ryhmäjohtoille jotka syöttävät kiinteästi asennettuja laitteita hyväksytään enintään 5 s laukaisuaika.

Muitakin poikkeuksia on, katso tarkemmin SFS 6000.

Seuraavassa käydään läpi eri tapoja määrittellä viallisen piirin ja suojalaitteiden ominaisuuksia joilla syötön poiskytkentä tapahtuu yllä olevan taulukossa annettussa ajassa. Lisäksi käsitellään lyhyesti myös laskentojen tarkkuutta ja syötön poiskytkemiseen liittyvää paloturvallisuutta.

2. SFS 6000, Pienjänniteasennukset

Standardin kohta 413 käsittelee mitä piiriltä ja laukaisulaitteelta edellytetään että suojaus sähköiskulta vian aikana toteutuu.

Kohdassa 413.1.3.3 annetaan **TN järjestelmälle** ehto jonka tulee täyttyä:

$$Z_s \times I_a \leq U_0$$

Zs on vikapiirin impedanssi, joka käsittää jännitelähteen, äärijohtimen vikapaikkaan saakka sekä suojajohtimen vikapaikan ja jännitelähteen välillä.

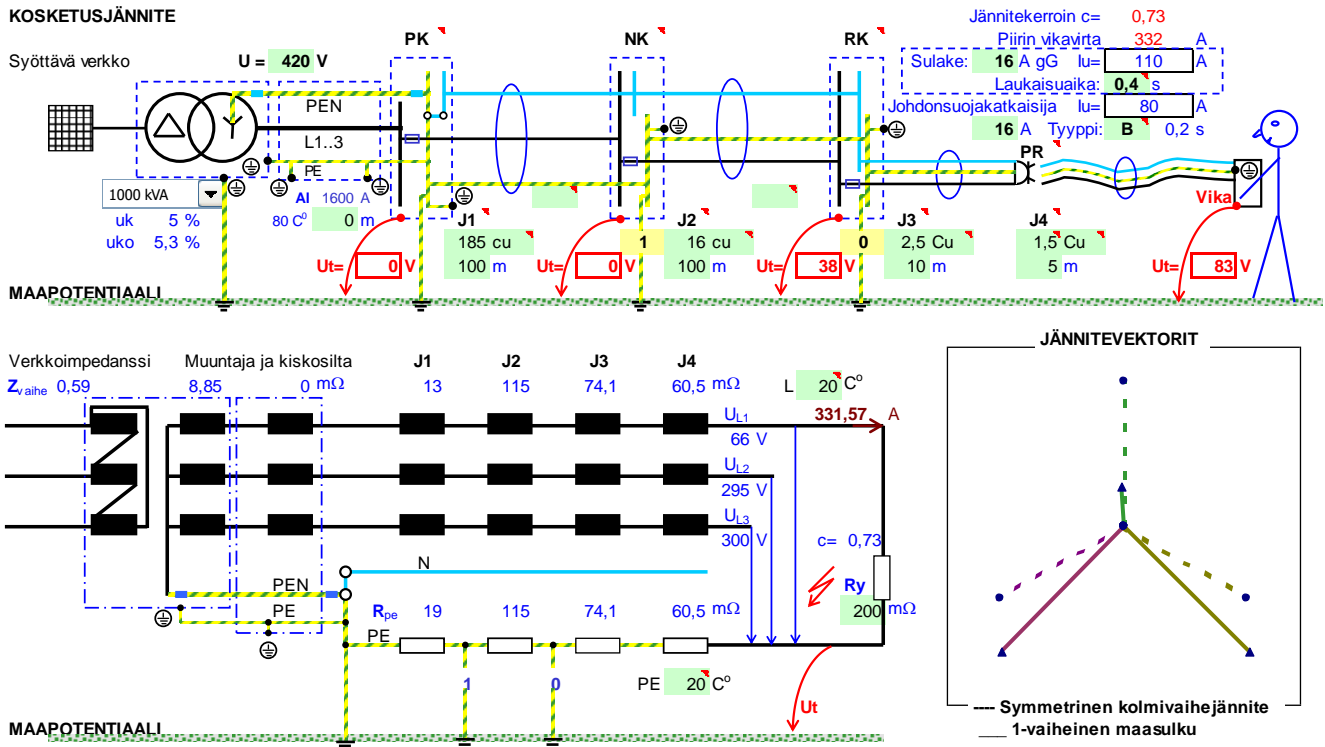
Ia on virta, jolla suojalaite toimii automaattisesti kohdan 1 taulukon mukaisessa ajassa (tai siihen liittyvien poikkeus-sääntöjen mukaisissa ajoissa).

Uo on nimellijännite maahan.

Kaava on kovin yksinkertainen. Todellisuudessa maadoitetun verkon pienin yksivaiheisen vikavirran laskenta on huomattavasti monimutkaisempaa. Yksivaiheinen maasulku TN verkossa ”vääntää” jännitevektoreita niin että laskentaa ei voi suorittaa tavanomaisilla sähkötekniikan kaavoilla. Yksivaiheisen maasulun laskennassa käytetään menetelmää ”symmetriset komponentit”. Siinä epäsymmetrinen järjestelmä jaetaan kolmeen symmetriseen osajärjestelmään; myötä- (Z_1), vasta- (Z_2) ja nollajärjestelmä (Z_0).

Useimmiten vikapiiriin kokonaisimpedanssiin liittyy useita osaimpedansseja jotka vaikuttavat lopputulokseen.

Alla on esitetty periaatellinen kuva vikapiiristä jossa on syöttävä verkko, muuntaja, pää-, nousu ja ryhmäkeskukset. Kuvassa näkyy myös miten kosketusjännite nousee koska ryhmäkeskusta ei ole potentiaalitasattu. Kuva on tehty opetustarkoituksiin mutta taustalla oleva laskenta suoritetaan ”symmetrisillä komponenteilla”. Jännitevektorit kulmineen ovat todellisia laskennan tuloksia. Kohdassa 7 käsitellään tarkemmin nollaimpedanssia ja sen vaikutusta laskelmien tarkkuuteen.



Vastaavasti kohdassa SFS 6000 antaa seuraavat ehdot **IT järjestelmälle**:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \times I_a}$$

U on pääjännite jos nollajohdin ei ole käytössä ja vaihejännite jos nollajohdin on käytössä.

Z_s on vikapiirin impedanssi, joka käsittää piirin vaihejohtimen ja suojajohtimen.

I_a on virta, jolla suojalaite toimii kädessä pidettävää ja siirrettävää sähkölaitetta syöttävissä ryhmäjohdoissa yllä olevan taulukon mukaisessa ajassa tai 5 s, sellaisissa piireissä jossa se on sallittu.

IT järjestelmässä ensimmäinen maavika ei aiheuta laukaisua (poikkeuksena on laukaiseva maasulun valvonta). Määräysten mukaan tulee ensimmäisessä viassa käyttää hälyttävää eristystilan valvontalaitetta ja toinen vika tulee sitten laukaista yllämainituilla säännöillä.

Toinen vika on siis jännitelähteen kannalta katsoen vaiheiden välinen oikosulku jolloin laskentaan voidaan soveltaa tavanomaisia sähkötekniikan laskentakaavoja.

Vikakohdan ylimenovastus

Asennusmääräykset eivät suoraan edellytä vikakohdan ylimenovastuksen huomioimista. SFS 6000 käyttää sanontaan: ”oikosulussa, joka syntyy äärijohtimen ja suojajohtimen tai jännitteelle alttiin johtavan osan välillä ”vähäisen impedanssin kautta”. Tarkemmin ”vähäistä impedanssia” ei määritellä.

Kohdassa 612 käsitellään vikapiirin mittauksia. Kohdan 413 vaatimuksia pidetään täytettynä, jos vikapiirin impedanssi täyttää seuraavan yhtälön:

$$Z_s(m) \leq \frac{4}{5} \times \frac{U_0}{I_a}$$

$Z_s(m)$ on mitattu vaiheen ja maan välinen virtapiirin silmukkaimpedanssi ohmeina

U_0 on vaiheen ja maan välinen jännite voltteina (vaihejännite)

I_a on virta, joka aiheuttaa suojalaitteen automaattisen toiminnan yllä olevan taulukossa määritellyssä ajassa tai 5 s, sellaisissa piireissä jossa se on sallittu.

Huomautuksessa kerrotaan että 4/5 on kansallinen poikkeama. Esikuvan normissa käytetään kertoimena 2/3. Perusteluna on käytetty johtimien kuormitusastetta ja loppulämpötiloja.

Kun mittaus suoritetaan, on selvää että olosuhteet eivät vastaa oikosulku tapahtumassa valitsevia olosuhteita. Näin pienen (2/3) kertoimen käyttöä ei voida perustella pelkästään johtimen lämpötilasta johtuvalla resistanssin kasvulla. Esikuva standardissa on todennäköisesti pyritty huomioimaan muiden tekijöiden lisäksi oikosulkukohdan ylimenovastus (kuten valokaari) joka pienentää vikavirtaa.

Yleensä pienimmän vikavirran laskennoissa käytetään jännitekerrointa c jolla huomioidaan verkon suureiden vaihtelu ja vikapaikan ylimenovastus (ainakin osittain).

Resistanssin kasvu

Impedanssi Z_s muodostuu resistanssista ja reaktanssista. Resistanssi kasvaa kun johdin lämpenee kuormitusvirrasta ja oikosulkuvirtapulssin aikana. Tämä tulisi huomioida kun vikapiirin impedanssia lasketaan. Mielellään niin, että laskenta myös huomioi johtimen kuormitusasteen. Sallitut mitoituslämpötilat (alku- ja loppulämpötilat) on annettu SFS 6000.

Oikosulkuvirran laskentaan liittyvät muut määräykset

Asennusmääräyksien kohta 434 käsittelee oikosulkusuojasta.

Kohdassa määrätään että jokainen virtapiiri on varustettava oikosulkusuojalla, joka katkaisee piirin oikosulkuvirran ennen kuin se aiheuttaa vaaraa, joka johtuu johtimen ja liitosten lämpötilasta tai oikosulkuvirran mekaanisista vaikutuksista.

Kohdassa 432 annetaan kaava jolla voi laskea oikosulun sallitun kestoajan eri kaapelityypeille:

$$t = \left(k \times \frac{A}{I} \right)^2$$

t on oikosulun kesto aika s

A on johtimen poikkipinta (mm²)

I on todellinen oikosulkuvirran tehollisarvo (A)

k on kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat.

SFS 6000 antaa taulukon jossa k arvot on annettu tavanomaisille vaihejohtimille eri eristysmateriaaleille. Valitettavasti taulukosta on jäänyt pois konsentrisen pe johtimen arvot. Suomessa käytetään yleisesti AMCMK ja MCMK kaapeleita jossa on konsentrisen johdin. Tarkemmin johtimien lyhytaikaista virtakestoisuuden laskentaa selvitetään standardissa IEC60949.

Suoja päästää läpi energiapulssin (I²t) joka ei saa aiheuttaa johtimen lämpötilan nousua yli sallittujen arvojen. Tässä yhteydessä on huomattava että oikosulun alussa esiintyy asymmetriaa (epäsymmetriaa) ja usein myös tasavitakomponentti joka lisää sitä energiaa jonka suoja päästää läpi.

SFS 6000 määrää että oikosulkuvirta on määritettävä tarpeellisissa asennuksen pisteissä laskemalla tai mittaamalla. On suositeltavaa että suunnittelun yhteydessä suoritetaan tarpeelliset laskennat jotka sitten varmistetaan mittaamalla.

SFS 6000 velvoittaa jakeluverkon haltijan antamaan suunnittelijalle ja rakentajalle liittymän mitoitusta ja suojausta varten tarpeelliset tiedot. Käytännössä tämä tarkoittaa että verkon haltijalta suunnittelija saa liittymispisteen maksimi ja minimi oikosulkuvirrat tai vastaavat impedanssiarvot.

Oikosulun mekaanisia vaikutuksien määrittelyssä käytetään vertailuarvona laskettua sysäysoikosulkuvirtaa. Tätä arvoa verrataan sitten kaapeli ja laitevalmistajien antamiin kestoisuus arvoihin. Sysäysvirran voi laskea esimerkiksi [MITOITUS](#) ohjelmalla.

IEC pohjaisin asennusmääräyksiin (SFS 6000) siirryttiin Suomessa 1990 luvun alussa. Tässä yhteydessä ei katsottu tarpeelliseksi antaa standardin taseisia tarkempia ohjeita miten laukaisuehtojen tarkistus tulisi suorittaa.

3. Oikosulkuvirtojen laskenta IEC 60909 mukaan.

[MITOITUS](#) ohjelma laskee pääsääntöisesti vikavirtoja IEC 60909 mukaisesti.

IEC 60909 laskentamenetelmät ovat tarkoitettu lähinnä välijännitepuolen ja pääjakeluverkon laskentoihin. Siinä lasketaan minimi 1-vaiheisia vikavirtoja lähinnä verkon suojareleasetuksia varten.

Minimi vikavirtojen laskennassa muunnetaan resistanssit kuormitusvirran ja oikosulkuvirtapulssin nostamaan keskimääräiseen lämpötilaan. Lämpötilojen oletusarvoja voidaan ohjelmissa asettaa.

Koska johtimen ”oikea” lämpötila muodostuu kuormituksesta ennen oikosulkua ja oikosulkupulssista joka on ajallisesti rajoitettu (tarkoitus on katkaista vikapiiri) niin oikean laskentalämpötilan arviointi on luonnollisesti haastelista.

4. Laukaisuehtojen tarkistus MITOITUS ohjelmalla

Ruotsalaiset siirtyivät myös 1990 luvun alussa asennusmääräyksiin joiden esikuvastandardina ovat IEC 60364 standardit.

Ruotsalaiset julkaisivat hyvin nopeasti 1991 kolme standardia jotka käsittelevät laukaisuehtoja (poiskytkentäehdot, ruotsiksi: utlösningvillkoren).

Aluksi oli jonkin verran ongelmia kun standardit ja turvallisuusmääräykset antoivat vähän ristiriitaisia laskentamenetelmiä. Tänäpäin sekä varmuusmääräykset (Starkströmsföreskrifterna) ja standardit käyttävät samoja menetelmiä. Suomessa vastaavia varmuusmääräyksiä ei enää ole käytössä.

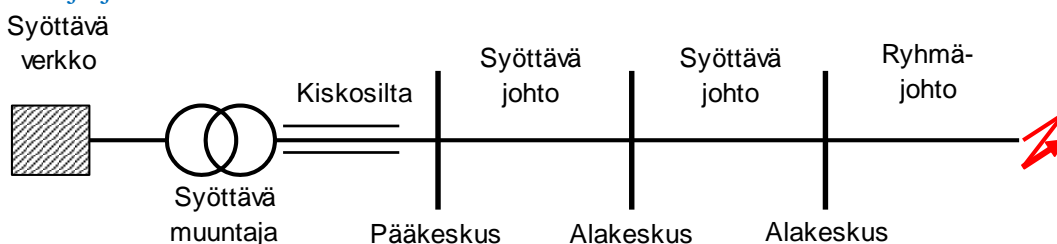
Seuraavassa käydään lyhyesti läpi laskentamenetelmän periaatteet. Lisätietoa laskentamenetelmästä löytyy ohjelmien käyttöoppaista.

Laskentaan liittyvät perusedellytykset ja rajoitukset

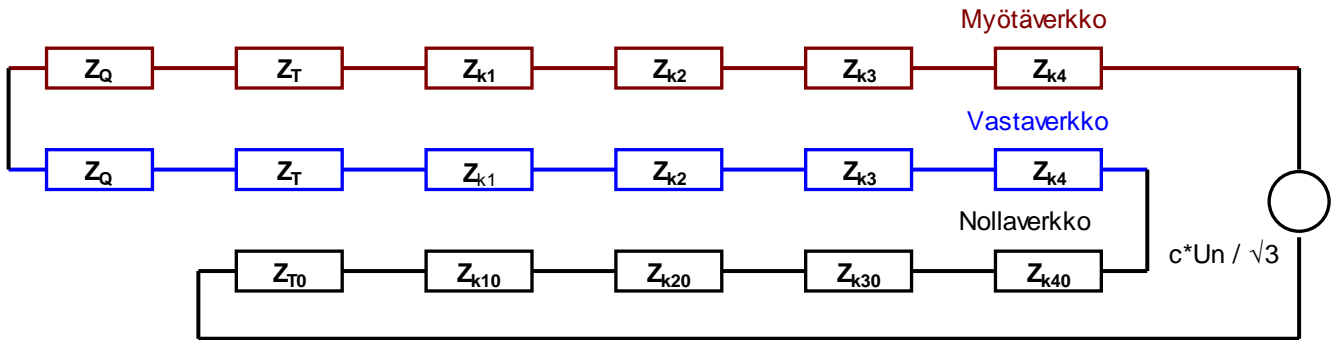
- Jos syöttävällä verkolla on eri kytkentävaihtoehtoja, tulee käyttää vaihtoehtoa joka antaa suurimman impedanssin.
- Resistanssit muunnetaan korotettuun lämpötilaan.
- Keskuksiin liitettyjen moottorien vaikutusta oikosulkuvirtaan ei huomioida.
- Oletetaan että vikapiiriin ei synny uusia vikoja. Siis yksivaiheinen maasulku pysyy yksivaiheisena maasulkuna jne.
- Rajoitetusti huomioidaan vikapaikan ylimenovastus ja valokaari jännitekertoimella c.
- Ryhmä- ja liitäntäkaapelien lyhytaikainen virtakestoisuus tarkistetaan.
- Kun rinnankytkettyjä kaapeleita käytetään syöttävinä johtoina, oletetaan kaikkien osajohtimien olevan kunnossa.
- Rinnankytkettyjen ryhmä- ja liitäntäkaapeleiden PE johtojen oletetaan olevan kunnossa.

Kytkenäkaavio ja sijaiskytkentä

TN – järjestelmä



Vastaava sijaiskytkentä symmetrisillä komponenteilla on:



Vastaava laskenta kaava:

$$I_{1k} = \frac{c \cdot 3 \cdot U_n}{\sqrt{3}(Z_1 + Z_2 + Z_0)} \quad \text{jossa:}$$

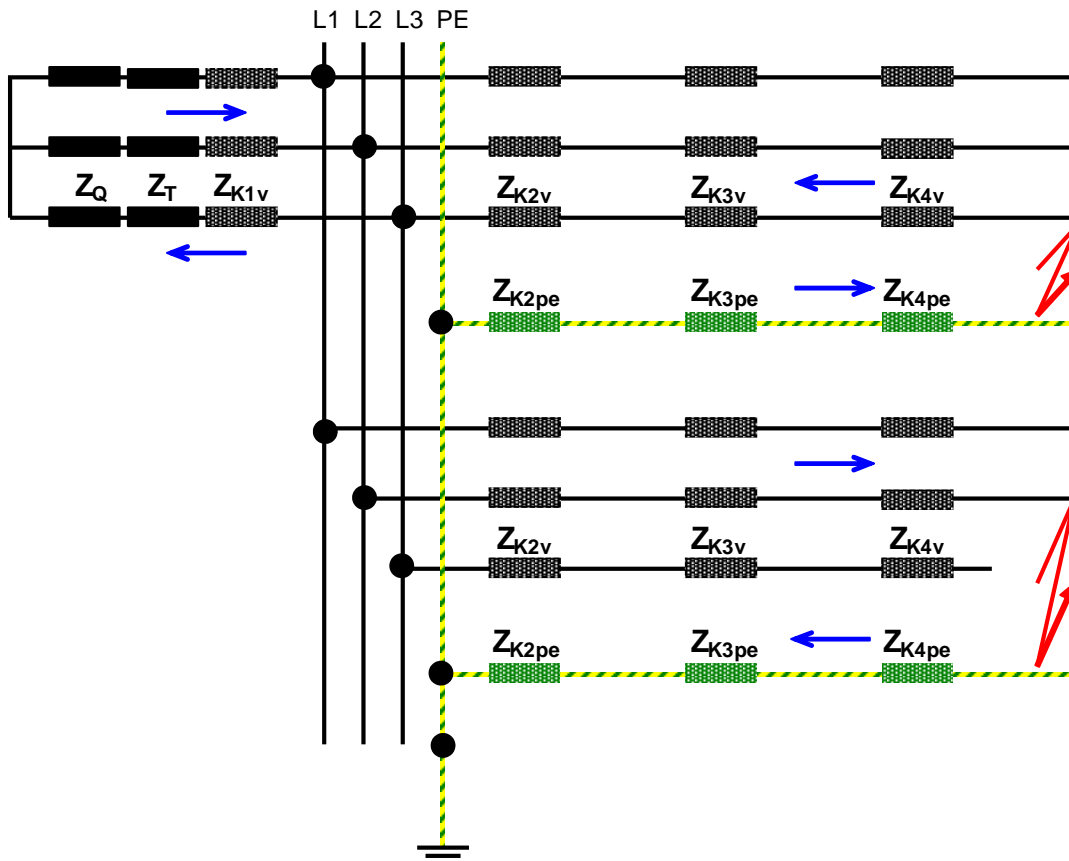
c on jännitekerroin

U_n on pääjännite

Z_1, Z_2 ja Z_0 on myötä-, vasta- ja nollaimpedanssit (nollaimpedanssi katso kohta 6)

IT - järjestelmä

Laskennassa vian oletetaan tapahtuvan kahdessa samanlaisessa piirissä eri vaiheissa. Eli kaksoismaasulku.



Laskentakaava IT verkon poiskytkentäehtojen tarkistuksessa:

$$I_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_v}{2 \cdot ((Z_{K1v} + Z_{K1pe}) + (\cdot K2) + (\cdot K3) + (\cdot K4) + Z_Q + Z_T + Z_{K1v})}$$

Jännitekerroin c

Jännitekerrointa käytetään mm. seuraavista syistä:

- verkon jännitevaihtelut
- muuntajien käämikytkimien ja väliottokytkimien asento
- kuormitusten ja kapasitanssien vaikutukset
- generaattoreiden ja moottoreiden muutosilmiöt
- vikakohdan ylimenovastus (esimerkiksi valokaari)

MITOITUS ohjelmassa jännitekerroin on aseteltavissa. Oletusarvona käytetään $c = 0,7$.

Syöttävä verkko

Syöttävän verkon impedanssin tarkka laskeminen edellyttää tietoa verkon kytkennöistä ja arvoja laitteista. Syöttävän verkon impedanssin vaikutus lopputulokseen on pienjännitepuolen pienimmän vikavirran laskennassa vähäinen. Tästä syystä on verkkoimpedanssin laskentaa yksinkertaistettu.

Johdot

Ohjelmalla voi laskea sekä PVC- että PEX-, EPR- tai XLPE-eristeisiä kaapeleita. Johtojen resistansseihin on lisätty vaihtovirran aiheuttama lisäresistanssi.

Konsentrisen johtimen lankojen lukumäärä ja poikkipinta on ruotsalaisten kaapeleiden mukainen. Näitä tietoja tarvitaan kun lasketaan konsentrisen johtimen lyhytaikaista virtakestoisuutta.

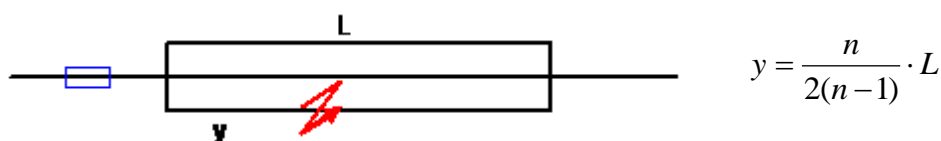
Ryhmä ja liittäntäjohtodon vaihejohtimelle ja pe johtimelle lasketaan resistanssin kasvukerroin, joka huomioi resistanssin keskimääräisen kasvun oikosulkuvirran vaikutuksen aikana.

$$R_L = q \times R_{L20} \quad q = \frac{B_0 + \Theta_i}{B_0 + 20} \times \frac{e^{p \cdot v} - 1}{p \cdot v}$$

p on suojan läpi päästämä I^2t jaettuna kaapelin lyhytaikaisella virtakestoisuudella I^2t . Kertoimen maksimi arvo = 1. Näin tulee myös tarkistettua, ettei kaapelin lyhytaikainen virtakestoisuus ylitä.

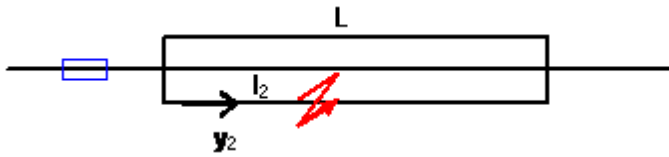
Syöttävissä johdoissa käytetään arvioitua kiinteätä lämpötilaa johon resistanssit muunnetaan. Oletusarvona on 80°C , arvo on aseteltavissa.

Rinnakkaiskaapelipiireissä on tärkeä tietää mikä on laukaisuehtojen kannalta epäedullisin vikapaikka. Kun käytetään yhteistä suojaa, on epäedullisin vikapaikka alla olevan kuvion mukainen:



$$y = \frac{n}{2(n-1)} \cdot L$$

Sama koskee suojan läpi päästämää I^2t tarkistusta



$$y_2 = \frac{n}{3(n-1)} \cdot L$$

Suojat

On tärkeää että suojien toleranssit huomioidaan. Kun tarkistetaan, että vikavirta varmasti laukaisee suojan, on käytettävä suojan laukeamisen yläraajakäyrää.

Kun käytetään sulaketta suojana, on suositeltavaa suorittaa mitoitus IEC 60269 sulakkeiden sulamisvirtakäyrien mukaan. Tämä varmistaa että lähdössä voidaan käyttää valmistajasta riippumatonta normin mukaista sulaketta.

Jos mitoituksessa käytetään valmistajan mukaisia sulamisvirtakäyriä, on huomioitava valmistustoleranssi. Keskuslähtöön on syytä merkitä kenen valmistajan sulakkeilla mitoitus on tehty. IEC sallii sulakkeille ”suuren” toleranssin. Valmistajat voivat sijoittaa sulakkeen sulamisvirtakäyrän vapaasti IEC normissa sallittujen rajojen sisälle.

Oikosulkusuojan on toimittava myös vaikka käytetään vikavirtakytkintä. Vikavirta kulkee tässä tapauksessa nolla ja vaihejohtimissa. Ohjelmalla voidaan tarkastaa myös vikavirtakytkimillä varustettuja piirejä niillä poikkipinnoilla jossa vaihe ja nollajohdin ovat samansuuruisia.

Oikosulkuvirran mittaus

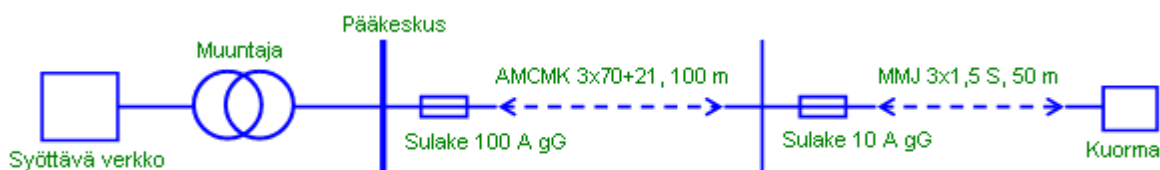
Kun oikosulkuvirtoja mitataan, ei verkon tila vastaa pahinta vikatilannetta (resistanssien lämpötilat ja c-kerroin liittyvät asiat). Siksi mittaustulos antaa aina liian positiivisen tuloksen. Lisäksi ko. mittarit ovat erittäin häiriöherkkiä. Ohjelma laskee oikosulkuimpedanssin ja vikavirran. Johtojen lämpötilat ovat aseteltavissa vastaamaan mittaolosuhteita.

Kun mittaustulos ja ohjelman antama tulos ovat yhtäpitäviä, tulee tavallaan sekä mittaus että laskenta tarkistettua. Huomaa kuitenkin TN verkon nollaimpedanssin tarkkuus, kohta 6.

PE-johtimen jatkuvuusmittaus.

Asennusmääräykset edellyttävät että ennen asennuksen käyttöönottoa suoritetaan Pe:n jatkuvuusmittaus. Ohjelma laskee resistanssin jolla mittaustulos voidaan varmistaa.

5. Esimerkki



Muut lähtötiedot selviävät alla olevasta MITOITUS ohjelman käyttöliittymästä.

LÄHTÖTIEDOT

Välijänniteverkko
 Maks. 3-vaihe oikosulkuvirta 5,8 kA
 Min. 3-vaihe oikosulkuvirta 2,9 kA

3-vaihemuuntaja 1
 Toisiojännite 420 V
 Oikosulkuimped. uk (Zk) 4,5 %
 Kuormitushäviöt Pk 4,5 kW

Liitäntä keskukseseen
 0 PEN PE* 0
 L1* L2 L3 0
 Pituus 10 m
 k = 1,00

Maadoitusjärjestelmä
 Verkon nimellisjännite 400 V
 Suoraan maadoit. järjestelmä

Pääkeskus
 Moottorikuorma 100 kW 200 A
 Muu kuormitusvirta ja cos A
 Syöttävät johto AMCMK 70
 Pituus 100 m
 k = 0,75
 Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 100 A

Keskus
 Moottorikuorma 50 kW 100 A
 Muu kuormitusvirta ja cos A
 Syöttävät johto AMCMK 240
 Pituus m
 k = 0,69
 Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 200 A

Dyn 11

PK1

PE21

PE72

RK1

PE1,5

PE10

LASKENNAN TULOS

Keskuksen PK1 impedanssi
 Muuntaja syöttää

Oikosulku muunt. navat
 Max Ik3 = 12,9 kA
 Max is = 18 kA

is = 17,4 kA
 Max Ik3 = 9,03 kA
 Max Ik3+MOT = 10,7 kA
 Max is = 20,4 kA
 Min Ik3 = 5,55 kA
 Min Ik2 = 4,81 kA
 Max Ik1 8,4 kA
 Min Ik1 = 5,29 kA

Max Ik3 = 3,99 kA
 Max Ik3+MOT = 4,59 kA
 Max is = 6,8 kA
 Min Ik3 = 2,19 kA
 Min Ik2 = 1,89 kA
 Max Ik1 1,7 kA
 Min Ik1 = 0,91 kA

Max Ik3 = 3,99 kA
 Max Ik3+MOT = 4,59 kA
 Max is = 6,8 kA
 Min Ik3 = 2,19 kA
 Min Ik2 = 1,89 kA
 Max Ik1 1,7 kA
 Min Ik1 = 0,91 kA

Laukaisuvirta I< **81 A**
 Pienin vikavirta L-PE; TN **99 A**
 Pienin vikavirta L-L; TN **176 A**
 Pienin 3-vaihe vikavirta; TN **204 A**

Vertailuarvot mittaukselle
 Ik L-PE 167 A
 Ik L-L 298 A
 PE:n jatkuvuusmittaus
 R, PE = 617 mΩ
 R, PE+L = 1234 mΩ

IT verkon tarkastelu:

LÄHTÖTIEDOT

Välijänniteverkko
 Maks. 3-vaihe oikosulkuvirta 5,8 kA
 Min. 3-vaihe oikosulkuvirta 2,9 kA

3-vaihemuuntaja 1
 Toisiojännite 420 V
 Oikosulkuimped. uk (Zk) 4,5 %
 Kuormitushäviöt Pk 4,5 kW

Liitäntä keskukseseen
 0 PEN PE* 0
 L1* L2 L3 0
 Pituus 10 m k = 1,00

Maadoitusjärjestelmä
 IT Maasta erotettu järjestelmä
 Verkon nimellijännite 400 V

Pääkeskus
 Moottorikuorma 100 kW 200 A
 Muu kuormitusvirta ja cos A
 Syöttävät johto AMCMK 70 Pituus 100 m k = 0,75
 Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 100 A

Keskus
 Moottorikuorma 50 kW 100 A
 Muu kuormitusvirta ja cos A
 Syöttävät johto AMCMK 240 Pituus m k = 0,69
 Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 200 A

Ryhmäkeskus RK1
 Oikosulkusuoja Sulake gG IEC Poiskytkentäaika 0,4 s In 10 A
 Ryhmäjohto MMJE 1,5 Pituus 50 m k = 0,69 Iz = 13 A
 Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 6 A
 Liitäntäjohto MCMK 10 Pituus m k = 1 Iz = 63 A
 Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 50 A
 Kuormitusvirta ja cos 5 A 0,8

LASKENNAN TULOS

Keskuksen PK1 impedanssi
 Muuntaja syöttää

Oikosulku muunt. navat
 Max Ik3 = 12,9 kA
 Max is = 18 kA

PK1
 In = 433 A
 U = 420 V
 Zv = 2,06 mΩ 37°
 Vaaka 480 A
 Pysty 480 A
 Iz = 500 A
 du = 0,22 %
 is = 17,4 kA
 Max Ik3 = 9,03 kA
 Max Ik3+MOT = 10,7 kA
 Max is = 20,4 kA
 Min Ik3 = 5,55 kA
 Min Ik2 = 4,81 kA

PE21
 In = 100 A
 Iz = 119 A
 du = 2,05 %
 Max Ik3 = 3,99 kA
 Max Ik3+MOT = 4,59 kA
 Max is = 6,8 kA
 Min Ik3 = 2,19 kA
 Min Ik2 = 1,89 kA

PE72
 In = 200 A
 Iz = 242 A
 du = 0,00 %
 Max Ik3 = 3,99 kA
 Max Ik3+MOT = 4,59 kA
 Max is = 6,8 kA
 Min Ik3 = 2,19 kA
 Min Ik2 = 1,89 kA

PE1,5
 In = 10 A
 Iz = 13 A
 du = 1,26 %
 Laukaisuvirta I< 81 A
 Pienin vikavirta L-PE; IT 86 A
 Pienin vikavirta L-L; IT 176 A
 Pienin 3-vaihe vikavirta; IT 204 A

PE10
 In = 50 A
 Iz = 63 A
 du = 0 %
 Vertailuarvot mittaukselle
 Ik L-PE A
 Ik L-L 298 A
 PE:n jatkuvuusmittaus
 R, PE = 617 mΩ
 R, PE+L = 1234 mΩ

Kun halutaan tarkastella alakeskuksen syöttökaapelin arvoja, kirjoitetaan sen pituudeksi 0 m jolloin tarkasteltavaksi keskuksesi tulee pääkeskus.

TN- verkko

Ryhmäkeskus RK1

412,1 V 200 A

Oikosulkusuoja
 Sulake gG IEC
 Poiskytkentäaika 5 s In 100 A

Ryhmäjohto
 AMCMK 70 PE21
 Pituus 100 m k = 0,69 Iz = 110 A

Liitäntäjohto
 MCMK 10 PE10
 Pituus m k = 1 Iz = 63 A

Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 80 A
 Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 50 A
 Kuormitusvirta ja cos A

28,1 mΩ 70,8°
 ↓ 1,7 kA²s
 L/PE 31,5 / 20,5 kA²s
 du = 0 %

1 Syöttö välimuuntajalle 1 Kytetty

Max Ik3 = 9,03 kA
 Max Ik3+MOT = 10,13 kA
 Max is = 19,5 kA
 Min Ik3 = 5,55 kA
 Min Ik2 = 4,81 kA
 Max Ik1 = 8,4 kA Min Ik1 = 5,29 kA

Laukaisuvirta I_c **580 A**
 Pienin vikavirta L-PE; TN **927 A**
 Pienin vikavirta L-L; TN **1925 A**
 Pienin 3-vaihe vikavirta; TN **2223 A**

L-PE ← Pituus Iteration

Vertailuarvot mittaukselle
 Ik L-PE 1557 A
 Ik L-L 3485 A
 PE:n jatkuvuusmittaus
 R, PE = 89 mΩ
 R, PE+L = 134 mΩ

IT-verkko

Ryhmäkeskus RK1

412,1 V 200 A

Oikosulkusuoja
 Sulake gG IEC
 Poiskytkentäaika 5 s In 100 A

Ryhmäjohto
 AMCMK 70 PE21
 Pituus 100 m k = 0,69 Iz = 110 A

Liitäntäjohto
 MCMK 10 PE10
 Pituus m k = 1 Iz = 63 A

Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 80 A
 Maks. sulake ylikuormitussuojana In = 50 A
 Kuormitusvirta ja cos A

28,1 mΩ 70,8°
 ↓ 1,7 kA²s
 L/PE 31,5 / 20,5 kA²s
 du = 0 %

1 Syöttö välimuuntajalle 1 Kytetty

Max Ik3 = 9,03 kA
 Max Ik3+MOT = 10,13 kA
 Max is = 19,5 kA
 Min Ik3 = 5,55 kA
 Min Ik2 = 4,81 kA

Laukaisuvirta I_c **580 A**
 Pienin vikavirta L-PE; IT **808 A**
 Pienin vikavirta L-L; IT **1925 A**
 Pienin 3-vaihe vikavirta; IT **2223 A**

L-PE ← Pituus Iteration

Vertailuarvot mittaukselle
 Ik L-PE A
 Ik L-L 3485 A
 PE:n jatkuvuusmittaus
 R, PE = 89 mΩ
 R, PE+L = 134 mΩ

SFS 6000 kaavoilla:

SFS 6000 annetuilla kaavalla voi laskea monella tavalla					$Z_s \times I_a \leq U_0$	
Vikavirtaohjelmasta saadaan impedanssit						
	Pituus	Z	kulma	R	X	
Verkko		0,028	70	0,00958	0,02631	
70 mm Al	100			0,0445	0,0076	vaihe
				0,089		pe
1,5 mm Cu	50			0,605	0,0055	vaihe
				0,605		pe
	Zs =	1,35365	ohm	1,35308	0,03941	
	Uo =	230	V			
	la =	170	A TN	147,1	A IT	
Lasketaan vielä niin että resistanssi muunnetaan lämpötilaa 80 C						
Kerroin						
0,004	Zs =	1,678278	ohm	1,677815	0,03941	
	Uo =	230	V			
	la =	137	A TN	118,7	A IT	
0,7	la =	96	A TN	83,1	A IT	
Huomioidaan sitten vielä c kerroin						
0,7	la =	96	A TN	83,1	A IT	
AMCMK 70 kaapelin osalta sama laskelma						
	Zs =	0,14704	ohm	0,14308	0,03391	
	Uo =	230	V			
	la =	1564	A TN	1354,6	A IT	
Kerroin						
0,004	Zs =	0,180627	ohm	0,177415	0,03391	
	Uo =	230	V			
	la =	1273	A TN	1102,7	A IT	
0,7	la =	891	A TN	771,9	A IT	

Vertailu taulukko

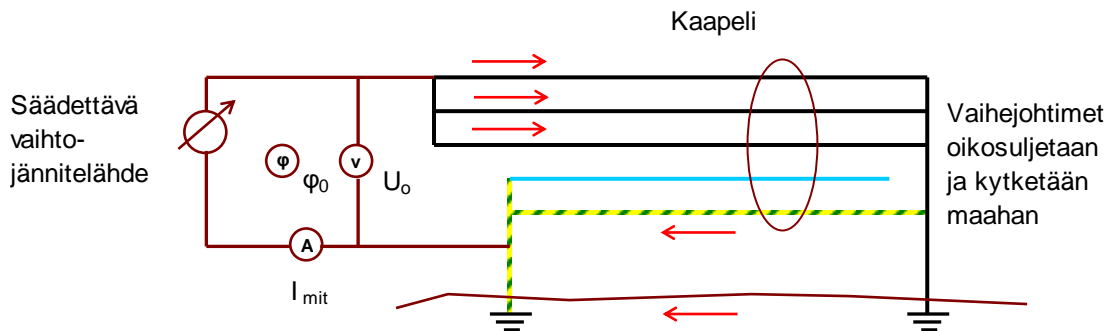
	Laukaisu- virta	Mitoitus	SFS 6000		
			R 20 C	R 80 C	R 80 ja c
TN 100 A, 5s	580	927	1564	1273	891
IT 100 A, 5s	580	808	1354	1102	772
TN 10 A, 0,4s	80	99	170	137	96
IT 10 A	80	86	147	119	83

Tässä tapauksessa saadaan SFS 6000 kaavalla (tai oikeammin ehdolla) suhteellisen hyviä tuloksia, kun vaan muistetaan huomioida resistanssin lämpötila ja c kerroin (eli sähköteknisiä perusasioita). Näin ei välttämättä ole kaikissa verkko vaihtoehdoissa.

Kätevintä ja myös tuloksen kannalta turvallisinta on käyttää tätä varten valmiiksi kehiteltyä laskentaohjelmaa kuten **MITOITUS** tai **Pituus** ohjelmat.

6. Laskelmien tarkkuus ja nollaimpedanssi

TN verkkojen laskennoissa käytetään symmetrisiä komponentteja kun lasketaan pienintä vikavirtaa. Menetelmä edellyttää nollaimpedanssien käyttöä. Kolmivaihejohdon tarkka nollaimpedanssi voidaan vaan saada vain mittaamalla valmis asennus.



U_0 on mittausjännite

I_{mit} on mittausvirta. $I_0 = 1/3 I_{mit}$ (yhden vaiheen virta)

φ_0 on vaihekulma

Nollaimpedanssi voidaan mittaustuloksen perusteella laskea kaavoilla:

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0} \quad R_0 + jX_0 = \frac{U_0}{I_0} (\cos \varphi_0 + j \sin \varphi_0)$$

Jos nollavirran voidaan olettaa kulkevan vain pe johtimessa, on nollaimpedanssin resistanssi:

$R_0 = R_v + 3xR_{pe}$ jossa R_v on vaihe- ja R_{pe} on pe-johtimen resistanssi. Katso kuva yllä.

Jos nollavirta pääsee kulkemaan ulkopuolisia reittejä pitkin, on R_0 pienempi. Oletamme että nollavirta kulkee ainoastaan pe johtimessa.

Kaapelin nollareaktanssi X_0 on:

$X_0 \approx 4 \times X_v$ (vaihereaktanssi) kun nollajohdin on kerrattu yhdessä vaihejohtimien kanssa.

$X_0 \approx X_v$ kun pe johdin on konsentrinen johdin (kuparilankakerros)

Nollaimpedanssista johtuen TN verkon laskennasta tulee likimääräinen. Pe johtimen rinnalla saattaa olla muita rinnakkaisia johtimia, vesijohtoja ja muita metalliosia jotka pienentävät nollavirtaa. Yllä esitetyt nollareaktanssiarvot ovat lisäksi ylimalkaiset. Merkitys pienenee kun kaapelien resistanssit ovat huomattavasti suurempia kuin reaktanssit.

IT verkon laskennassa ei nollaimpedanssia vastaavaa tarkkuusongelmaa ole.

Laskennan tarkkuuteen vaikuttaa myös vikakohtan ylimenovastus. Oikosulkuvirta lämmittää vikakohtaa ja johtaa useimmissa tapauksissa vikakohtan vastuksen pienenemiseen / vikavirran kasvuun.

Vaikka kaapeliasennus on huolellisesti mitoitettu, on olemassa vaara että syntyy ns. jaksottainen valokaari. Valokaari syttyy ja sammuu jaksottain jolloin suojan laukaisuaika pitenee.

On huomattava että jaksottaisia valokaaria voi esiintyä:

- useimmiten väliaikaisasennuksissa ja alakeskuksia syöttävissä kaapeleissa
- useimmiten muovieristeisissä kaapeleissa.
- kaikilla poikkipinnoilla, siis sekä pieni että suuri poikkipintaisissa kaapeleissa
- sekä kuivissa että märissä ympäristöissä.

Alla muutamia ohjeita jolla estetään jaksottaisen valokaaren syntyä:

- sulaketta ei tule mitoittaa yli kuormitustarvetta. Huomaa myös että sulake kestää varsin suuria lyhytaikaisia virtoja. Mitä lyhempi laukaisuaika, sitä pienempi on riski jaksottaisen valokaaren syntymiselle. Tarkkaa tietoa aikarajasta ei ole, on mutta se lienee vähän alle 0,5 s.
- huolellinen asennus. Esimerkkinä mainittakoon että kaapeleita ei tule niputtaa.
- kaapeliasennuksia tulee suojata mekaanisilta vaurioilta.
- kolmivaiheisesti laukaisevat suojat.

Suojien laukaisutoleranssi vaikuttaa luonnollisesti myös laskelmien korrelointiin käytännön kanssa. Kun toleranssi on tiedossa, voidaan sen vaikutus huomioida mitoituksissa.

Vaikka laskennan tarkkuus ei TN verkossa ole kovin hyvä niin laskeminen on kuitenkin ainoa tapa varmistaa että laukaisuehdot (poiskytkentäehdot) täyttyy. Valitulla laskentamenetelmällä ollaan todennäköisesti aina jonkin verran varmallalla puolella.

7. Laukaisuehdot ja paloturvallisuus

Katsotaan esimerkin avulla voidaanko ”liian pitkällä kaapelilla” aikaansaada olosuhteet josta syntyy ilmeinen tulipalovaara.

Käytetään esimerkkinä MMJ 5x 1,5 mm² kaapelia. Sen sallittu kuormitus vapaasti ilmassa, 25 C^o ympäristölämpötilassa, on 19 A (kolme kuormitettua johdinta).

Tyypillinen teollisuus asennus, korjauskerroin 0,7:

- Kaapelit on asennettuna kaapelitikkaille (asennustapa L)
- Kaapelitikkaiden pystysuora etäisyys vähintään 300 mm (hyllyväli)
- Kaapelitikkaiden lukumäärä 3 tai enemmän
- Kaapelit yhdessä kerroksessa ja koskettavat toisiaan
- Kaapeleiden lukumäärä 9 tai enemmän

Ympäristölämpötilan oletetaan olevan 30 C^o, korjauskerroin 0,94.

Kokonaiskerroin on siis $0,7 \times 0,94 = 0,658$. Eli sallittu jatkuva kuormitusvirta on $19 \times 0,658 = 12,5$ A. Tällä kuormitusvirralla on kaapelin loppulämpötila 70 C^o.

Lasketaan seuraavaksi millä virralla kaapeli saavuttaa lämpötilan 160 C°. Käytetään kaavaa:

$$\Delta v = \Delta v_n \left(\frac{I}{I_n} \right)^2$$

I_n on kaapelille sallittu virta eli 12,5 A

I on uusi kuormitusvirta, arvo jota haetaan.

Δv on lämpötilan nousu virralla I . Loppulämpötila = Δv + ympäristölämpötila 30 C°.

Δv_n on lämpötilan nousu virralla I_n eli 70–30 = 40 C°

Virralla $I = 22,6$ A saavutetaan johtimen lämpötila 160 C°. Ja saman kaavan mukaan 30 A virta nostaa johtimen lämpötilan 260 C°.

10 A gG sulake sallii 22,6 A virtaa yli 1 h (IEC 60209 ylärajakäyrä) ja 30 A virtaa n.17 min.

160 C PVC sulaa ja vaiheet lähentyä toisiaan. Tässä tilanteessa saattaa syntyä kipinäointia joka sytyttää eristeen tai ympäristön. Kun huomioidaan että vioittunut kaapeli viereisiä kaapeleita on kaapelipalo myös mahdollinen.

Vikapiirin impedanssi tulisi olla noin 8,8 ...6,6 ohmia. Esimerkiksi vikakohdan ylimenovastus noin 3 ohmia ja 115...190 m kaapelia.

Otetaan vielä toinen esimerkki. Oletetaan että kaapeli on asennettu nippuun jossa on 12 muuta kaapelia. Asennuksen korjauskerroin on silloin $0,94 \times 0,41 = 0,385$.

70 C° lämpötila saavutetaan silloin virralla 7,32 A ja 160 C° virralla 13.2 A. Vähän yli 15 A saavutetaan 200 C° lämpötila. Jos kaapelin loppupäässä on pistorasioita, on mahdollista että pelkällä kuormitusvirralla saadaan aikaan palovaarallisia olosuhteita.

Etenkin yleisötilojen näyttämöasennuksissa tulisi mitoitus ja asennukset suorittaa siten että paloturvallisuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. Johdonsuojakytkimien käyttö (oikein mitoitettuna), riittävästi pistorasiaryhmiä ja kaapelien asennus niin että niputusta ei sallita, on paras tapa estää sähköistyksestä aiheutuvia paloja. Mitoituksessa on myös muistettava että voimakkaiden valojen käyttö ja erilaisten laitteistojen häviötehot nostaa ympäristön lämpötilaa.

8. ≥ 32 A ryhmäjohtojen laukaisuaika

Sääntö että ≥ 32 A ryhmäjohtojen laukaisuaikana ei saa käyttää 5 s laukaisuaikaa aiheuttaa tulkintaongelmia. 32 A raja ei ole kovin yksiselitteinen. Onko raja sama aM ja gG sulakkeilla? Vai määritelläänkö raja esimerkiksi moottorikäynnistimen nimellisvirran mukaan. Miten raja määritellään katkaisijälähdöille? Säännön orjallisesta noudattamisesta syntyy myös vähän kummallisia mitoituksia. Alla esimerkki:

Kuvitellaan esimerkki jossa 15 kW moottori ja 11 kW moottori on sijoitettu 172 m päähän keskuksesta vierekkäin. 15 kW moottorille sallitaan 5 s laukaisuaika ja 11 kW moottorille 0,4 s laukaisuaika. 15 kW moottorille käy silloin MCMK 16 kaapeli (aM sulake 40 A) 11 kW moottori 0,4 s (aM sulake 32 A) laukaisuajalla vaatisi MCMK 35 kaapelin jotta poiskytkentäaika ehdot täyttyvät.

Olisi varmaan paikallaan poistaa kyseinen sääntö tai ainakin selventää miten sääntöä on tulkittava. Mikä on säännön alkuperäinen tarkoitus?