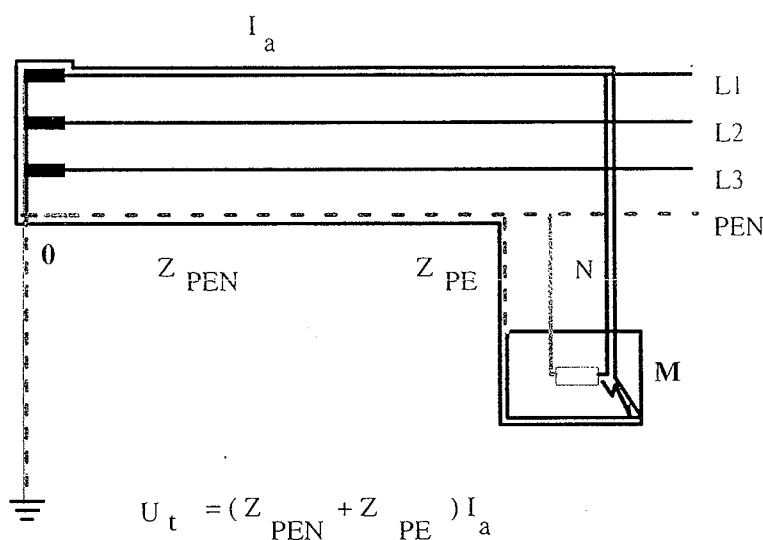


Pääpotentiaalintasaus

Sen lisäksi, että kosketusjännite tulee kytkeä nopeasti pois, vian aikana esiintyvän kosketusjännitteen suuruutta on pyrittävä rajoittamaan. Tämä voidaan tehdä yhdistämällä sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat ja muut johtavat osat suunnilleen samaan potentiaaliin eli tekemällä potentiaalintasaus. Sähköiskulta suojaamiseksi tehdystä potentiaalintasauksesta käytetään myös nimitystä suojaava potentiaalintasaus.



KUVA 41.9. Yksinkertaistettu kuva TN-järjestelmästä, josta käy ilmi TN-järjestelmän suojausperiaate. Vaihejohtimen ja jännitteelle alttiin osan (M) välisessä viassa syntyy vikavirta I_a vikavirtapiiriin.

Potentiaalintasaus pienentää vikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä. Potentiaalintasauksen toteutus, katso luku 54.

41.2.1.1 Suojaus TN-järjestelmässä

Vikavirtapiiri

TN-järjestelmässä vikavirtapiiri muodostuu johtavasta piiristä sisältäen kuvan 41.9 mukaisesti vianalaisen vaihejohtimen sekä suojajohtimen, joka on yhdistetty suoraan jännitelähteen keskipisteeseen (PE- tai PEN-johdin, sen mukaan onko kyseessä TN-S- vai TN-C-järjestelmä).

Suurin kosketusjännite

Suurimmalla kosketusjännitteellä U_t tarkoitetaan jännitettä, joka syntyy jännitteelle alttiin osan M ja pisteen 0 välille. Jännite on

$$U_t = I_a \times Z_{PE} \quad (4.1)$$

jossa

Z_{PE} on suojajohtimien impedanssien summa jännitteelle alttiin osan M ja pisteen 0 välillä.

Käytännössä, varsinkin pienillä johdinpoikkipinnoilla, suurin kosketusjännite saadaan yksinkertaistetusta kaavasta

$$U_i = U_0 \times R_{PE} / Z_s \quad (4.2)$$

jossa

U_0 on asennuksen vaihejännite

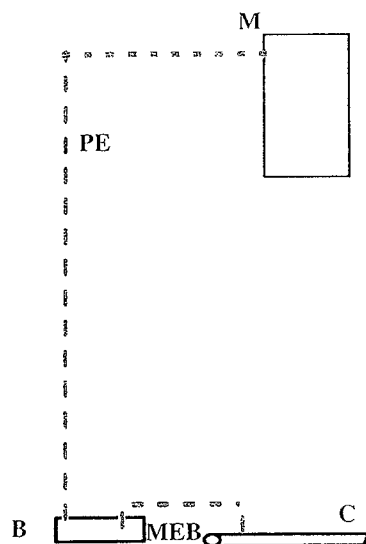
R_{PE} on suojajohtimen resistanssi tarkasteltavan jännitteelle alttiin osan ja referenssipisteen B välillä (ks. kuva 41.10)

Z_s on vikavirtapiirin impedanssi, joka muodostuu jännitelähteen, vian alaisen vaihejohtimen sekä viallisen laitteen jännitteelle alttiin osan ja jännitelähteen välisen suojajohtimen impedansseista.

Referenssipiste B (kuva 41.10) on jännitteelle alttiin osan lähin kohta, jonka potentiaali pysyy vian aikana likimain samana kuin jännitteelle alttiista osasta kosketus-
etäisyydellä olevien muiden johtavien osien potentiaali.

Suurin kosketusjännite on yhtä suuri kuin vikavirran I_a aiheuttama jännitteen-
alenema suojajohtimessa pisteiden B ja M välillä.

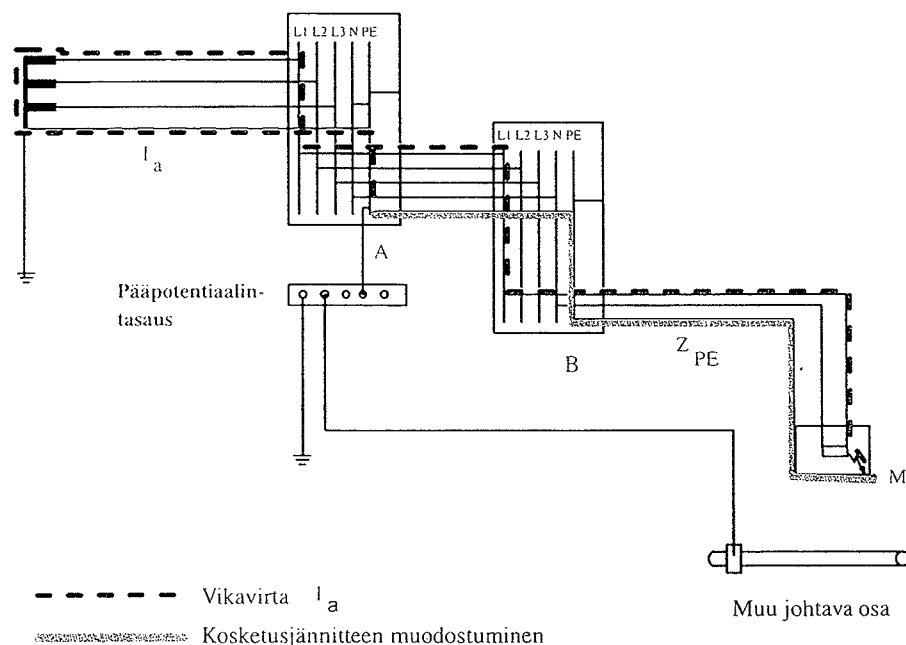
Mikäli vian aikainen jännitteenalenema suojajohtimessa on liian suuri, kosketus-
jännitettä voidaan pienentää tekemällä paikallinen lisäpotentialintasaus lähempänä
jännitteelle alttiita osia, esim. ryhmäkeskuksen luona.



MEB	Pääpotentialintasauskisko
C	Muu johtava osa
B	Referenssipiste
M	Jännitteelle altis osa

KUVA 41.10. Referenssipiste.

Useimmiten referenssipiste on pääpotentialintasauskiskossa.



KUVA 41.11. Kosketusjännitteen muodostuminen vian aikana.

Z_s voidaan laskea, mikäli jännitteiset johtimet ja suojajohtimet ovat vierekkäin ilman ferromagneettisia välikappaleita. Impedanssi voidaan myös mitata.

Reaktanssia ei yleensä tarvitse ottaa huomioon johtimilla, joiden poikkipinta on korkeintaan 35 mm^2 ja mikäli jännitteiset johtimet ja suojajohdin sijaitsevat vierekkäin. Näillä ehdoilla virta I_a on siten

$$I_a = c \times U_0 / (R_l + R_{PE}) \quad (4.3)$$

jossa

- c on sovittu kerroin, joka ottaa huomioon vikavirtapiirin jännitelähteen impedanssin osuuden kokonaisimpedanssista
- R_l on jännitteisen johtimen resistanssi referenssipisteestä jännitteelle alttiiseen osaan
- R_{PE} on suojajohtimen resistanssi referenssipisteestä jännitteelle alttiiseen osaan.

Suurin kosketusjännite U_l saadaan kaavasta

$$U_l = R_{PE} \times I_a = c \times U_0 \times m / (1 + m) \quad (4.4)$$

jossa

- m on tarkasteltavan piirin suojajohtimen ja vaihejohtimen resistanssien suhde.
- Jos johtimet ovat samasta materiaalista, resistanssien suhde on sama kuin tarkasteltavan piirin vaihejohtimen ja suojajohtimen poikkipintojen suhde.

Jos suojajohtimen ja vaihejohtimen poikkipinta on sama, saadaan

$$U_i = c \times U_0 / 2 \quad (4.5)$$

Kun otetaan huomioon edellisissä kappaleissa esitetyt oletukset, suurin kosketusjännite ja poiskytkentäajat voidaan määrittää asennuksen nimellisjännitteen funktiona ottaen huomioon myös parametrit c ja m .

Suojausehtojen soveltaminen käytännössä

Kokemus on osoittanut, että käytännössä on vaikeaa arvioida suurinta kosketusjännitettä.

Ei ole myöskään mahdollista varmistua siitä, että jännitteelle alttiiden osien potentiaalinen nousu ryhmäjohtotasolla ei ylittäisi sallittuja arvoja sellaisissa tapauksissa, joissa vika sattuu muissa ryhmäjohtoissa tai jakelupiireissä.

Suojausta koskevien vaatimusten soveltamisen helpottamiseksi vaaditut poiskytkentäajat on määritetty asennuksen nimellisjännitteestä riippuvina eikä suurimman kosketusjännitteen mukaan. Tällöin on otettu huomioon edellä esitetty suhde näiden kahden jännitteen välillä (kaava 4.4).

Lisäksi on selvitetty eri tekijöiden arvojen vaihtelujen vaikutus suurimpaan kosketusjännitteeseen ja sitä vastaavaan poiskytkentäaikaan.

Nämä tekijät ovat seuraavat:

- Kerroin c , joka vaihtelee välillä 0,6 (esim. piiri, joka on hyvin kaukana jännitelähteestä) ja 1,0 (esim. piiri, jota syötetään suoraan jännitelähteestä).
- Kerroin m , joka vaihtelee tarkasteltavan piirin suojajohtimen ja vaihejohtimen poikkipintojen suhteesta riippuen. Kaapeleilla ja eristetyillä johtimilla suhde m voi olla 1–3.
- Syöttöjännite U_0 , joka voi standardin IEC 38 mukaan vaihdella ± 10 %.

Laskelmat osoittavat, että annetuilla jännitteen U_0 arvoilla suurin kosketusjännite U_i on kahdesta muusta tekijästä c ja m riippuen $0,3 U_0 - 0,75 U_0$.

Esimerkiksi nimellisjännitteellä 230 V suurin kosketusjännite on 69 V–172 V ja vastaavasti ihmiskehon kautta kulkeva virta on 42 mA–119 mA. Kuvan 41.8 käyrän L mukaan vastaavan laukaisuajan täytyy olla 0,25 s–0,8 s.

Luvussa 41 on määrätty yksittäinen aika 0,4 s. Tämä aika vastaa kertoimelle c arvoa 0,8 ja suhteelle m arvoa 1,0, jotka yleensä esiintyvät ryhmäjohtotasolla.

Vastaava suurin kosketusjännite saadaan kaavasta 4.5.

$$U_i = 0,8 \times 230 \text{ V} / 2 = 92 \text{ V}.$$

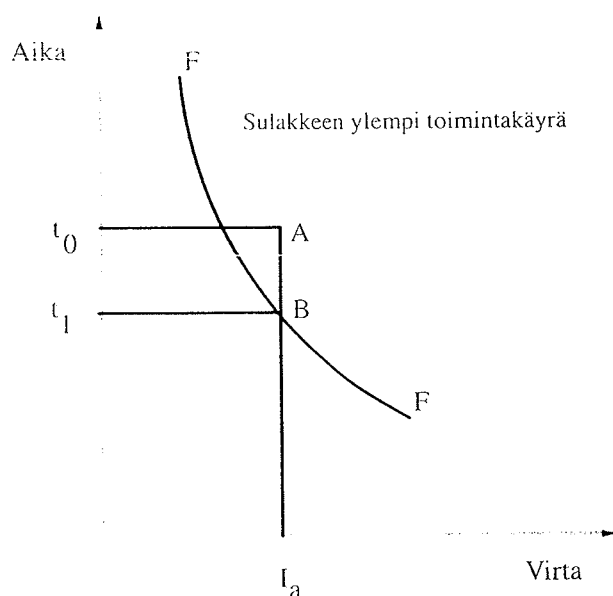
Tätä vastaava poiskytkentäaika on kuvan 41.8 käyrän L mukaan 0,4 s.

Standardin SFS 6000 taulukon 41.1 poiskytkentäajat on määritetty edellä esitettyjen perusteiden mukaisesti.

Käytännössä nämä poiskytkentäajat on otettava huomioon ainoastaan, jos suojalaitteena käytetään sulaketta. Suojaukselta vaaditaan, että vikavirran on oltava riittävän suuri, jotta sulake toimisi taulukossa 41.1 annetussa ajassa. Tämä edellyttää, että vastaava toimintapiste on sulakkeen ylemmän virta-aikaominaiskäyrän yläpuolella (kuva 41.12).

Kun suojaukseen käytetään johdonsuojakatkaisijoita, varmistetaan, että pienin vikavirta I_a on vähintään niin suuri, että se saa johdonsuojakatkaisijan toimimaan pikalaukaisulla. Johdonsuojakatkaisijoiden pikalaukaisuaajat ovat yleensä pienempiä kuin taulukossa 41.1 on vaadittu, jollei johdonsuojakatkaisijan laukaisua ole tarkoituksella hidastettu.

Piste A, joka vastaa standardin SFS 6000 taulukossa 41.1 määritettyä aikaa t_0 , on vikavirran arvolla I_a sulakkeen ylemmän virta-aikaominaiskäyrän (FF) yläpuolella.

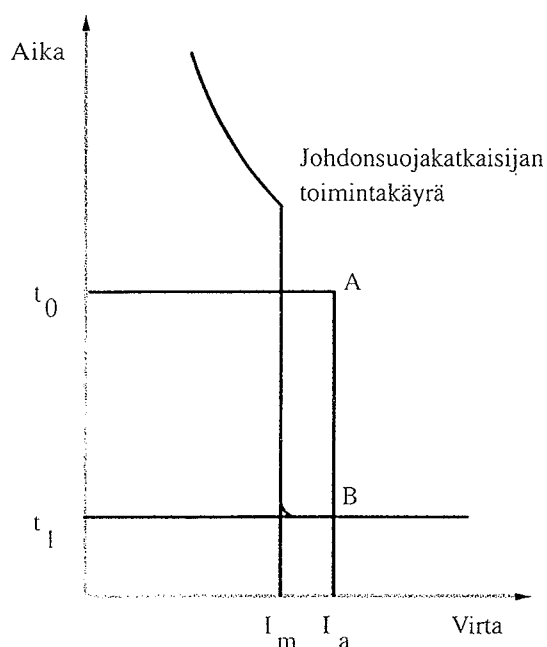


t_0 on vaadittu laukaisuaika

t_1 on todellinen laukaisuaika vikavirtalla I_a

KUVA 41.12. Suojaus sulakkeilla.

Jos vikavirta I_a on suurempi kuin pienin virta, joka aiheuttaa johdonsuojakatkaisijan pikalaukaisun (I_m), katkaisijan toiminta-aika on selvästi lyhyempi kuin t_0 , joka on määritetty taulukossa 41.1.



t_0 on vaadittu laukaisuaika
 t_1 on todellinen laukaisuaika vikavirtalla I_a
 I_m on johdonsuojakatkaisijan pikalaukaisuvirta

KUVA 41.13. Suojaus johdonsuojakatkaisijalla.

Jos toisaalta kosketusjännite on pienempi kuin sallittu jatkuva kosketusjännite U_L , niin syötön pois kytkeminen ei ole tarpeen vikasuojauksen takia. Syötön pois kytkeminen saattaa olla tarpeen muista syistä, esimerkiksi palovaaran takia.

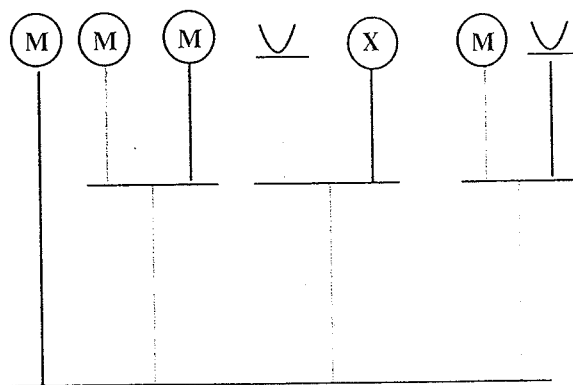
Tällainen tilanne voi syntyä erityisesti silloin, kun suojajohtimen impedanssin ja vikavirtapiirin impedanssin suhde on huomattavan pieni (esimerkiksi, jos suojajohtimenä käytetään useaa rinnakkaista monijohdinkaapelin johdinta tai monijohdinkaapelin armeerausta ja erityistä lisäsuojajohdinta, joka asennetaan välittömään läheisyyteen yms.).

Edellä esitettyjä vaatimuksia tulee soveltaa ryhmäjohtoihin, joiden suojalaitteena käytetään enintään 32 A ylivirtasuojaa.

Tapaukset, joissa hyväksytään korkeintaan 5 sekunnin poiskytkentäaika

Standardin SFS 6000 taulukossa 41.1 esitettyjä poiskytkentäaikoja suuremmat (ei kuitenkaan yli 5 s), sallitaan pääjohdoille ja yli 32 A ylivirtasuojilla suojatuille johdoille.

Nämä poiskytkentäaikoja koskevat vaatimukset käyvät ilmi kuvasta 41.14.



| 0,4 s laukaisuaika

— ryhmäkeskus

— pääkeskus

(M) Kiinteä laite, ylivirtasuoja enintään 32 A

(M) Kiinteä laite, ylivirtasuoja yli 32 A

(X) Kiinteä laite, ylivirtasuoja enintään 32 A

V Pistorasia, ylivirtasuoja enintään 32 A

V Pistorasia, ylivirtasuoja yli 32 A

KUVA 41.14. Vaaditut poiskytkentäajat erilaisille virtapiireille.

Vikasuojauksen suunnittelu

Vikasuojauksen toimivuus tulee varmistaa sähkölaitteistoa suunniteltaessa. Standardin SFS 6000 kohdan 132 mukaan sähköasennusta suunniteltaessa on varmistettava, että suojaus toteutuu standardin luvun 131 mukaisesti. Luku 131 sisältää vaatimuksen vikasuojauksesta.

Suojausehtojen toteutumisen tarkastamiseksi on selvitettävä pienin sallittu oikosulkuvirran arvo, jolla valittu suojalaite toimisi vaaditussa ajassa (joko 0,4 tai 5,0 sekunnissa).

Seuraavissa taulukoissa 41.4 ja 41.5 on esitetty pienin sallittu oikosulkuvirta eri suojalaitteilla eri toiminta-aikoina. D-tyyppin tulppasulakkeilla voi käyttää samoja virta-arvoja, vaikka sentyyppisten sulakkeiden toimintakäyrät poikkeavat gG- tai gL-sulakkeiden vastaavista.

Mitattujen oikosulkuvirtojen tulee olla 25 % suurempia kuin suojalaitteiden toimintatarajavirrat. Tämä johtuu siitä, että mittauslämpötila on alhaisempi kuin oikosulun aikainen lämpötila.

TAULUKKO 41.4a. Automaattisen poiskytkennän takia vaadittavat oikosulkuvirrat eri suojalaitteilla.

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaadittut mitatut arvot				
Nimellisvirta	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
13	65	81,3	130	162,5
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1 000
125	625	781,3	1 250	1 562,5

TAULUKKO 41.4b.

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaadittut mitatut arvot				
Nimellisvirta	D-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	K-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
6	120	150	72	90
10	200	250	120	150
13	260	325	156	195
16	320	400	192	240
20	400	500	240	300
25	500	625	300	375
32	640	800	384	480
50	1 000	1 250	600	750
63	1 260	1 575	756	945
80	1 600	2 000	960	1 200
125	2 500	3 125	1 500	1 875

TAULUKKO 41.5. gG-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat.

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	gG-sulake	Vaadittu mitattu	gG-sulake	Vaadittu mitattu
A	0,4 s	arvo	5,0 s	arvo
A	A	A	A	A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40			190	237,5
50			250	312,5
63			320	400
80			425	531,3
100			580	725
125			715	893,8
160			950	1187,5
200			1250	1562,5
250			1650	2062,5
315			2200	2750
400			2840	3550
500			3800	4750
630			5100	6375

Haasteellisinta on selvittää, onko suojattavan piirin oikosulkuvirta riittävä. Jos suojauksen toimivuus selvitetään jo suunnitteluvaiheessa, ei työn valmistuttua oikosulkuvirtaa välttämättä tarvitse mitata. Suojauksen korjaaminenkin voi jälkepäin olla työlästä. Myös tämän takia suojaustarkastelu suunnitteluvaiheessa on välttämätöntä.

Poiskytkentäehtojen tarkastelussa kannattaa ensi selvittää, kuinka laajasti ja missä kohdissa asennusta oikosulkuvirta tulee määrittää. Esimerkiksi yhdessä virtapiirissä riittää oikosulkuvirran määrittäminen suojalaitteesta kauimmaisessa pisteessä. Samoin voi käyttää hyväksi esim. suojauksen kannalta kaikkein hankalimman virtapiirin arvoja muiden virtapiirien suojauksen toimivuuden selvittämisessä.

Vikasuojausehtoien kannalta tulee määrittää oikosulkuvirta vaihe- ja suojajohtimen välisessä oikosulussa.

Oikosulkuvirta voidaan joko mitata tai laskea. Oikosulkuvirran laskentamenetelmät on esitetty mm. standardissa IEC 909. Mikäli laskentaan on käytettävissä soveltuvia laskentaohjelmia, voi oikosulkuvirran määrittää melko tarkasti laskemalla. Tällöin tulee ottaa huomioon myös oikosulkuvirran vaihekulma.

Käytännössä oikosulkuvirtaa laskettaessa voidaan tehdä joitain yksinkertaistuksia. Seuraavassa esitettyä menetelmää käytettäessä virhe voi olla yleensä korkeintaan n. 10 %. Menetelmää voidaan kuitenkin käyttää, koska virheet tapahtuvat aina turvalisempaan suuntaan eli laskettu oikosulkuvirta on pienempi kuin todellinen.

Tällä laskentatavalla ei voi tutkia oikosulkuvirtoja esim. suojalaitteiden katkaisukyvyn kannalta, koska saadut oikosulkuarvot ovat todellisia arvoja pienempiä!

Yksivaiheista oikosulkuvirtaa laskettaessa voidaan käyttää kaavaa

$$I_k = (c \times U) / (\sqrt{3} \times Z) \quad (4.6)$$

jossa

- I_k on pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)
- c on kerroin 0,95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman liittimissä, johdoissa, sulakkeissa, kytkimissä jne.
- U pääjännite (V)
- Z virtapiirin kokonaisimpedanssi, joka muodostuu
 - jakelumuuntajaa edeltävän verkon impedanssista
 - muuntajan impedanssista
 - muuntajan jälkeisten johtimien impedanssista.

Tärkein yksinkertaistus on se, että osaimpedanssit lasketaan aritmeettisesti yhteen, jolloin todellinen impedanssi on aina laskettua arvoa pienempi ja vikavirta siten suurempi.

Johtimen impedanssia laskettaessa kaapeleilla ja asennusputkiin asennetuilla johtimilla reaktanssi voidaan jättää huomioimatta, jos johtimen poikkipinta on korkeintaan 70 mm². Tällöin impedanssin arvona voidaan käyttää resistanssin arvoa. Ilmajohdoilla reaktanssi on kuitenkin otettava huomioon.

Likimääräinen laskenta voi olla perustelua poikkeustapauksissa, yleensä laskenta kannattaa tehdä tarkemmin käyttämällä valmiita laskentaohjelmia.

Taulukossa 41.6 on esitetty ominaisimpedanssin arvot (Ω/km) eri poikkipintaisille kaapeleille. Taulukon resistanssiarvoja voidaan soveltaa myös putkeen asennettuihin johtimiin. Reaktanssiarvot tulee johtimilla kuitenkin kertoa kahdella. Taulukon arvoja voidaan soveltaa myös pieni poikkipintaisiin kaapeleihin, joiden reaktanssi on pieni. Yleensä reaktanssi on pieni alle 70 mm² poikkipintaisilla kaapeleilla.

Taulukossa 41.6 esitetyt arvot ovat likimääräisarvoja. Tarkempia tietoja saa kaapeleiden valmistajilta. Laskentaohjelmat käyttävät yleensä valmistajien ilmoittamia tarkkoja arvoja.

TAULUKKO 41.6. Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja (Ω/km) johdintemperatuurissa $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Johtimien poikkipinta A/mm^2	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
$4 \times 1,5$	14,620	0,115	14,620			
$4 \times 2,5$	8,770	0,110	8,770			
4×4	5,480	0,107	5,480			
4×6	3,660	0,100	3,660			
4×10	2,244	0,094	2,246			
4×16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4×25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492
4×35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4×50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
4×70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
4×95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4×120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4×150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4×185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4×240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4×300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

Usein käytännössä täytyy määrittää suurin sallittu johtopituus, kun suojalaitetta edeltävän verkon impedanssi Z_v tai oikosulkuvirta on tunnettu.

Sallittu johtopituus voidaan laskea käyttäen kaavaa

$$l = ((c \times U) / (\sqrt{3} \times I_k) - Z_v) / (2 \times z) \quad (4.7)$$

jossa

- l on johtopituus (km)
- c on kerroin 0,95
- U on pääjännite (V)
- I_k on oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa
- Z_v on impedanssi ennen suojalaitetta
- z on suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)

Edellä esitettyä menetelmää käyttäen on laskettu seuraavat suojalaitteiden valintataulukot 41.7–41.10, joista voidaan suoraan nähdä sallitut johtopituudet eri suojalaitteilla (B- ja C-tyypin johdonsuojakatkaisijat, gG-sulakkeet) ja eri laukaisujaajoilla (0,4 ja 5,0 s), kun tunnetaan oikosulkuvirta ennen suojalaitetta. Johtimien impedansseina on käytetty taulukon 41.6 arvoja.

Taulukoissa on esitetty myös johtopituudet myös 5 sekunnin poiskytkentäaajoille alle 32 A ylivirtasuojilla suojatuille virtapiireille. Näitä voidaan tarvita esimerkiksi

vanhojen asennusten muutos- ja laajennustöissä. Uudiskohteissa enintään 32 A ylivirtasuojatuille ryhmäjohtoille käytetään 0,4 sekunnin poiskytkentäaika.

Tarkempaa laskentaa tarvittaessa tulee selvittää erikseen käytettyjen johtimien impedanssiarvot ja laskennassa tulee ottaa huomioon myös impedanssien vaihekulma. Tällöin laskenta kannattaa yleensä tehdä erityisellä laskentaohjelmalla. Laskennan lähtöarvoina tarvittavat tiedot oikosulkuvirran suuruudesta liittymiskohdassa saa jakeluverkko-yhtiöltä.

Erityistä huomiota tulee kiinnittää oikosulkuvirtojen selvittämiseen silloin, kun sähköverkon syöttö on poikkeuksellinen, kuten esim. UPS-laitteistolla ja varavoimageraattorilla toteutetuissa syöttöissä.

TAULUKKO 41.7. Suurimmat johtopituudet käytettäessä vikasuojaukseen automaattista poiskytkentää, joka toteutetaan gG-tyypin sulakkeilla vaaditun poiskytkentäajan ollessa korkeintaan 0,4 s.

Poikkipinta Cu A/mm ²	Nimellisvirta A	Pienin oikosulkuvirta A	Suurin johtopituus (m), kun impedanssi ennen suojalaitetta on seuraava (mS) (vastaava oikosulkuvirta A sulussa)							
			10 (22000)	100 (2200)	300 (730)	500 (440)	1000 (220)	1500 (146)	2000 (110)	3000 (73)
1,5	6	46,5	161	157	151	144	127	110	92	58
1,5	10	82	91	88	81	74	57	40	23	–
1,5	16	110	67	64	57	51	34	16	–	–
1,5	20	145	51	48	41	34	17	–	–	–
2,5	10	82	151	146	135	124	95	67	38	–
2,5	16	110	113	108	96	85	56	28	–	–
2,5	20	145	85	80	69	57	29	–	–	–
2,5	25	180	68	63	52	40	12	–	–	–
4	16	110	181	172	154	136	90	45	–	–
4	20	145	137	128	110	92	46	1	–	–
4	25	180	110	102	83	65	19	–	–	–
4	32	270	73	65	46	28	–	–	–	–
6	16	110	271	258	231	204	135	67	–	–
6	20	145	205	193	165	138	70	1	–	–
6	25	180	165	152	125	98	29	–	–	–
6	32	270	109	97	70	42	–	–	–	–
6	50	470	62	50	22	–	–	–	–	–
6	63	550	53	40	13	–	–	–	–	–
10	25	180	269	249	204	160	48	–	–	–
10	32	270	178	158	114	69	–	–	–	–
10	50	470	101	81	37	–	–	–	–	–
10	63	550	86	66	22	–	–	–	–	–
10	80	840	55	35	–	–	–	–	–	–
16	32	270	282	251	180	110	–	–	–	–
16	50	470	161	129	58	–	–	–	–	–
16	63	550	137	105	34	–	–	–	–	–
16	80	840	88	56	–	–	–	–	–	–
16	125	1450	49	18	–	–	–	–	–	–

TAULUKKO 41.8. Suurimmat johtopituudet käytettäessä vikasuojaukseen automaattista poiskytkentää, joka toteutetaan gG-tyypin sulakkeilla vaaditun poiskytkentäajan ollessa korkeintaan 5.0 s.

Poikki- pinta Cu A/mm ²	Nimel- lsvirta A	Pienin oiko- sulku- virta A	Suurin johtopituus (m), kun impedanssi ennen suojalaitetta on seuraava (mΩ) (vastaava oikosulkuvirta A sulussa)							
			10	100	300	500	1000	1500	2000	3000
			(22000)	(2200)	(730)	(440)	(220)	(146)	(110)	(73)
1,5	6	28	267	264	257	250	233	216	199	165
1,5	10	46,5	161	157	151	144	127	110	92	58
1,5	16	65	115	112	105	98	81	64	47	12
1,5	20	85	87	84	78	71	54	36	19	–
2,5	10	46,5	268	263	251	240	211	183	154	97
2,5	16	65	191	186	175	163	135	106	78	21
2,5	20	85	146	141	130	118	90	61	33	–
2,5	25	110	113	108	96	85	56	28	–	–
4	16	65	307	298	280	262	216	171	125	34
4	20	85	234	226	208	189	144	98	53	–
4	25	110	181	172	154	136	90	45	–	–
4	35	165	132	124	106	87	42	–	–	–
6	16	65	459	447	420	392	324	256	187	51
6	20	85	351	338	311	284	215	147	79	–
6	25	110	271	258	231	204	135	67	–	–
6	35	165	198	186	158	131	63	–	–	–
6	50	250	118	106	78	51	–	–	–	–
6	63	320	92	80	52	25	–	–	–	–
10	25	110	441	421	377	332	221	110	–	–
10	35	165	323	303	258	214	102	–	–	–
10	50	250	193	173	128	84	–	–	–	–
10	63	320	150	130	85	41	–	–	–	–
10	80	425	112	92	48	3	–	–	–	–
16	35	165	512	480	409	339	163	–	–	–
16	50	250	305	274	203	133	–	–	–	–
16	63	320	238	206	135	65	–	–	–	–
16	80	425	178	146	76	5	–	–	–	–
16	125	715	104	72	2	–	–	–	–	–

TAULUKKO 41.9. Suurimmat johtopituudet käytettäessä vikasuojaukseen automaattista poiskytkentää, joka toteutetaan B-tyypin johdonsuojakatkaisijoilla. Pituudet pätevät sekä poiskytkentäaikaan 0,4 s että 5,0 s.

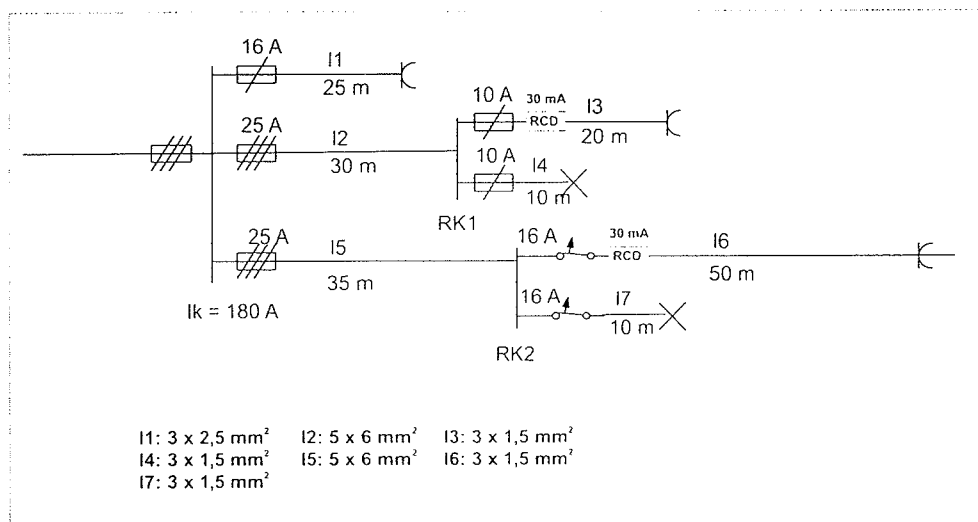
Poikkipinta Cu A/mm ²	Nimellisarvo A	Pienin oikosulkuvirta A	Suurin johtopituus (m), kun impedanssi ennen suojalaitetta on seuraava (mΩ) (vastaava oikosulkuvirta A sulussa)							
			10	100	300	500	1000	1500	2000	3000
			(22000)	(2200)	(730)	(440)	(220)	(146)	(110)	(73)
1,5	6	30	249	246	239	233	215	198	181	147
1,5	10	50	149	146	139	132	115	98	81	47
1,5	16	80	93	90	83	76	59	42	25	–
1,5	20	100	74	71	64	57	40	23	6	–
1,5	25	125	59	56	49	42	25	8	–	–
2,5	10	50	249	244	233	221	193	164	136	79
2,5	16	80	155	150	139	128	99	70	42	–
2,5	20	100	124	119	108	96	68	39	11	–
2,5	25	125	99	94	83	71	43	14	–	–
4	16	80	249	241	223	204	159	113	67	–
4	20	100	199	191	173	154	109	63	17	–
4	25	125	159	151	132	114	69	23	–	–
4	32	160	124	116	97	79	33	–	–	–
6	16	80	373	361	334	306	238	170	101	–
6	20	100	298	286	259	231	163	95	26	–
6	25	125	238	226	199	171	103	35	–	–
6	32	160	186	173	146	119	50	–	–	–
6	50	250	118	106	79	51	–	–	–	–
6	63	315	93	81	54	26	–	–	–	–
10	25	125	388	368	324	279	168	57	–	–
10	32	160	303	283	238	194	82	–	–	–
10	50	250	193	173	128	84	–	–	–	–
10	63	315	152	132	88	43	–	–	–	–
16	32	160	480	448	378	307	131	–	–	–
16	50	250	306	274	203	133	–	–	–	–
16	63	315	242	210	140	69	–	–	–	–

TAULUKKO 41.10. Suurimmat johtopituudet käytettäessä vikasuojaukseen automaattista poiskytkentää, joka toteutetaan C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoilla. Pituudet pätevät sekä poiskytkentäaikaan 0,4 s että 5,0 s.

Poikkipinta Cu A/mm ²	Nimellisuvirta A	Pienin oikosulkuvirta A	Suurin johtopituus (m), kun impedanssi ennen suojalaitetta on seuraava (mΩ) (vastaava oikosulkuvirta A sulussa)							
			10	100	300	500	1000	1500	2000	3000
			(22000)	(2200)	(730)	(440)	(220)	(146)	(110)	(73)
1,5	6	60	124	121	114	107	90	73	56	22
1,5	10	100	74	71	64	57	40	23	6	—
1,5	16	160	46	43	36	29	12	—	—	—
1,5	20	200	37	34	27	20	3	—	—	—
1,5	25	250	29	26	18	12	—	—	—	—
2,5	10	100	124	119	107	96	68	39	11	—
2,5	16	160	77	72	61	49	21	—	—	—
2,5	20	200	61	56	45	34	5	—	—	—
2,5	25	250	49	44	32	21	—	—	—	—
4	16	160	124	115	97	79	133	—	—	—
4	20	200	99	90	72	54	8	—	—	—
4	25	250	79	70	52	34	—	—	—	—
4	32	320	61	53	35	16	—	—	—	—
6	16	160	185	173	146	119	50	—	—	—
6	20	200	148	136	108	81	13	—	—	—
6	25	250	118	106	78	51	—	—	—	—
6	32	320	92	80	52	25	—	—	—	—
6	50	500	58	46	18	—	—	—	—	—
6	63	630	46	33	6	—	—	—	—	—
10	25	250	193	173	128	84	—	—	—	—
10	32	320	150	130	85	37	—	—	—	—
10	50	500	95	75	30	—	—	—	—	—
10	63	630	75	55	10	—	—	—	—	—
16	32	320	238	206	135	65	—	—	—	—
16	50	500	151	119	48	—	—	—	—	—
16	63	630	119	87	17	—	—	—	—	—

Seuraavassa esitetään esimerkkejä vikasuojausehtojen toteutumisen tarkastamisesta (kuvat 41.15 ja 41.16).

Esimerkki 1:



KUVA 41.15. Esimerkki vikasuojausehtojen toteutumisen tarkastamisesta.

Lasketaan oikosulkuvirrat keskuksissa sekä vastaavat impedanssit ennen keskuksia.

Pääkeskus:

$$I_k = 180 \text{ A}$$

$$Z_v = (0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 180 \text{ A}) = 1,22 \text{ } \Omega$$

Ryhmäkeskus 1:

$$Z_{v1} = Z_v + 2 \times 3,66 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,030 \text{ km} = 1,44 \text{ } \Omega$$

$$I_{k1} = (0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 1,44 \text{ } \Omega) = 152 \text{ A}$$

Ryhmäkeskus 2:

$$Z_{v2} = Z_v + 2 \times 3,66 \text{ } \Omega/\text{km} \times 0,035 \text{ km} = 1,48 \text{ } \Omega$$

$$I_{k2} = (0,95 \times 400) / (\sqrt{3} \times 1,48 \text{ } \Omega) = 148 \text{ A}$$

Tarkistetaan poiskytkentäehtojen toteutuminen eri virtapiireissä:

II: Pistorasiaryhmä (3 x 2,5 mm²), joka on suojattu 16 A gG sulakkeilla. Vaadittu laukaisuaika on 0,4 s ja johdon pituus 25 m.

Taulukosta 41.5 saadaan pienimmäksi oikosulkuvirraksi 110 A.

Suurin johtopituus:

$$l_{\max} = \{(0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 110 \text{ A}) - 1,22 \text{ } \Omega\} / (2 \times 8,77 \text{ } \Omega/\text{km}) = 44 \text{ m} > 25 \text{ m OK}$$

- 12: Ryhmäkeskusta 1 syöttävä nousujohto ($5 \times 6 \text{ mm}^2$), joka on suojattu 25 A gG-sulakkeilla. Vaadittu laukaisuaika on 5,0 s ja johdon pituus 30 m.

Taulukosta 41.5 saadaan pienimmäksi oikosulkuvirraksi 110 A ($< 152 \text{ A}$).

Suurin johtopituus:

$$l_{2_{\max}} = \{(0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 110 \text{ A}) - 1,22 \Omega\} / (2 \times 3,66 \Omega/\text{km}) = 105 \text{ m} > 30 \text{ m OK}$$

- 13: Pistorasiaryhmä ($3 \times 1,5 \text{ mm}^2$), joka on suojattu 10 A gG sulakkeilla. Vaadittu laukaisuaika on 0,4 s ja johdon pituus 20 m.

Taulukosta 41.5 saadaan pienimmäksi oikosulkuvirraksi 82 A.

Suurin johtopituus:

$$l_{3_{\max}} = \{(0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 82 \text{ A}) - 1,44 \Omega\} / (2 \times 14,62 \Omega/\text{km}) = 42 \text{ m} > 20 \text{ m OK}$$

- 14: Valaistusryhmä ($3 \times 1,5 \text{ mm}^2$), joka on suojattu 10 A gG-sulakkeilla. Vaadittu laukaisuaika on 0,4 s ja johdon pituus 10 m.

Taulukosta 41.4 saadaan pienimmäksi oikosulkuvirraksi 82 A.

Suurin johtopituus:

$$l_{4_{\max}} = \{(0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 82 \text{ A}) - 1,44 \Omega\} / (2 \times 14,62 \Omega/\text{km}) = 42 \text{ m} > 10 \text{ m OK}$$

- 15: Ryhmäkeskusta 2 syöttävä nousujohto ($5 \times 6 \text{ mm}^2$), joka on suojattu 25 A gG-sulakkeilla. Vaadittu laukaisuaika on 5,0 s ja johdon pituus 35 m.

Taulukosta 41.5 saadaan pienimmäksi oikosulkuvirraksi 110 A ($< 148 \text{ A}$).

Suurin johtopituus:

$$l_{5_{\max}} = \{(0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 110 \text{ A}) - 1,22 \Omega\} / (2 \times 3,66 \Omega/\text{km}) = 105 \text{ m} > 35 \text{ m OK}$$

- 16: Pistorasiaryhmä ($3 \times 1,5 \text{ mm}^2$), joka on suojattu 16 A B-tyypin johdon-suojakatkaisijalla. Vaadittu laukaisuaika on 0,4 s ja johdon pituus 50 m.

Taulukosta 41.4 saadaan pienimmäksi oikosulkuvirraksi 80 A.

Suurin johtopituus:

$$l_{6_{\max}} = \{(0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 80 \text{ A}) - 1,48 \Omega\} / (2 \times 14,62 \Omega/\text{km}) = 43 \text{ m} < 50 \text{ m}$$

Suojaus ehdot eivät täyty ylivirtasuojalla.

=> Koska pistorasia täytyy suojata enintään 30 mA vikavirtasuojalla, hoitaa vikavirtasuojas syötön nopean poiskytkennän.

17: Valaistusryhmä ($3 \times 1,5 \text{ mm}^2$), joka on suojattu 16 A B-tyypin johdonsuojakatkaisijalla. Vaadittu laukaisuaika on 0,4 s ja johdon pituus 10 m.

Taulukosta 41.4 saadaan pienimmäksi oikosulkuvirraksi 80 A.

Suurin johtopituus:

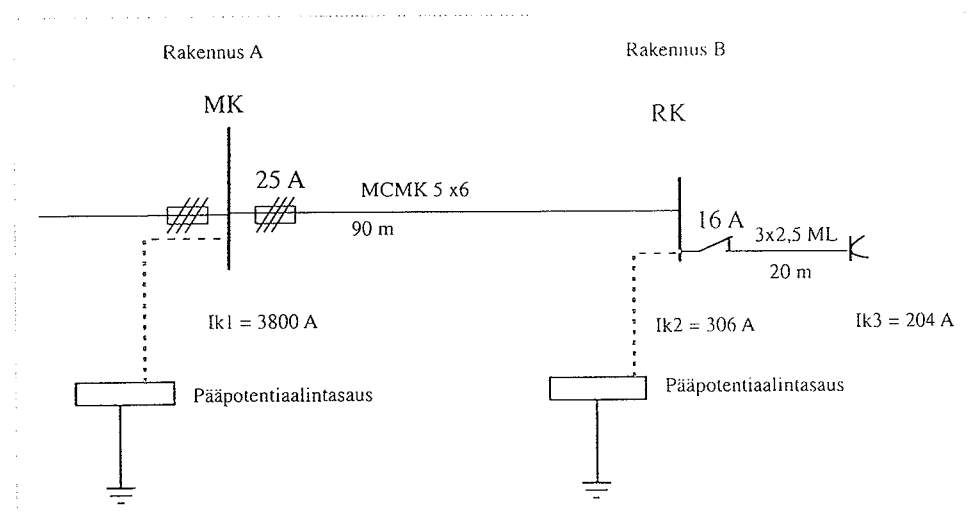
$$l_{\max}' = \{ (0,95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 80 \text{ A}) - 1,48 \, \Omega \} / (2 \times 14,62 \, \Omega/\text{km}) = 43 \text{ m} > 10 \text{ m OK}$$

Esimerkki 2: Rivitaloyhtiö.

Lähtötiedot vikasuojauksen toimivuuden tarkastamiseksi:

- yhtiöön kuuluu 6 rakennusta, joissa on yhteensä 20 huoneistoa
- pienin oikosulkuvirta mittarikeskuksen luona 3 800 A
- jokaisen huoneiston pääsulakkeet $3 \times 25 \text{ A}$
- pisin johto mittarikeskuksesta huoneiston ryhmäkeskukseen 90 m (MCMK 4 X 6 + 6)
- pisin pistorasiaryhmäjohto 20 m ($3 \times 2,5 \text{ ML}$), ylivirtasuojana 16 A C-tyypin johdonsuojakatkaisija

Selvitetään nopean poiskytkennän toteutuminen huoneiston pisimmän ryhmäjohtopäässä.



KUVA 41.16. Pienimmän oikosulkuvirran määrittäminen rivitaloyhtiön epäedullisimmasta kohdasta.

Oikosulkuvirta huoneiston ryhmäkeskuksessa:

$$Z_{k1} = (0.95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 3\,800 \text{ A}) = 0.0577 \, \Omega$$

$$Z_{k2} = 0.0577 \, \Omega + 2 \times 3.66 \, \Omega/\text{km} \times 0.09 \text{ km} = 0.72 \, \Omega$$

$$I_{k2} = (0.95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 0.72 \, \Omega) = 306 \text{ A}$$

Nousujohdon osalta nopean poiskytkennän ehdot toteutuvat, 25 A gG-sulake edellyttää 110 A oikosulkuvirran toimiakseen 5 sekunnissa.

Oikosulkuvirta pistorasiaryhmässä:

$$Z_{k1} = 0.72 \, \Omega + 2 \times 8.77 \, \Omega/\text{km} \times 0.02 \text{ km} = 1.07 \, \Omega$$

$$I_{k1} = (0.95 \times 400 \text{ V}) / (\sqrt{3} \times 1.07 \, \Omega) = 204 \text{ A}$$

Nopean poiskytkennän ehdot toteutuvat pistorasiaryhmässä. 16 A C-tyyppinen johdonsuojakatkaisija edellyttää 160 A oikosulkuvirran toimiakseen 0,4 sekunnissa.

Vikasuojaus vikavirtasuojalla

Yleensä vian nopea poiskytkentä tulisi pyrkiä toteuttamaan ylivirtasuojilla. Jos tämä ei ole mahdollista, suojaus voidaan toteuttaa käyttämällä vikavirtasuojaa. Tilanne voi olla tällainen piireissä, jotka syöttävät pistorasioita eikä piirien pituutta tunneta ja yleensä piireissä, jotka ovat pitkiä ja joiden poikkipinnat ovat pieniä, jolloin impedanssi on suuri. Silloin kun vikasuojaus toteutetaan käyttämällä vikavirtasuojaa, tulee varmistaa että vikavirta on vähintään 5-kertainen vikavirtasuojan nimellistoimintavirtaan verrattuna.

Pistorasiaryhmissä vaaditaan hyvin kattavasti enintään 30 mA vikavirtasuojan käyttöä. Tästä huolimatta vikasuojaus tulee toteuttaa ensisijaisesti ylivirtasuojilla.

41.2.1.2 TT-järjestelmä

TT-järjestelmää ei ole juuri käytetty Suomessa, mutta sitä vastoin Keski-Euroopassa sitä käytetään yleisesti. TT-järjestelmässä vikasuojauksen toteuttaminen syötön automaattisen poiskytkennän avulla on huomattavasti hankalampaa kuin TN-järjestelmässä. Tämä johtuu siitä, että vikavirta jää yleensä niin pieneksi, etteivät ylivirtasuojat toimi riittävän nopeasti. Lisäksi sallitut poiskytkentäajat ovat lyhyempiä kuin TN-järjestelmässä.

Suojalaitteiden ominaisuudet

Standardien SFS-EN 60947, SFS-EN 60898 tai SFS-EN 60 269 mukaiset suojalaitteet täyttävät suojalaiterakenteille asetetut vaatimukset. Muita suojalaitteita voidaan käyttää edellyttäen, että niiden virta-aikaominaisuudet antavat standardin SFS 6000 luvun 43 mukaisen suojan.

Vaikka standardeissa on esitetty suojalaitteiden toiminta-arvoille raja-arvot, nämä tiedot eivät välttämättä riitä mitoituksen perustaksi. Yksityiskohtaisempia tietoja suojalaitteiden ominaisuuksista ja valinnassa huomioon otettavista seikoista saa parhaiten kyseisen laitteen valmistajalta.

Ylivirtasuojia koskevat keskeiset standardit:

- SFS-EN 60 947: Pienjännitekytkinlaitteet.
- SFS-EN 60 898: Johdonsuojakatkaisijat kotitalous- ja vastaaviin asennuksiin.
- SFS-EN 60 269-1: Pienjännitevarokkeet. Osa 1: Yleiset vaatimukset.
- SFS-EN 60 269-2: Pienjännitevarokkeet. Osa 2: Ammattihenkilöiden käyttöön tarkoitettujen varokkeiden lisävaatimukset.
- SFS-EN 60 269-3: Pienjännitevarokkeet. Osa 3: Maallikoiden käyttöön tarkoitettujen varokkeiden lisävaatimukset.
- Low-voltage fuses. Part 4: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of semiconductor devices.

Käytössä on lisäksi edelleen standardin CEE16 (E116-71) mukaisia D-tyypin tulpavarokkeita.

Yleisimpien käytössä olevien suojalaitteiden ylivirtasuojauksen kannalta olennaiset toiminta-arvot on esitetty tämän kirjan luvussa 53.

43.1 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojauksen mitoituksessa tulee ottaa huomioon suojalaitteen nimellisvirran lisäksi erityyppisten suojalaitteiden erilaiset toiminta-arvot.

Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijoilla

Ylikuormitussuojauksen mitoitus on yksinkertaista, kun käytetään suojalaitteita, joiden terminen toimintarajavirta on 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Tällaisia suojalaitteita ovat standardin SFS-EN 60 898 mukaiset B-, C- ja D-tyyppiset johdonsuojakatkaisijat. Tällöin ylikuormitussuoja voidaan valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella. Jos johtimen kuormitettavuus on esimerkiksi 16 A, ylikuormitussuojaksi voidaan valita 16 A johdonsuojakatkaisija.

Samaa menettelytapaa voidaan käyttää myös K-tyyppisen johdonsuojakatkaisijan valinnassa. K-tyyppisellä johdonsuojakatkaisijalla terminen toimintarajavirta on 1,2 kertaa suojalaitteen nimellisvirta, joten se antaa B- ja C-tyyppistä johdonsuojakatkaisijaa paremman suojauksen ylikuormitukselta. K-tyyppisen johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta ei kuitenkaan saa olla johdon kuormitettavuutta suurempi.

Ylikuormitussuojaus katkaisijalla

Käytettäessä ylikuormitussuojaukseen katkaisijaa (esim. ilmakatkaisijaa tai kompaktikatkaisijaa), jossa toimintavirran voi asetella, tulee releasettelun olla enintään johdon kuormitettavuuden suuruinen.

Ylikuormitussuojaus sulakkeilla

Sulakkeilla ylempi sulamisrajavirta (virta, jolla sulake toimii varmasti yleensä tunnissa) on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. Tällöin ylikuormitussuojaa ei voi valita suoraan johtimen kuormitettavuuden mukaan, vaan mitoituksessa on käytettävä kaavaa

$$k \times I_n \leq 1,45 \times I_z \quad (43.1)$$

jossa

I_n on suojalaitteen nimellisvirta

I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus

k on sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde.

D-tyypin tulppasulakkeilla

$$k = 2,1, \text{ kun } I_n \leq 4 \text{ A} \quad \Rightarrow I_n \leq 0,69 I_z$$

$$1,9, \text{ kun } 4 \text{ A} < I_n \leq 10 \text{ A} \quad \Rightarrow I_n \leq 0,76 I_z$$

$$1,75, \text{ kun } 10 \text{ A} < I_n \leq 25 \text{ A} \quad \Rightarrow I_n \leq 0,82 I_z$$

$$1,6, \text{ kun } I_n > 25 \text{ A} \quad \Rightarrow I_n \leq 0,90 I_z$$

gG-tyypin sulakkeilla

$$k = 2,1, \text{ kun } I_n \leq 4 \text{ A} \quad \Rightarrow I_n \leq 0,69 I_z$$

$$1,9, \text{ kun } 4 \text{ A} < I_n < 16 \text{ A} \quad \Rightarrow I_n \leq 0,76 I_z$$

$$1,6, \text{ kun } I_n \leq 16 \text{ A} \quad \Rightarrow I_n \leq 0,90 I_z$$

ESIMERKKEJÄ YLIKUORMITUSSUOJAN VALINNASTA

Esimerkki 1: Johdon korjauskertoimilla tarkistettu kuormitettavuus on 26 A. Ylikuormitussuojaukseen käytetään gG-sulakkeita. Mikä on sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta?

Ratkaisu: k -arvo on 1,6

$$I_z = 26 \text{ A}$$

$$I_n = ?$$

Edellä esitetystä kaavasta saadaan $I_n \leq (1,45/1,6) \times 26 \text{ A} = 23,5 \text{ A}$.

Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa 20 A gG-sulakkeella.

Esimerkki 2: Johdon korjauskertoimilla tarkistettu kuormitettavuus on 26 A. Ylikuormitussuojaukseen käytetään B-tyyppin johdonsuojakatkaisijaa. Mikä on johdonsuojakatkaisijan suurin sallittu nimellisvirta?

Ratkaisu: Ylikuormitussuojaukseen voidaan käyttää 25 A johdonsuojakatkaisijaa.

Taulukkoon 43.1 on laskettu ylikuormitussuojana toimivalle gG-sulakkeelle pienimmät sallitut johtojen kuormitettavuudet.

TAULUKKO 43.1. Johtojen pienimmät kuormitettavuudet käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana.

gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	Johdon sallittu kuormitus vähintään A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138
160	177
200	221
250	276
315	348
400	441
500	552
630	695
800	883
1000	1103
1250	1379

Standardin SFS 6000 kohdan 433.1 mukainen suojaus ei aina anna täydellistä suojausta, esim. jos ylivirta on pidemmän aikaa pienempi kuin I_n , mutta suurempi kuin I_z . I_z on virta, jolla suojalaite toimii tehokkaasti. Lisäksi tällainen suojaus ei välttämättä johda taloudelliseen lopputulokseen. Siksi on oletettu, että piirit suunnitellaan siten, ettei pitkäaikaisia pieniä ylikuormituksia esiinny usein. Edellä esitetty mitoitus sallii ääritapauksessa johtimen kuormittamisen lähes 45 % ilmoitettua kuormitettavuutta suurempana ilman, että ylikuormitussuojalaite toimii.

Tarkka mitoitus voi johtaa pieneen jatkuvaan ylikuormitukseen. Jos esimerkiksi yksivaiheiseen lämmitysryhmäjohtoon kytkettävän kuormituksen nimellisteho on 2,3 kW, saadaan nimellisarvojen mukaan laskemalla piirin ottamaksi virraksi 10

A. Silloin voidaan valita suojaavaksi sulakkeeksi 10 A gG-sulake tai johdonsuojakatkaisija ja edelleen 1,5 mm² ryhmäjohtin, kunhan johtimen kuormitettavuus sen sallii. Tällöin verkon mahdollisista jännitevaihteluista ja lämmitysvastusten valmistustoleransseista aiheutuvaa virran kasvua ei ole huomioitu. Jos verkkojännite ja lämmitysvastuksen teho valmistustoleranssista johtuen ovat nimellisarvojaan suurempia, piirin ottama virta todellisuudessa kasvaa ja johtimessa voi esiintyä usein pitkäaikaisia pieniä ylikuormituksia. Suositeltavaa onkin, että vastaavissa tilanteissa mitoituksia tehtäessä aina huomioidaan myös muut mahdolliset piiriin vaikuttavat seikat kuin pelkästään nimellisarvot. Piirin suunnitteluvaiheessa on tapauskohtaisesti harkittava, millaisia varmuuskertoimia tällaisissa tilanteissa on käytettävä.

Rinnankytkettyjen johtimien suojaus

Johtimia suositellaan käytettäväksi rinnan ainoastaan suurilla johdinpoikkipinnoilla eikä esimerkiksi kotitalousasennuksissa. Johtimia voidaan kytkeä rinnan standardin SFS 6000 kohdassa 523.7 mainituin edellytyksin.

Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaus

Silloin, kun yksittäinen suojalaite suojaa useaa rinnankytkettyä johdinta, näitä johtimia ei saa haaroittaa eikä niissä saa olla erotus- tai kytkinlaitteita.

Kun selvitetään ylikuormitussuojausta rinnankytkettyjen johtimien osalta, tulee tarkastella erikseen kahta seuraavaa tapautta:

1. Ylikuormitussuojaus silloin, kun virranjako on tasainen eri johtimien välillä

Kun yksi ylikuormitussuoja suojaa useita rinnankytkettyjä johtimia, joissa virta jakautuu tasaisesti, on yhteenlaskettu kuormitettavuus yksittäisten johtimien kuormitettavuuksien summa.

Tällaisissa tapauksissa virranjaon tasaisuus on selvitettävä erikseen.

2. Ylikuormitussuojaus silloin, kun virranjako on epätasainen eri johtimien välillä

Jos rinnankytkettyjen johtimien osalta eri johtimien virrat poikkeavat toisistaan yli 10 %, on kunkin johtimen kuormitettavuus ja ylikuormitussuojaus käsiteltävä erikseen.

Ohjeita ylikuormitussuojauksen toteutukseen rinnankytketyillä johtimilla

Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaus tulee toteuttaa siten, että saadaan aikaan riittävä suojaus kaikille rinnankytketyille johtimille. Kahden samanpoikkipintaisen, samanpituisen ja samalla tavalla sijoitetun johtimen, joiden virta on sama, ylivirtasuojauksella on helpompaa.

Kun rinnankytketyt johtimet ylikuormittavat, kasvaa kunkin rinnankytketyn johtimen virta samassa suhteessa. Mikäli virranjako eri johtimien välillä saadaan tasaiseksi, voidaan ylikuormitussuojaus toteuttaa yhdellä ylikuormitussuojalla.

43.2 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojaukselle on kaksi keskeistä vaatimusta:

1. Oikosulkusuojan on pystyttävä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta.
2. Poiskytkennän on tapahduttava ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat.

Vaatimukset täyttyvät, kun virtapiiri suunnitellaan standardin SFS 6000 kohdan 434.5.2 mitoituskaavan mukaisesti (kaava 43.3) Tällöin johtimen terminen rasitus oikosulun aikana ei saa ylittää suojalaitteen läpipäästämää energiaa. Käytännössä tämä voidaan usein varmistaa valmistajien antamien käyrästöjen ja taulukoiden avulla. Ellei tällaisia ole käytettävissä, voidaan käyttää myös taulukkoa 43.2. Taulukon 43.2 arvot ei kuitenkaan sovellu kaikkiin tapauksiin.

$$t = (k \times A / I)^2 \quad (43.3)$$

jossa

t on oikosulun sallittu kesto aika (s)

k on johdinvakio

I on oikosulkuvirran suuruus (A)

Oikosulun kestoajalle esitettyä kaavaa voidaan käyttää enintään 5 sekuntia kestäville vikatilanteille. Mikäli oikosulku kestää tätä kauemmin, suojauksen toimivuuden tarkistaminen edellyttää suojalaitteen toimintakäyrän ja johtimen lämpenemiskäyrän vertailua. Kaavan 43.3 käyttö perustuu siihen, että tässä ajassa oikosulun kehittämä lämpö jää kaapeliin kokonaisuudessaan ja lämmittää sitä. Mikäli vika kestää kauemmin, kaapeli alkaa jo luovuttaa lämpöä ympäristöön, jolloin lämpenemisen laskeminen pidemmissä oikosulkutilanteissa on vaikeampaa.

Käytännössä käyttämällä laskentakaavaa 5 sekuntia pidemmissä oikosuluissa, saadaan oikosulun kestoarvoja, jotka ovat turvallisemmalla puolella johtimien lämpenemisen kannalta.

Kaavaa tulee käyttää yleensä silloin, kun käytetään ylikuormitussuojasta erillistä oikosulkusuojaa. Tällöin oikosulkusuoja on usein nimellisvirraltaan suurempi kuin johtimen jatkuva kuormitettavuus.

Silloin kun käytetään yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa, kaavaa ei yleensä tarvitse käyttää. Tällöin riittää, että varmistetaan, että suojalaitteen katkaisukyky on riittävä. Kun suoja on valittu johdon kuormitettavuuden perusteella, se suoja myös oikosulkuvirran lämpövaikutuksilta.

Oikosulkusuojaus on monesti sekoitettu vikasuojaukseen. Oikosulkusuojauksessa on kuitenkin kysymys johtimien suojaamiselta oikosulkuvirran lämpövaikutuksilta, ei vian aiheuttaman kosketusjännitteeltä suojaustumisesta. Oikosulkusuojaus täytyy toteutua minkä tahansa johtimien välisessä oikosulussa tapahtuipa oikosulku missä tahansa kohtaa johdinta.

Seuraavassa esimerkissä on tarkasteltu sallittua oikosulun kestoaikaa eri suuruisilla johdinpoikkipinnoilla.

Esimerkki: Suurin oikosulkuvirta kaapelin alkupäässä on 400 A ja pienin oikosulkuvirta kaapelin loppupäässä on 200 A. Kaapelina MMJ, poikkipinta 2,5 mm² tai 1,5 mm²

Oikosulkusuojaus suurin sallittu toiminta-aika:

Alkupäässä:

$$t = (115 \times 2,5/400)^2 = 0,52 \text{ s}$$

Loppupäässä:

$$t = (115 \times 2,5/200)^2 = 2,07 \text{ s}$$

Vastaavat ajat 1,5 mm² kaapelilla olisivat 0,19 s ja 0,74 s.

Oikosulkusuojaus toteutuminen tulee varmistaa suunnitteluvaiheessa, eikä sitä tarvitse selvittää mittauksin käyttöönottotarkastuksissa. Käyttöönottotarkastuksissa varmistetaan, että suojalaitteet ja johdinpoikkipinnat on valittu suunnitelmien mukaisesti.

Silloin kun oikosulkuvirrat ovat suuria, oikosulun sallittu kesto-aika on huomattavasti lyhyempi kuin 5 sekuntia.

Oikosulkusuojausominaisuudet, katso luku 53.

TAULUKKO 43.2. Johdon oikosulkusuoja toimivan sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta. Jatkosten ja päätteiden oikosulkukestoisuus on tarkistettava erikseen.

1	2	3
Johdon poikkipinta mm²	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	aM-sulake
Kuparijohdin, PVC-eristys (esim. MMJ, MK, yms.) ¹⁾		
0,75	10	-
1,0	16	-
1,5	25	10
2,5	32	16
4	40	25
6	63	40
10	80	63
16	125	100
25	200	160
35	250	200
50	315	315
70	400	400
95	500	500
120	630	630
150	800	800
185	1000	1000
240	1000	1250
300	1250	1250
Kuparijohdin, PVC-eristys, konsentrisen kuparijohdin (esim. MCMK)		
n × 1,5 + 1,5	25	10
n × 2,5 + 2,5	32	16
n × 4 + 4	40	25
n × 6 + 6	63	40
n × 10 + 10	80	63
n × 16 + 16	125	100
n × 25 + 16	160	125
n × 35 + 16	160	125
n × 50 + 25	250	200
n × 70 + 35	315	250
n × 95 + 50	400	315
n × 120 + 70	500	500
n × 150 + 70	500	500
n × 185 + 95	630	630
n × 240 + 120	800	800

¹⁾ Sulakkeen valinnan määrää johdon poikkipinnaltaan pienin johdin.

TAULUKKO 43.2. jatkuu Johdon oikosulkusuoja toimivan sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta. Jatkosten ja päätteiden oikosulkukestoisuus on tarkistettava erikseen.

1 Johdon poikkipinta mm ²	2	3
	Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	aM-sulake
Alumiinijohdot, PVC-eristys (esim. AMMK) ¹		
16	100	63
25	125	100
35	200	125
50	250	200
70	315	250
95	400	315
120	500	400
150	630	500
185	630	630
240	800	800
300	1000	1000
400	1000	1250
500	1250	1250
630	1250	1250
800	1250	1250
Alumiinijohdot, PEX-eristys (esim. AXMK) ¹		
16	125	80
25	160	125
35	250	200
50	315	250
70	400	315
95	500	500
120	630	630
150	630	630
185	800	800
240	1000	1000
300	1250	1250
400	1250	1250
500	1250	1250
630	1250	1250
800	1250	1250

¹⁾ Sulakkeen valinnan määrää johdon poikkipinnaltaan pienin johdin.

TAULUKKO 43.2. jatkuu Johdon oikosulkusuojana toimivan sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta. Jatkosten ja päätteiden oikosulkukestoisuus on tarkistettava erikseen.

1 Johdon poikkipinta mm ²	2 Sulakkeen suurin sallittu nimellisvirta A	
	gG-sulake	aM-sulake
Alumiinijohdot, PVC-eristy- (esim. AMCMK)		
3 × 16 Al + 10 Cu	100	63
3 × 25 Al + 10 Cu	125	80
3 × 35 Al + 10 Cu	125	80
3 × 50 Al + 15 Cu	160	125
3 × 70 Al + 21 Cu	250	160
3 × 95 Al + 29 Cu	250	200
3 × 120 Al + 41 Cu	400	315
3 × 150 Al + 41 Cu	400	315
3 × 185 Al + 57 Cu	500	400
3 × 240 Al + 72 Cu	630	500
3 × 70 Al + 35 Al + 21 Cu	200	125
3 × 120 Al + 70 Al + 41 Cu	315	250
3 × 185 Al + 95 Al + 57 Cu	400	315
Alumiinijohdot, PEX-eristy, plus-konstantinen kuparijohdin (esim. AXCMK)		
3 × 16 Al + 10 Cu	125	80
3 × 35 Al + 10 Cu	160	125
3 × 70 Al + 21 Cu	315	250
3 × 120 Al + 41 Cu	500	400
3 × 185 Al + 57 Cu	630	500
3 × 300 Al + 88 Cu	800	800

Taulukko 43.2 soveltuu useimpiin tapauksiin. Jos kuitenkin piirin oikosulkuvirta on hyvin pieni, on syytä tarkistaa johdon terminen kestoisuus standardin SFS 6000 kohdassa 434.5.2 esitettyllä kaavalla.

Esimerkki tästä on esitetty seuraavassa.

Esimerkki: PVC-eristeisen 1,5 mm² Cu-virtapiirin pienin oikosulkuvirta on 85 A. Mikä on johtoa oikosululta suojaavan gG-sulakkeen suurin nimellisvirta?

Ratkaisu:

$$k^2 A^2 = (115 \times 1,5)^2 A^2 s = 29\,756 A^2 s$$

$$t = 29\,756 A^2 s / (85 A)^2 = 4,1 s$$

sulakekäyrältä ==> suurin sallittu gG-sulake on 20 A.

Nimellisvirraltaan taulukossa 43.2 esitettyjä suuremmat suojalaitteet voidaan valita oikosulkusuojaksi, jos oikosulkuvirta on suuri ja oikosulku kytketään hyvin nopeasti pois. Tällöinkin standardin kaava 43.2 mitoitus ehdon tulee täyttyä.

523 Johtojen kuormitettavuus

523.1 Yleistä

Johdon kuormitettavuus on määritelty johdolle sallitun suurimman lämpötilan mukaan. Johtimelle jatkuvasti sallittua lämpötilaa ei saa ylittää, koska

- yllämpötila voi aiheuttaa tulipalon
- yllämpötila lyhentää johdon käyttöikää kiihdyttämällä eristeiden vanhenemista.

Johdon kuormitettavuuteen vaikuttavat johdinmateriaali, eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden virtapiirien läheisyys. Johdon kuormitettavuuden määrää sen kyky luovuttaa virran aiheuttama lämpö ympäristöön.

Käytännössä johtimen kuormitettavuutta ei voida määrittää pelkästään sille sallittujen lämpötilojen avulla, vaan tarvitaan tietoa sallituista kuormitusvirroista. Standardissa SFS 6000 kuormitettavuustaulukot on esitetty kohdassa 523. Tämän lisäksi on mahdollista käyttää muita sopivia menetelmiä, esim. valmistajan antamia ohjeita, kunhan ne täyttävät vaatimukset suurimmista sallituista lämpötiloista.

Standardin SFS 6000-5-523 kuormitettavuustaulukot

Kuormitettavuustaulukoiden pohjana on käytetty standardia IEC 60364-5-523. Maahan asennettujen kaapeleiden kuormitettavuustaulukot perustuvat kansallisiin käytäntöihin. Kuormitettavuusarvot on laskettu vastaamaan Suomessa käytettyjä ilman lämpötilan, maan lämpötilan ja maan lämpöresistiivisyyden arvoja:

Ilman lämpötila	+25°C	(IEC +30°C)
Maan lämpötila	+15°C	(IEC +20°C)
Maan lämpöresistiivisyys	1,0 K m/W	(IEC 2,5 K m/W)

Kuormitettavuustaulukoita on paljon, koska kuormitettavuudet on laskettu erikseen yksivaihe- ja kolmivaihevirtapiireille sekä erikseen PVC-eristeisille ja PEX-eristeisille johtimille. Lisäksi asennustavat on jaettu kuormitettavuuden kannalta yhdeksään ryhmään.

Yksityiskohtainen jaottelu mahdollistaa tarkemman mitoituksen, mutta useinkaan ei ole syytä mitoittaa johdinta tarkalleen kuormitettavuuden perusteella. Tarkan mitoituksen käyttö saattaa olla perusteltua tapauksissa, joissa asennusreitit varrella lyhyellä matkalla johdon kuormitettavuus on huomattavasti pienempi kuin muun johtoreitin osalta.

Johdon mitoituksessa tulee ottaa huomioon myös taloudellisuus, jännitehäviöt ja virtapiirin suurimman sallitun impedanssin asettamat rajoitukset. Kuormitettavuustaulukoiden käyttöä voi yksinkertaistaa esim. käyttämällä kolmivaihepiireille sallittuja arvoja myös yksivaihepiireille.

Yksinkertaistetut kuormitettavuustaulukot

Koska tarkka mitoitus ei yleensä ole perustelu, selviää useimmista mitoitus tehtävistä käyttämällä taulukon 52.1 mukaisia kuormitettavuusarvoja. Taulukot sisältävät arvot uppoasennukselle (asennustapa A 1), pinta-asennukselle (asennustapa C), maa-asennukselle (asennustapa D) ja vapaasti ilmaan tehtävälle asennukselle (asennustapa E). Arvot on laskettu PVC-eristeisille kolmivaihepiireille, jolloin niitä voi soveltaa myös yksivaihepiireihin ja PEX-eristeisiin kaapeleihin.

TAULUKKO 52.1. Johtojen kuormitettavuudet (A) eri asennustavoilla.

Johtimen nimellispoikki- pinta (mm ²)	SFS 6000:n mukaiset asennustavat			
	A	C	D	E
Kupari				
1,5	14	18,5	26	19
2,5	19	25	35	26
4	24	34	46	36
6	31	43	57	45
10	41	60	77	63
16	55	80	100	85
25	72	102	130	107
35	88	126	160	134
50	105	153	190	162
70	133	195	240	208
95	159	236	285	252
120	182	274	325	292
150	208	317	370	338
185	236	361	420	386
240	278	427	480	456
300	316	492	550	527
Alumiini				
16	43	62	78	65
25	56	77	100	83
35	69	95	125	102
50	83	117	150	124
70	104	148	185	159
95	125	180	220	194
120	143	209	255	225
150	164	240	280	260
185	187	274	330	297
240	219	323	375	350
300	257	372	430	404

Taulukossa 52.2 on yhdistetty johtojen mitoitus ylikuormitussuojan valintaan.

TAULUKKO 52.2. Johdon mitoitus ylivirtasuojan nimellisvirran perusteella.

Korjauskerroin		1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Asennus-tapa	Sulake/johdon-suojakatkaisijan nimellisvirta I_N	Vähimmäispoikkipinta, kun suojalaitteena on sulake/johdonsuojakatkaisija mm ² Cu					
A	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	10	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5/1,5	4/2,5	4/2,5
	13 ⁴⁾	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4
	16	2,5	2,5	4/2,5	4	6/4	6
	20	4/2,5	4	6/4	6	10/6	10
	25	6/4	6	10/6	10	10	16
	32	10/6	10	10	16/10	16	25/16
	35	10	10	16/10	16	25/16	25
	40	10	16/10	16	16	25	35/25
	50	16	16	25	25	35/25	50/35
	63	25	25	35/25	35	50	70/50
	80	35	35	50	70/50	70	95
	100	50	70/50	70	95/70	95	150/120
	125	70	95/70	95	120/95	150/120	185
	160	120	120	150	185	240	300
	200	150	185	240	300	—	—
	250	240	240	300	—	—	—
C	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	10	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5/1,5
	13 ⁴⁾	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5
	16	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5	4/2,5	4
	20	2,5/1,5	2,5	2,5	4/2,5	4	6/4
	25	4/2,5	4/2,5	4	6/4	6	10/6
	32	4	6/4	6	10/6	10	10
	35	6/4	6	10/6	10	10	16/10
	40	6	10/6	10	10	16/10	16
	50	10	10	16/10	16	16	25
	63	16/10	16	16	25/16	25	35
	80	16	25/16	25	35/25	35	50
	100	25	35/25	35	50/35	70/50	70
	125	35	50/35	70/50	70	95/70	95
	160	70	70	95	95	120	150
	200	95	95	120	150	185	240
	250	120	150	150	185	240	300
	315	150	185	240	300	—	—
	400	240	300	300	—	—	—

TAULUKKO 52.2. jatkuu Johdon mitoitus ylivirtasuojan nimellisvirran perusteella.

Korjauskertoimen		1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Asennustapa	Sulake/johdon-suojakatkaisijan nimellisvirta I _N	Vähimmäispoikkipinta, kun suojalaitteena on sulake/johdonsuojakatkaisija mm ² Cu					
D	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	13 ⁴⁾	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	16	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
	20	1,5	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5	4/2,5
	25	1,5	2,5/1,5	2,5	2,5	4/2,5	6/4
	32	2,5	2,5	4	4	6/4	10/6
	35	4/2,5	4/2,5	4	6/4	6	10
	40	4	4	6/4	6	10	10
	50	6/4	6	10/6	10	16/10	16
	63	10	10	16/10	16	16	25
	80	16/10	16	16	25/16	25	35
	100	16	25/16	25	35/25	35	50
	125	25	35/25	35	50/35	70/50	70
	160	50	50	70	70	95	120
	200	70	70	95	95	120	150
	250	95	95	120	150	185	240
	315	120	150	185	240	300	—
	400	185	240	300	—	—	—
	500	300	—	—	—	—	—
E	6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5/1,5
	13 ⁴⁾	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
	16	1,5	1,5	2,5/1,5	2,5	2,5	4
	20	2,5/1,5	2,5	2,5	4/2,5	4	6/4
	25	2,5	4/2,5	4	4	6/4	10/6
	32	4	4	6/4	6	10	10
	35	4	6/4	6	10/6	10	16/10
	40	6	6	10/6	10	10	16
	50	10	10	10	16/10	16	25/16
	63	16/10	16/10	16	25/16	25	35/25
	80	16	25/16	25	35/25	35	50/35
	100	25	35/25	35	50/35	50	70
	125	35	50/35	50	70/50	70	95
	160	50	70	70	95	120	150
	200	70	95	95	120	150	185
	250	95	120	150	185	240	300
	315	150	185	240	240	300	—
	400	240	240	300	—	—	—
	500	300	—	—	—	—	—

TAULUKKO 52.3. jatkuu Johdon mitoitus ylivirtasuojan nimellisvirran perusteella.

Korjauskerroin		1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Asen- nus- tapa	Sulake/johdon- suojakatkaisijan nimellisvirta I _N	Vähimmäispoikkipinta, kun suojalaitteena on sulake/johdonsuojakatkaisija mm ² Al					
A	25	16	16	16	16	16	25/16
	32	16	16	16	25/16	25	35/25
	35	16	16	25/16	25	25	35
	40	16	25/16	25	25	35	50/35
	50	25	25	35/25	35	50	70
	63	35	50/35	50	70/50	70	95
	80	50	70/50	70	95/70	120/95	150/120
	100	70	95/70	95	120/95	150/120	185
	125	95	120/95	150/120	185/150	240/85	300/240
	160	150	185	240	300	300	–
	200	240	300	300	–	–	–
	250	300	–	–	–	–	–
C	25	16	16	16	16	16	16
	32	16	16	16	16	16	16
	35	16	16	16	16	16	25/16
	40	16	16	16	16	25/16	25
	50	16	16	16	25	35/25	35
	63	25/16	25	35/25	35	50/35	50
	80	35/25	35	50/35	50	70/50	70
	100	50/35	50	70/50	70	95/70	120/95
	125	70/50	70	95/70	95	120/95	150/120
	160	95	95	120	150	185	240
	200	120	150	185	240	240	300
	250	185	240	240	300	–	–
	300	240	300	–	–	–	–
D	25	16	16	16	16	16	16
	32	16	16	16	16	16	16
	35	16	16	16	16	16	16
	40	16	16	16	16	16	16
	50	16	16	16	16	25/16	25
	63	16	16	25/16	25	25	35
	80	25/16	25	25	35/25	50/35	50
	100	25	35/25	35	50/35	70/50	70
	125	50/35	50/35	70/50	70	95/70	120/95
	160	70	70	95	120	120	185
	200	95	120	120	150	185	240
	250	120	150	185	240	300	–
	315	185	240	300	–	–	–
	400	300	–	–	–	–	–

TAULUKKO 52.3. jatkuu Johdon mitoitus ylivirtasuojan nimellisvirran perusteella.

Korjauskerroin		1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
Asennustapa	Sulake/johdon-suojakatkaisijan nimellisvirta I_N	Vähimmäispoikkipinta, kun suojalaitteena on sulake/johdonsuojakatkaisija mm ² Cu					
E	25	16	16	16	16	16	16
	32	16	16	16	16	16	16
	35	16	16	16	16	16	16
	40	16	16	16	16	16	25
	50	16	16	16	25/16	25	35
	63	16	25/16	25	35/25	35	50
	80	25	35/25	35	50/35	70/50	70
	100	35	50/35	50	70	70	95
	125	70/50	70	70	95/70	120/95	150/120
	160	95	95	120	120	150	185
	200	120	120	150	185	240	300
	250	150	185	240	240	300	-
	315	240	240	300	-	-	-
	400	300	-	-	-	-	-

Taulukkoa 52.2 ja 52.3 koskevia huomautuksia:

- 1) Valintataulukko soveltuu gG-sulakkeille, D-typin sulakkeille sekä B-, C- ja D-tyyppisille johdonsuojakatkaisijoille. Sulakkeella suojatun johdon poikkipinta on ilmoitettu ensimmäisenä, johdonsuojakatkaisijaa koskevat arvot sen jälkeen. Johdonsuojakatkaisijoiden arvot on ilmoitettu 125 A:iin saakka.
- 2) Kuormitettavuusarvot on määritetty virtapiireille, joissa on kolme kuormitettua PVC-eristeistä johdinta. Taulukon arvoja voidaan soveltaa myös PEX-eristeisiin johtimiin sekä piireihin, joissa on kaksi kuormitettua johdinta.
- 3) A-asennustavan arvot soveltuvat käytettäväksi myös B-asennustavoissa. Asennustavan E arvot soveltuvat käytettäväksi myös asennustavoissa F ja G.
- 4) 13 A koskee ainoastaan johdonsuojakatkaisijalla suojatun johdon poikkipinnan määrittämistä.
- 5) Suojalaitteiden toiminta-arvot on ilmoitettu 30 °C lämpötilassa. Lämpötilan poikkeudessa tästä eivät standardin ilmoittamat arvot ole voimassa.

Siirrettävät kaapelit

TAULUKKO 52.4. Siirrettävien kaapeleiden kuormitettavuudet, PVC kumieristeinen HD 21 tai HD 22 mukainen liitäntäkaapeli.

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Kuormitettavuus vapaasti ilmassa (A)	
	Yksivaiheinen kuormitus	Kolmivaiheinen kuormitus
0,5	3	3
0,75	6	6
1,0	10	10
1,5	17	17
2,5	26	21
4	34	34
6	42	
10	66	

TAULUKKO 52.5. Siirrettävien kaapeleiden kuormitettavuudet, vahva EPR-eristeinen liitäntäkaapeli H07RN-F.

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Kuormitettavuus vapaasti ilmassa (A)	
	Kolme johdinta, kaksi kuormitettua johdinta	Neljä johdinta, kolme kuormitettua johdinta
4	36	31
6	46	39
10	64	54
16	85	72
25	113	96
35	140	119
50	176	149
70	219	185
95	260	219
120	304	259
150	348	293
185	393	332

Riippukierrejohto AMKA

TAULUKKO 52.6. AMKA-riippukierrekaapelin kuormitettavuus ampeereina vapaasti ilmassa. Alumiinijohtimet, PE-eristys. Johtimen lämpötila 70 °C. Ympäristön lämpötila 25 °C.

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Kuormitettavuus vapaasti ilmassa (A)
1 × 16 + 25	75
3(4) × 16 + 35	70
3 × 25 + 35	90
3 × 35 + 50	115
3 × 50 + 70	140
3 × 70 + 95	180
3 × 120 + 95	250

Korjauskertoimet

Kuormitettavuustaulukot on ilmoitettu tietyssä lämpötilassa ja maan osalta myös maan lämmönjohtavuudella on vaikutusta kuormittavuuteen. Lisäksi jos kaapelin lähistöllä on muita kaapeleita, jotka heikentävät kuormitettavuutta, tulee nämä asiat ottaa huomioon todellista kuormitettavuutta arvioitaessa. Tämä voidaan tehdä käyttämällä apuna korjauskertoimia, jotka ottavat huomioon näiden tekijöiden vaikutukset kuormitettavuuteen. Todellinen kuormitettavuus saadaan kertomalla kuormitettavuustaulukosta saatu virta-arvo korjauskertoimella tai korjauskertoimilla.

TAULUKKO 52.7. Ilmaan asennettavien kaapelien yhteydessä käytettävät korjauskertoimet, kun lämpötila poikkeaa 25 °C.

Ympäristön lämpötila °C	Korjauskertoimien johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX ja EPR
10	1,15	1,11
15	1,10	1,07
20	1,05	1,04
25	1,00	1,00
30	0,94	0,96
35	0,88	0,92
40	0,82	0,88
45	0,75	0,84
50	0,67	0,79
55	0,58	0,73
60	0,47	0,68
65	–	0,62
70	–	0,56
75	–	0,48
80	–	0,39

TAULUKKO 52.8. Korjauskertoimet ympäröivän maan lämpötilan mukaan.

Maan lämpötila °C	Korjauskertoimen johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX ja EPR
0	1,13	1,10
5	1,09	1,06
10	1,05	1,03
15	1,00	1,00
20	0,95	0,96
25	0,90	0,93
30	0,85	0,89

TAULUKKO 52.9. Korjauskertoimet maan lämpöresistiivisyyden mukaan

Lämpöresistiivisyys, K m/W	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Korjauskertoimen	1,1	1,0	0,92	0,85	0,75	0,69	0,63

TAULUKKO 52.10. Maan lämpöresistiivisyyden arvoja

Maalaji	Lämpöresistiivisyys, K m/W
Kuiva hiekka (kosteus 0 %)	3,0
Kuiva sora tai savi	1,5
Puolikuiva sora, suomuta ja hiekka (kosteus 10 %)	1,2
Puolikuiva savi ja kostea sora	1,0
Kostea savi ja hiekka (kosteus 25 %)	0,7

TAULUKKO 52.11. Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita kaapeleita tai virtapiirejä.

Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Virtapiirien tai monijohdinkaapeleiden lukumäärä											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
Nipussa ilmassa, pinnalla, upotettuna tai kotelon sisällä	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71			
Yhdessä kerroksessa kiinnitettynä suoraan puisen alakaton pinnalle	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
Yhdessä kerroksessa rei'itetyllä kaapelihyllyllä vaaka- tai pystysuunnassa	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Taulukkoa koskevia huomioita:

- Kertoimet soveltuvat samanlaisille ja samalla tavalla kuormitetuille kaapeli-ryhmille.
- Jos lähekkäin olevien kaapeleiden etäisyys toisistaan ylittää kaksi kertaa niiden kokonaishalkaisijan, korjauskertoimia ei tarvitse soveltaa.
- Samoja kertoimia sovelletaan sekä monijohdinkaapeleille että kahden tai kolmen yksijohdinkaapelin ryhmiin.

Johdon poikkipintaa määritettäessä menetellään seuraavalla tavalla:

- a. Valitaan sulakkeen nimellisvirta, joka on yhtä suuri tai suurempi kuin oletettu kuormitusvirta.
- b. Etsitään taulukon 43.1 sarakkeesta 2 valittua sulaketta vastaava kuormitusvirta, joka johdon on vähintään kestettävä.
- c. Määritellään kyseisiä asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet ja jaetaan edellisessä kohdassa b saatu kuormitusvirta korjauskertoimien tulolla.
- d. Etsitään johdon kuormitustaulukosta (taulukko 52.1) kohdassa c laskettua virtaa vastaava poikkipinta.

Määritettäessä tiettyä poikkipintaa vastaava sulake menetellään seuraavasti:

- e. Määritetään asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet.
- f. Etsitään johdon kuormitustaulukosta (taulukko 52.1) johdon normaali kuormitusvirta ja kerrotaan tämä korjauskertoimilla.
- g. Etsitään taulukon 43.1 sarakkeesta 2 virta, joka on lähinnä pienempi viimeksi laskettua virtaa.
- h. Johdon saa suojata sarakkeessa 1 ilmoitetulla, tätä virtaa vastaavalla sulakkeella.
- i. Sulakkeen nimellisvirta on samalla myös suurin sallittu kuormitusvirta.

Taulukoista 52.2 ja 52.3 saadaan suoraan tiettyä johtimen poikkipintaa vastaava sulake ja päinvastoin, kun asennustapaan kuuluva kuormitettavuuden korjauskerroin on arvioitu.

Esimerkki 52.1: Tehtävänä on määrittää 75 A vastaava johdinpoikkipinta (Cu) asennustavoissa A ja C kuormitettavuuden korjauskertoimen ollessa 1 ja 0,70.

Asennustapa A, $k = 1$

- a. 75 A lähinnä suurempi sulake on 80 A.
- b. Taulukosta 43.1 saadaan sulakekoon 80 A kohdalta johdon kuormitettavuuden minimivaatimukseksi 88 A.
- c. Koska johdon on kestettävä vähintään 88 A on taulukon 52.1 sarakkeesta 2 etsittävä vähintään yhtä suuri virta. Tämä virta on 88 A ja tätä vastaava kuparipoikkipinta on 35 mm^2 .

Asennustapa A, $k = 0,70$

d. Jaetaan 88 A kertoimella 0,7. Virraksi saadaan 126 A.

Taulukon 52.1 sarakkeesta 2 löydetään 126 A lähinnä olevaksi, vähintään yhtä suureksi virraksi 133 A, jota vastaa kuparipoikkipinta 70 mm^2 .

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää taulukkoa 52.2.

Asennustapa A:

80 A sulaketta vastaava pienin poikkipinta korjauskertoimelle $k = 1$ on 35 mm^2 .

Vastaavasti korjauskertoimella $k = 0,7$ pienin poikkipinta on 70 mm^2 .

Asennustapa C:

80 A sulaketta vastaava pienin poikkipinta korjauskertoimelle $k = 1$ on 25 mm^2 .

Vastaavasti korjauskertoimella $k = 0,7$ pienin poikkipinta on 35 mm^2 .

Esimerkki 52.2: Johdon poikkipinnan ja ylikuormitussuojan valinta, kun kuormitus ja asennusolot tunnetaan. Kuormitusvirta on 117 A, ja kaapelit asennetaan kaapelitikkaille. Samoilte tikkaille asennetaan vierekkäin 8 muuta kaapelia. Ympäristön lämpötila on 35°C .

Ratkaisu:

Ylikuormitussuojan nimellisvirran tulee olla vähintään kuormitusvirran suuruinen. Valitaan ylikuormitussuojaksi 125 gG-sulake.

Kaapelin kuormitettavuuden tulee olla taulukon 43.1 mukaan vähintään 138 A.

Määritetään korjauskertoimet:

Lämpötilakorjauskerroin: taulukko 52.7

Lämpötilakorjauskertoimeksi saadaan 0,88

Muiden kaapeleiden vaikutus: taulukko 52.11

Korjauskerroin 0,78

Kokonaiskorjauskerroin: $0,88 \times 0,78 = 0,686$

Kaapelin kuormitettavuuden tulee olla ilman korjauskertoimia vähintään
 $138 \text{ A} / 0,686 = 201 \text{ A}$

Taulukosta 52.1 huomataan, että kolmivaihekaapeliksi voidaan valita kaapeli, jossa johtimen nimellispoikkipinta on $70 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$. Tällaisen johtimen kuormitettavuus on 208 A.

Sama asia voitaisiin tarkistaa taulukosta 52.2 seuraavasti: Asennustavalla E katsotaan 125 A sulaketta vastaava kaapelin minimipoikkipinta silloin, kun korjauskerroin on 0,7. Päädytään poikkipintaan 70 mm^2 .

Jaksoittainen kuormitus

Esimerkki 52.3: AMCMK $4 \times 120 + 41$ Cu asennetaan siten, että kaapeli kulkee 80 m kaapelitikkailla, jossa on 5 muuta kaapelia, ympäristön lämpötila on $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Osalla asennusreittiä kaapeli kulkee seinäpinnalla, jossa ei ole lähellä muita kaapeleita ja ympäristön lämpötila on $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Määritä kaapelin kuormitettavuus ja suurin sallittu ylikuormitussuojana käytettävä sulake.

Kuormitettavuus kaapelitikkailla

Taulukko 52.1. kuormitettavuus ilman korjauskertoimia 225 A

Korjauskerroin, joka ottaa huomioon muut kaapelit,
taulukosta 52.11. saadaan 0,79

Korjauskerroin, joka ottaa huomioon lämpötilan,
taulukosta 52.7. saadaan 0,94

Korjattu kuormitettavuus: $0,79 \times 0,94 \times 225\text{ A} = 167,1\text{ A}$

Kuormitettavuus seinäpinnalla

Taulukko 52.1. Kuormitettavuus ilman korjauskertoimia 209 A

Korjauskerroin, joka ottaa huomioon lämpötilan,
taulukosta 52.7. saadaan 0,94

Korjattu kuormitettavuus: $0,94 \times 209\text{ A} = 196,5\text{ A}$

Kaapelihyllysyys määrää kuormitettavuuden

Ylikuormitussuoja saadaan taulukosta 43.1, valitaan ylikuormitussuojaksi 125 A sulake. 160 A sulake ei käy, koska tällöin kuormitettavuuden tulisi olla vähintään 177 A.

Kun johdon kuormitus vaihtelee jaksoittaisesti, johdossa sallitaan kuormitusjaksojen aikana suurempi virta kuin jatkuvalla kuormitusvirralla lasketuissa taulukoissa on ilmoitettu. Jaksoittainen kuormitusvirta ei saa lämmittää johtoa suurempaan lämpötilaan kuin mitä johtimelle on jatkuvassa käytössä sallittu. Tällaisia jaksoittaisia kuormituksia esiintyy mm. monimoottorikäytöissä.

Lämpöeristeen läpiviennin vaikutus kaapelin kuormitettavuuteen

Kaapelit tai putkeen asennetut johtimen eivät saa läpivientejä lukuun ottamatta jäädä kokonaan lämpöeristeen ympäröimäksi. Kaapeli tai putki tulee asentaa siten, että lämpö pääsee poistumaan joltakin sivulta, koska lämmön siirtyminen pitkitäissuunnassa on vähäistä. Mikäli kaapeli asennetaan lämpöeristettyyn seinään, tulee kaapeli olla kosketuksissa toiselta puoleltaan lämpöä johtavaan seinään. Sama koskee asennusputkea.

Kun kaapeli tai putki menee lämpöeristeen läpi, tulee kaapelin kuormitettavuutta pienentää kertoimella, jonka suuruus riippuu lämpöeristeen lämmönjohtavuudesta ja paksuudesta. Kertoimet on määritelty enintään 0,5 m läpivienneille ja ne on esitetty taulukossa 522.12.

TAULUKKO 522.12. Lämpöeristeen paksuuden vaikutus kuormitettavuuteen.

Lämpöeristeen paksuus	Korjauskertoin
10	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,50

Taulukon korjauskertoimet soveltuvat enintään 10 mm² johdinpoikkipinnoille ja lämmöneristeelle, jonka lämmönjohtavuus on suurempi kuin 0,0625 W/Km. Esimerkiksi tavanomaisen vuorivillan lämmönjohtavuus voi olla jopa alle 0,04 W/Km, jolloin lämmönpoistuminen kaapelista on vielä huonompaa, jolloin voi olla tarpeen käyttää vielä pienempiä kertoimia.

Kuormitettavuudet lasketaan pinta-asennustavan C mukaisista kuormitusarvoista. Taulukkoon 522.13 on laskettu 1,5 mm²–10 mm² johdinpoikkipinnoille kuormitettavuudet eri eristepaksuuksilla, kun voidaan käyttää taulukon 522.12 korjauskertoimia.

TAULUKKO 522.13. Kaapeleiden kuormitettavuudet lämpöeristeen läpiviemissä.

Lämpöeristeen paksuus cm	Kaapelin poikkipinta mm ² Cu	Kaksi kuormitettua johdinta, kuormitettavuus A	Kolme kuormitettua johdinta, kuormitettavuus A
5	1,5	17,8	16,5
10	1,5	16,2	15,0
20	1,5	13,6	12,6
40	1,5	11	10,2
50	1,5	10	9,3
5	2,5	25,8	22,3
10	2,5	23,5	20,3
20	2,5	19,7	17
40	2,5	16,0	13,8
50	2,5	14,5	12,5
5	4	33,8	30,3
10	4	30,8	27,5
20	4	25,8	23,1
40	4	20,9	18,7
50	4	19	17
5	6	43,6	38,3
10	6	39,7	34,8
20	6	33,3	29,2
40	6	27,0	23,7
50	6	24,5	21,5
5	10	59,6	53,4
10	10	54,3	48,6
20	10	45,6	40,8
40	10	36,9	33
50	10	33,5	30

Taulukon perusteella esimerkiksi poikkipinnaltaan $1,5 \text{ mm}^2$ yksivaiheisen virtapiirin kuormitettavuus on 10 A silloin, kun lämpöeristeen paksuus on 50 cm. Tämä mahdollistaisi (juuri ja juuri) 10 A johdonsuojakatkaisijan käytön kyseisen johdon ylikuormitussuojana. Jos kyseessä olisi vastaava kolmivaihepiiri, 10 A johdonsuojakatkaisijaa ei voisi käyttää ylikuormitussuojana. Vastaavasti $2,5 \text{ mm}^2$ yksivaiheisella virtapiirillä ei voisi käyttää 16 A johdonsuojakatkaisijaa, mikäli lämpöeristeen paksuus ylittäisi 40 cm.

Jos kyseessä on jokin muu läpivienti kuin lämpöeristeen läpivienti, taulukkoa ei suoraan tarvitse käyttää kuormitettavuuksien arvioinnissa silloin, kun läpiviennin lämmönjohtavuus on selkeästi parempi kuin $0,0625 \text{ W/Km}$. Kuitenkin läpivientien mahdollinen vaikutus kuormitettavuuteen tulee ottaa huomioon, vaikkei tähän ole erikseen kertoimia esitetty.

523.4 Ympäristön lämpötila

Ympäristön lämpötila on esim. prosessiteollisuudessa usein huomattavasti korkeampi kuin kuormitettavuustaulukoiden viitelämpötila. Lämpötila vaikuttaa johdon kuormitettavuuden lisäksi myös suojalaitteiden toiminta-arvoihin.

523.6 Virtapiirin kuormitettujen johtimien määrä

Standardin SFS 6000 kohdan 523 kuormitettavuusarvot on ilmoitettu sellaisissa tapauksissa, joissa on kaksi tai kolme kuormitettua johdinta. Virtapiirissä voi olla kuitenkin myös neljä kuormitettua johdinta, mikäli kolmivaihepiirissä myös nollajohtimessa kulkee virta. Tämä nollajohtimen virta pienentää myös vaihejohtimien kuormitettavuutta.

Tällaisia virtoja nollajohtimeen voivat aiheuttaa esim. merkittävät yliaaltovirrat kolmivaihevirtapiireissä. Nollajohtimen virta voi olla jopa suurempi kuin vaihejohtimien virta ja tämä vaikuttaa huomattavasti virtapiirin kuormitettavuuteen. Jos nollajohtimen virta on vaihejohtimen virtaa suurempi, tulee virtapiiri mitoittaa nollajohtimen virran perusteella.

Tällöin ovat usein käyttökelpoisia sellaiset kaapelit, joissa nollajohdin on vaihejohtimien vahvuinen. Tällaisia kaapeleita on nykyisin saatavissa suurillakin kaapelipoikkipinnoilla.

Merkittäviä yliaaltovirtoja aiheuttavat lähinnä purkauslamppuvalaisimet ja erilaiset tehoelektroniikkakytkennät ja tietokonekuormat.

Yliaaltovirtoja pitäisi ensisijaisesti pyrkiä suodattamaan mm. niiden aiheuttamien häiriöiden takia. Käytännössä tämä ei aina ole mahdollista. Yliaalto-osuuksien arvioiminen suunnitteluvaiheessa on myös usein hyvin hankalaa. Joissain tapauksissa tuleva kuormitus tunnetaan niin tarkasti, että voidaan arvioida myös yliaaltojen osuus ja ottaa se huomioon johdon mitoituksessa.

Mitoituksessa voi käyttää esimerkiksi seuraavaa menettelyä: Laaditut korjaustekijät soveltuvat tapauksiin, joissa nollajohdin on neli- tai viisijohdinkaapelissa ja sen poikkipinta ja materiaali on sama kuin vaihejohtimien. Korjaustekijät on laskettu

Enintään 200 mm vahvuudessa betoniseinässä, kun eristyksen muodostaa tiivistykseen käytetty kevytbetoni, on lämpötilan nousu niin vähäistä, ettei sitä tarvitse ottaa huomioon. Lämmöneristeen vaikutus kuormitettavuuteen, katso taulukko 522.12.

524 Johtimien poikkipinta

Kolmivaihepiireissä nollajohtimen poikkipinta voi olla pienempi kuin vaihejohtimien poikkipinta, jos vaihejohtimien poikkipinta on suurempi kuin $16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ tai suurempi kuin $25 \text{ mm}^2 \text{ Al}$. Tällöinkään nollajohtimen kuormitettavuutta ei saa ylittää ja nollajohdin on suojattava ylivirralla. Käytännössä nollajohdin voidaan suojata ylivirralla vaihejohtimien ylivirtasuojien avulla mitoittamalla ylivirtasuojat siten, että ne suojaavat myös nollajohtimen.

Nollajohtimen voi kuitenkin varustaa ylivirtasuojalla, joka ei saa olla erillään vaihejohtimien ylivirtasuojista. Käytännössä tämä tarkoittaa nelinapaisten suojalaitteiden käyttöä.

525 Jännitteenalenema kuluttajan sähköasennuksissa

Standardi SFS 6000 sisältää suosituksia jännitteenalenemasta liittymän sähköverkossa. Ellei erikseen ole sovittu, suositukset eivät ole velvoittavia. Normaalisti pienjänniteverkosta syötetylle laitteelle jännitteenalema saisi olla enintään 5 %. Valaistuskuormalle vastaava suositus on 3 %. Mikäli sähkölaitetta syötetään yksittäisestä teholähteestä, suositellut suurimmat jänniteenalemat voivat olla tätä suurempi.

Jännitteenaleneman laskemiseen voidaan käyttää SFS 6000 esitettyjen kaavojen lisäksi seuraavia laskentakaavoja.

Jännitteenalenema voidaan laskea käyttäen seuraavia kaavoja:

Tasajännitteellä:

$$\Delta U = I \times 2 \times r \times l \quad (5.1)$$

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \times 2 \times l \times (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (5.2)$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \times l \times \sqrt{3} \times (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (5.3)$$

Kaavoissa plusmerkkiä käytetään induktiivisella kuormalla ja miinusmerkkiä kapasitiivisella kuormalla.

Vastaava suhteellinen jännitteenalenema saadaan kaavasta:

$$\Delta u = \Delta U / U_n \times 100 \% \quad (5.4)$$

jossa

- ΔU on jännitteenalenema volteissa (V)
- I on kuormitusvirta (A)
- l on johdon pituus (m)
- r on ominaisresistanssi (Ω/m)
- x on ominaisreaktanssi (Ω/m)
- U_n on nimellisjännite
- φ on jännitteen ja virran välinen vaihekulma
- Δu on suhteellinen jännitteenalenema

Esimerkki: 5,5 kW tehoinen kolmivaiheinen oikosulkumoottori liitetään 230/400 V jännitteiseen verkkoon $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ Cu, 25 m pitkällä johdolla. Kuormituksen $\cos \varphi = 0,80$. Laske jännitteenalenema.

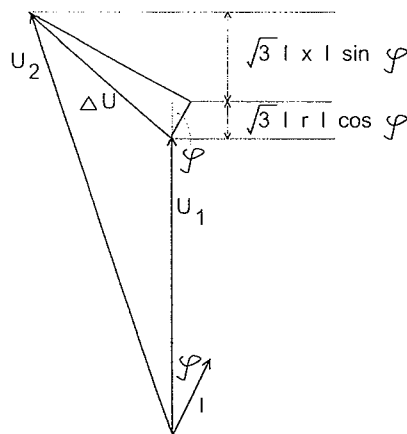
Ratkaisu:

$$I = P / (\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi) = 5\,500 \text{ W} / (\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 0,80) = 9,92 \text{ A}$$

$$\Delta U = 9,92 \text{ A} \times 25 \text{ m} \times \sqrt{3} \times (7,1 \text{ m}\Omega/\text{m} \times 0,8 + 0,1 \text{ m}\Omega/\text{m} \times 0,6) = 2,46 \text{ V}$$

$$\Delta u = (2,46 \text{ V} / 400 \text{ V}) \times 100 \% = 0,6 \%$$

Kuvassa 525.1 on esitetty diagrammi jännitteenaleneman muodostumisesta.



KUVA 525.1. Jännitteenalenema.