

Kaapelin mitoituksen ja suojauksen mallintaminen

Ella Lehtinen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Sähkövoimatekniikka

Tekijä(t) Lehtinen, Ella	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 30.05.2016
	Sivumäärä 83	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Kaapelin mitoituksen ja suojauksen mallintaminen		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Puttonen Pasi		
Toimeksiantaja(t) TSS GROUP OY		
Tiivistelmä <p>Tavoitteena oli luoda TSS GROUP OY:lle mallilaskentaa kaapeleiden mitoituksesta ja suojauksesta. Työssä tuli etsiä standardien mukaiset perusteet kaapelin mitoituksen ja suojauksen laskennalle sekä suojalaitteiden valintaan. Tarkoituksena oli, että valmista työtä lukieksaan lukija löytää helposti standardin kohdan, jossa kyseistä asiaa käydään lävitse.</p> <p>Toteutustapa pohjautui pääasiassa standardien tutkimiseen ja niiden pohjalta materiaalin tuottamiseen. Kaapelin mitoituksen ja suojauksen laskennan mallintamiseen käytettiin apuna esimerkkejä edellisistä projekteista. Edellisten projektien pohjalta luotiin mallintamiseen esimerkiverkko, johon valittiin halutut lähtötyypit tarkempaan tarkasteluun. Esimerkkiverkon lähdöille mitoitettiin kaapelit laskemalla käsin ja valittiin suojalaitteet. Erilliset laskuesimerkit tehtiin UPS-järjestelmien jälkeisille kaapeleille, palonkestäville kaapeleille sekä tasasähkökaapeleille.</p> <p>Laskentaohjelmista tarkempaan tarkasteluun valittiin e-Design, Febdoc, Intelec sekä Neplan. Vertailussa tarkasteltiin ohjelmien soveltuvuutta kaapeleiden mitoitukseen käytettävien standardien, oikosulkuvirtojen laskennan ja dokumentoinnin kannalta. Lisäksi otettiin huomioon ohjelmien laiteriippuvuus.</p> <p>Lopputuloksena saatiin TSS GROUP OY:n käyttöön materiaali, josta ilmenevät kaapeleiden mitoituksessa ja suojauksessa huomioon otettavat seikat. Materiaalista lukija löytää viittauksen standardiin tai muuhun standardin pohjalta tehtyyn teokseen, joka antaa käytännön ohjeita toteutukseen. Työn tuloksia voidaan hyödyntää koulutusmateriaalina sekä yksinkertaisten asennusten kaapelin mitoituksen ja suojauksen laskennassa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) kaapeli, mitoitus, suojaus, laskenta		
Muut tiedot		

Author(s) Lehtinen, Ella	Type of publication Bachelor's thesis	Date 30.05.2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 83	Permission for web publication: X
Title of publication Model calculations for sizing and protection of cables		
Degree programme Automation Engineering		
Supervisor(s) Puttonen Pasi		
Assigned by TSS GROUP OY		
Abstract <p>The aim of the thesis was to create model calculations about sizing and protection of cables for TSS GROUP OY. The purpose was to find the criteria and standards behind the calculations and selections of the protective devices. The goal was that when reading the final work the reader could easily find a reference to the standard in which the matter will be located.</p> <p>The implementation method was based on searching the standards and creating material based on those standards. The model calculations of sizing and protection of cables were made for an example network. The example network was implemented based on the previous project materials. Separate model calculations were made for cables after UPS-device, fire resistant cables and DC power cables.</p> <p>The aim was also to review the calculation programs. e-Design, Febdoc, Inteltec and Neplan were chosen for closer study. The programs were reviewed by their suitability for calculations based on which standard the program uses for cable sizing and protection, calculations of short-circuit currents, what kind of final documentation the program can print and if the program was device dependent.</p> <p>The result was a guideline where the information needed for calculating sizing and protection of cables can be found. In the thesis, there is a reference to a standard or other literature made based on the standards giving practical tips for the reader. The results can be used as a study material or sizing and checking the protection of cables in simple installations.</p>		
Keywords/tags (subjects) cable, sizing, protection, calculations		
Miscellaneous		

Sisältö

Lyhenteet.....	4
1 Johdanto.....	6
2 Teollisuuden sähkönjakelu.....	7
3 Sähköasennusstandardit.....	9
4 Kaapelin mitoitus ja suojaus.....	10
4.1 Kuormitettavuus.....	10
4.2 Jännitteenalenema.....	12
4.3 Ylikuormitussuojaus.....	14
4.3.1 Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijalla tai katkaisijalla.....	15
4.3.2 Ylikuormitussuojaus sulakkeella.....	16
4.4 Oikosulkusuojaus.....	17
4.4.1 Oikosulkusuojaus johdonsuojakatkaisijalla.....	19
4.4.2 Oikosulkusuojaus sulakkeella.....	20
4.5 Oikosulkukestoisuus.....	23
4.6 Vikasuojaus.....	24
4.7 Selektiivisyys.....	28
4.8 Palosuojaus.....	29
4.9 EMC-direktiivi.....	31
5 Kaapeleiden mitoituslaskenta.....	32
5.1 Dokumentit.....	32
5.2 Esimerkkiverkko.....	32
5.2.1 Alakeskuksen syöttökaapeli.....	37
5.2.2 1- ja 3-vaiheiset syöttökaapelit.....	40
5.2.3 Suorat sähkökäytöt.....	45
5.2.4 Suunnanvaihtokäytöt.....	50
5.2.5 Taajuusmuuttajakäytöt.....	51
5.3 UPS-lähtö.....	54

	2
5.4 DC-kaapelit	57
5.5 Palonkestävätkaaapelit	58
6 Laskentatyökalujen tarkastelu	59
6.1 e-Design	60
6.2 Febdok	61
6.3 Intelec	62
6.4 Neplan	62
7 Pohdinta	63
Lähteet.....	65
Liitteet	68
Liite 1. SFS 6000 standardit.....	68
Liite 2. Käsikirjan D1-2012 taulukoita.....	77
Liite 3. Kaapeliesitteet.....	80
Liite 4. Moottorikäyttöjen kojevalintataulukko.....	82

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki teollisuuden sähköjaka- lusta	8
Kuvio 2. Standardointikenttä	9
Kuvio 3. Katkaisija oikosulkusuojana.....	19
Kuvio 4. Sulake oikosulkusuojana	21
Kuvio 5. Sulakkeen gG16A toimintakäyrä	22
Kuvio 6. Kokonaisenergia I^2t , oikosulunrajoitusarvot.....	23
Kuvio 7. Selektiivisyyden tarkastelu	29
Kuvio 8. Esimerkkiverkko.....	33
Kuvio 9. Sulakkeen gG200A toimintakäyrä	39
Kuvio 10. Johdonsuojakatkaisijan C6A toimintakäyrä	42
Kuvio 11. Johdonsuojakatkaisijan C16A toimintakäyrä	45
Kuvio 12. Suojalaitteiden toiminta-ajat moottorin käynnistysvirralla.....	48
Kuvio 13. Sulakkeen aM63A toimintakäyrä	49
Kuvio 14. Moottorinsuojakytkimen MS450-50 toimintakäyrä	50

Kuvio 15. Sulakkeen gG100 toimintakäyrä.....	54
Kuvio 16. Tekniset tiedot laitteesta EATON UPS 9155 12 kVA	55
Kuvio 17. Johdonsuojakatkaisija tyyppi B:n laukaisukäyrä	56

Taulukot

Taulukko 1. Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat.....	11
Taulukko 2. Korjauskertoimet kuormitettavuuden laskennalle	12
Taulukko 3. Kaapelin poikkipinta-alan valinta	12
Taulukko 4. Jännitteenaleneman suositusarvot	13
Taulukko 5. Esimerkkiarvot jännitteenaleneman laskentaan.....	14
Taulukko 6. Katkaisijoiden ylikuormitusreleen laukaisurajavirrat	15
Taulukko 7. gG-sulakkeiden toimintaominaisuudet	17
Taulukko 8. Oikosulun katkaisukyky ja back up-suojaus.....	20
Taulukko 9. Oikosulkuselektiivisyys kA:na	20
Taulukko 10. Pääkeskuksen kulutuspistelista	36
Taulukko 11. Tasajännitekaapeleiden lasketut rajapituudet.....	58

Lyhenteet

A = johdinpoikkipinta

c = kerroin 0.95, joka ottaa huomioon jännitteenaleneman

c_{\min} = IEC: n käyttämä varmuuskerroin 0.95, kun $0.1 \text{ kV} \leq U_n \leq 1 \text{ kV}$

c_{\max} = IEC: n käyttämä varmuuskerroin 1.05, kun $0.1 \text{ kV} \leq U_n \leq 1 \text{ kV}$

$\cos\varphi$ = kuorman tehokerroin

I = virta

I_B = piirin mitoitusvirta

I_n = suojalaitteen nimellisvirta

I_k = oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa

$I_{k1\min}$ = pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta

$I_{k3\max}$ = maksimi kolmivaiheinen oikosulkuvirta

I_{KT} = sallittu oikosulkuvirta

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_{zp} = peruskuormitettavuus

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen laitteelle tavanomaisessa ajassa

k = johdinvakio

k = sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde

k = prosessille ominainen tasoituskerroin (0.6 – 1.0)

$k_{1..x}$ = olosuhteista riippuvat korjauskertoimet

P = keskuksen nimellisteho (kW)

r = johtimen ominaisresistanssi

R_T = resistanssi lämpötilassa T

R_v = resistanssi ennen suojalaitetta

R_{20} = resistanssi lämpötilassa 20 °C

s = johdon pituus

S_n = keskuksen nimellinäennäisteho

s_{\max} = suurin sallittu johtopituus

t = oikosulun kesto aika

T = lämpötila

U = pääjännite

U_n = nimellisjännite

x = johtimen ominaisreaktanssi

z = suojattavan johtimen ominaisimpedanssi

z_L = suojattavan vaihejohtimen ominaisimpedanssi

z_{PE} = suojattavan suojajohtimen ominaisimpedanssi

Z = virtapiirin kokonaisimpedanssi

Z_v = impedanssi ennen suojalaitetta

ΣP_i = keskuksen liitettyjen laitteiden yhteenlaskettu asennettu teho (kW)

Δu = suhteellinen jännitteenalenema

ΔU = jännitteenalenema

φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

α = resistiivisyyden lämpötilakerroin

1 Johdanto

Sähköasennusstandardit vaativat sähköasennusten suojauksen toimivuuden tarkistamista suunnitteluvaiheessa laskelmin. Jotta laskenta voidaan toteuttaa, tulee olla saatavilla laskentaan tarvittavat lähtötiedot. Ensisijaisesti tulee selvittää ylivirtasuojauksen sekä vikasuojauksen toteutuminen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda TSS GROUP OY:lle ohjeistusta sekä mallilaskentaa kaapelien mitoitukselle ja suojaukselle. Työhön valittiin tutkittavaksi seuraavat täsmäkohteet: keskuksen syöttökaapelit, 1- ja 3-vaiheiset syöttökaapelit, moottori-kaapelit, taajuusmuuttajakäytöt, UPS-järjestelmän jälkeiset kaapelit, DC-kaapeloinnit sekä palonkestävät kaapelit. Ohjeistukseen tuli hakea nykyisten standardien mukaiset perusteet laskennalle.

Teollisuudessa mitoitettavat kohteet ovat usein niin suuria, että käytännössä laskenta toteutetaan laskentaohjelmilla. Opinnäytetyössä tuli myös tarkastella eri valmistajien laskentaohjelmia ja niiden ominaisuuksia. Tarkastelussa tuli huomioida laskentaohjelman laiteriippuvuus.

Opinnäytetyö toteutettiin tutkimalla kaapelin mitoituksen ja suojauksen standardiperusteita sekä käytännön ohjeistusta antavia standardien pohjalta tehtyjä teoksia. Lähteet pyrittiin valitsemaan ja merkitsemään opinnäytetyöhön niin, että opinnäytetyön lukija pystyy halutessaan helposti pääsemään standardipohjaiseen tietoon käsiksi. Tämän takia internetlähteiden käyttö opinnäytetyössä oli vähäistä.

Valmiin opinnäytetyön tarkoituksena on selkeyttää kaapeleiden mitoittamisen ja suojauksen laskentaa sekä avata asiakkaalle palautettavan kaapelitaulukon tuloksien takana olevaa laskentaa. Kaapelitaulukosta ilmenee kaapelin suojalaite, kaapelin tyyppi sekä poikkipinta-ala ja kaapelin laskettu maksimipituus. Opinnäytetyötä voidaan myös käyttää koulutusmateriaalina sekä standardien ja määräyksien muuttuessa TSS GROUP OY:lle jäävää versiota voidaan tarvittaessa ylläpitää.

Opinnäytetyö tehtiin TSS GROUP OY:lle, joka on yksi ALTE-konsernin tytäryhtiöistä. TSS GROUP OY on erikoistunut sähkö-, tele-, turva- ja automaatio suunnitteluun sekä prosessi-, kone- ja mekaniikkasuunnitteluun. Yritys on perustettu vuonna 1985 ja sillä on toimipisteitä Tampereella, Paimiossa ja Kempeleessä. TSS GROUP OY:n asiakkaita

ovat suomalaiset johtavat teollisuusalan yritykset. Tämä opinnäytetyö tehtiin Tampereen toimipisteelle teollisuuden sähköistys- ja automaatioyksikölle.

2 Teollisuuden sähköjakelu

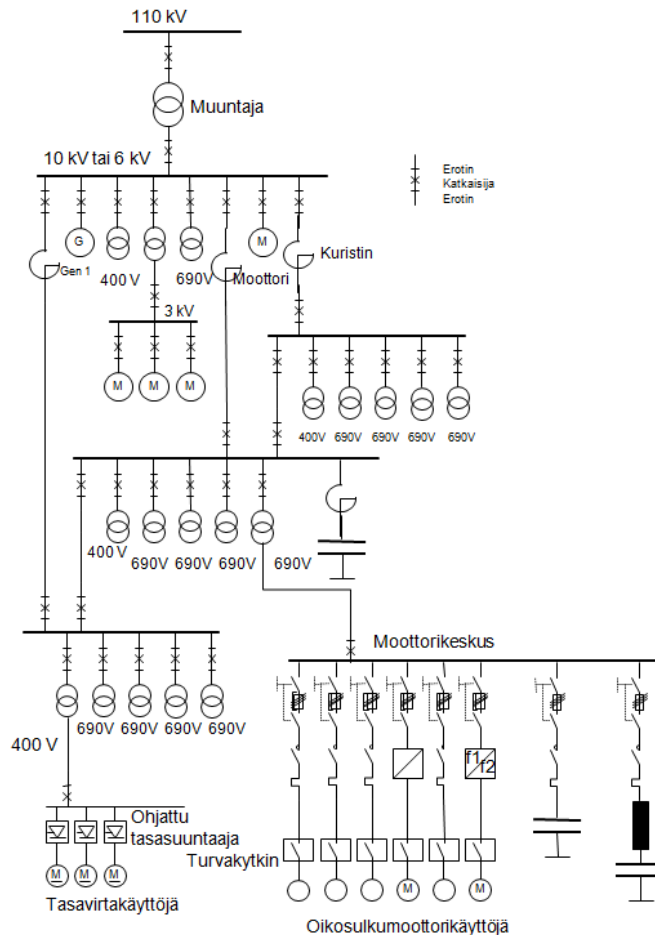
Teollisuuden sähköjärjestelmiä suunniteltaessa ja komponentteja valittaessa tulee ottaa huomioon teollinen ympäristö. Teollisuusympäristö koostuu yleensä monenlaisista tiloista sekä olosuhteista, joita voivat olla korkeat ja matalat lämpötilat, aggressiiviset olosuhteet, kosteus, likaisuus, pöly sekä värinä ja mekaaniset iskut. Osan laitteistosta tulee kestää näitä ympäristöolosuhteita ja osalle laitteistosta esimerkiksi keskuksille, tulee järjestää tarpeen mukaiset tilat. (Hietalahti 2013a, 7)

Teollisuusverkoille on tyypillistä, että niiden suuri keskittynyt tehonkulutus on pienellä alueella. Jakeluetäisyydet teollisuusverkossa ovat lyhempiä kuin jakeluverkossa. Teollisuuden sähköjakelujärjestelmä muodostuu liittynästä yleiseen sähköverkkoon, mahdollisesta keskijännitejakelusta ja käyttöjakelusta kulutuskohteille. Käyttöjakelujärjestelmä jaetaan osiin, jotka ovat tuotannon sähköjakelu, valaistus- ja huolto-sähköverkko sekä apusähköjärjestelmä. (Korpinen n.d.; Hietalahti 2013a, 123)

Jännitetaso, jolla teollisuuslaitos liittyy yleiseen sähköverkkoon, on 110 kV, 20 kV, 10 kV tai 0.4 kV. Teollisuuskiinteistöjen jakelumuuntajat muuntavat kolmivaiheisen suurjännitteen kolmivaiheiseksi pienjännitteeksi prosessilaitteille ja kiinteistöjen sähköistykseen. Laitoksissa voidaan käyttää yhtä tai useampaa keskijännitetasoa. Pääjakelujännitteeksi määritellään sen järjestelmän jännite, jolla jakelu pääosin tapahtuu ja johon jakelumuuntajat on pääosin liitetty. (Korpinen n.d.)

Tehdasalueen sisällä on käytössä säteittäinen jakeluverkko. Sillä voidaan rajoittaa oikosulkuvirtoja ja järjestellä suojauksia helpommin. Verkon toiminnalle saa lisää var-

muutta käyttämällä silmukoituja rakenteita sekä kaksoiskiskostolla varustettuja keskuksia. (Hietalahti 2013a, 123) Kuviossa 1 nähdään suuren teollisuuslaitoksen sähköverkon rakennetta ja kuormalaitteita.



Kuvio 1. Esimerkki teollisuuden sähköjakelusta (Harsia 2006)

Prosessiteollisuuden pienjännitteinen jakelujärjestelmä alkaa jakelumuuntajan alajännitepuolen liittimistä ja päättyy kiinteistön viimeiseen pistorasiaan tai kulutuskojeeseen. Teollisuuden sähköverkot jaetaan rakenteensa perusteella kolmeen sähköjakelutyyppiin, jotka ovat keskitetty, porrastettu ja hajautettu sähköjakelu. Keskitetyssä jakelussa moottorilähdöt ovat keskitetty pääkeskuksiin. Porrastetussa jakelussa käytetään pääkeskus-alakeskus-jakelujärjestelmää. Hajautettu jakelu toteutetaan tehdashallimuuntamoilla ja moottorien käynnistimet sijoitetaan moottorien välittömään läheisyyteen. (Mäkinen 2009, 30–31)

Jakelujärjestelmänä teollisuusverkossa käytetään enintään 1000 V:n jakelujärjestelmissä TN-S- tai IT-jakelujärjestelmää. TN-S-jakelujärjestelmässä muuntajan tähtipiste

on maadoitettu ja verkossa on erilliset nolla- ja suojajohtimet, järjestelmän jännite on yleensä 400 V. IT-järjestelmässä kaikki jännitteelle alttiit osat on maadoitettu yhteiseen maadoituselektrodiin. IT-järjestelmän jännitteenä käytetään puolestaan 500 V:a tai 690 V:a. TN-S-järjestelmän etuina ovat sen selväpiirteisyys, edullisuus häiriöiden kannalta sekä mahdollisuus kytkeä yksivaiheisia kuormia verkkoon. IT-järjestelmän etuna on vian korjaaminen sopivassa ajankohdassa, sillä yksivaiheinen maasulku ei aiheuta heti käyttökeskeytystä. (Hietalahti 2013a, 124–125)

3 Sähköasennusstandardit

Suomessa sähköasennusstandardit koostaa SESKO ry. SESKO osallistuu sähköteknisen alan järjestöjen kansainväliseen (IEC) ja eurooppalaiseen (CENELEC) yhteistyöhön. IEC (International Electrotechnical Commission) on kansainvälinen sähköalanstandardoimisjärjestö, johon kuuluvat teollistuneet maat kaikista maanosista sekä osa kehitysmaista. CENELECiin (European Committee for Electrotechnical Standardization) kuuluvat puolestaan EU- ja ETA-maat ja osa EU:n jäsenyyttä hakeneista maista. (Sähköasennuksia koskevat standardit n.d.) Kuviossa 2 on nähtävillä standardointikentän muodostuminen.

	Yleinen	Sähkötekniikka	Televiestintä		
Maailma	ISO	IEC	ITU	ISO	International Organization for Standardization
				IEC	International Electrotechnical Commission
				JTC 1	ISO/IEC Joint Technical Committee 1
				ITU	International Telecommunication Union
Eurooppa	CEN	CENELEC	ETSI	CEN	Comité Européen de Normalisation
				CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
				ETSI	European Telecommunication Standards Institute
Suomi	SFS	SESKO	Viestintävirasto	SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
				SESKO	SESKO ry

Kuvio 2. Standardointikenttä (SESKO:n tehtävät ja toiminta 2015)

SESKO ry valmistelee näistä kansainvälisistä standardeista Suomen kansallisen SFS-standardin, jonka julkaisee Suomen Standardoimisliitto SFS. SFS-standardit perustuvat lähes kokonaan kansainvälisiin standardeihin, mutta sähköasennuksia koskevissa standardeissa on poikkeuksia. Nämä poikkeukset liittyvät ympäristöolosuhteisiin kuten ilmastoon ja muihin luonnonolosuhteisiin ja muun rakentamisen käytäntöihin.

Tämän vuoksi standardeihin on liitetty kansallisia lisävaatimuksia. (Sähköasennuksia koskevat standardit n.d.)

Sähköasennusten turvallisuutta koskevat velvoittavat määräykset ovat kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksessä sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999). Päätös ei sisällä yksityiskohtaisia teknisiä määräyksiä vaan periaatteen vaatimuksista, joiden tulee täytyä noudatettaessa aihetta koskevia standardeja. (SFS 600-1, 2012, 3)

Standardeihin tehdään muutoksia ja lisäyksiä eurooppalaisen ja kansainvälisen standardoinnin kehittyessä. Muutokset julkaistaan yksittäisinä standardeina ja kun muutoksia ja lisäyksiä tulee tarpeeksi, voidaan käsikirja uusia. Tämän hetkiset voimassa olevat standardit löytyvät tuoreimmasta SFS-luettelosta sekä Suomen Standardoimisliitto SFS ry:n internetsivuilta. (SFS 600-1, 2012, 4)

Standardien pohjalta julkaistaan ST-kortisto eli sähkötietokortisto. Sähkötietokortistoa julkaisee ja ylläpitää Sähkö- ja teleurakoitsijaliiton omistama yhtiö Sähköinfo Oy. ST-kortisto antaa standardien mukaisen ohjeistuksen, toimintatavat sekä esimerkkejä käytännön työhön.

4 Kaapelin mitoitus ja suojaus

4.1 Kuormitettavuus

Kaapelin kuormitettavuuteen liittyvät vaatimukset määritellään standardin SFS 6000 luvussa 523. Johtimessa muodostuu virran kulkemisen vaikutuksesta tehohäviöitä, jotka muuttuessaan lämmöksi lämmittävät kaapelia. Johtimille tulee määrittää suurin virta, jolla johdinta voidaan jatkuvasti kuormittaa, jottei johdin kuumene liikaa ja ylitä eristeaineen suurinta sallittua käyttölämpötilaa ja vaurioita eristettä. (Tiainen 2010, 43) SFS-standardi 6000 määrittelee eristeaineille suurimmat sallitut käyttölämpötilat, jotka ovat nähtävissä taulukossa 1. Liitteen 1 osassa 3 on esitettyä samainen taulukko, jossa on nähtävillä taulukkoon liittyvät tarkemmat määräykset.

Taulukko 1. Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat (SFS 600-1, 2012, 220)

Eristeen laji	Lämpötilan raja-arvo °C
Termoplastinen (Polyvinyylikloridi PVC)	70 johtimessa
Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropeenikumi (EPR)	90 johtimessa
Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)	70 vaipassa
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin)	105 vaipassa

Kuormitettavuuden määrittämisessä tulee ottaa huomioon johdinmateriaali, eristämateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden virtapiirien läheisyys. Nämä määrittävät korjauskertoimet kuormitettavuuden laskennalle. Kuormitettavuus saadaan laskettua kaavalla 1. (D1 2012, 216)

$$I_z = I_{zp} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_x \quad (1)$$

jossa

I_z = kaapelin todellinen kuormitettavuus (A)

I_{zp} = peruskuormitettavuus (A)

$k_{1..x}$ = asennusolosuhteista riippuvat korjauskertoimet

Referenssiasennustavoille on määritelty testaamalla tai laskemalla kuormitettavuuksia valmiisiin mitoitus taulukoihin. Taulukoiden pohjalla on käytetty kansainvälistä IEC 60364-5-52-standardia, mutta kuormitettavuudet on laskettu vastaamaan Suomessa käytettyjä lämpöresistiivisyyden arvoja. Nämä taulukot löytyvät standardin SFS 6000 5-52 liitteestä 52B. Asennustavan vaihtuessa kaapelin kulkureitin varrella määritellään kaapelin kuormitettavuus hankalimpien asennusolosuhteiden mukaan. Referenssiasennustapoja ovat uppoasennus (asennustapa A), putkiasennus (asennustapa B), pinta-asennus (asennustapa C), maa-asennus (asennustapa D) ja vapaasti ilmaan tehtävä asennus (asennustapa E). (SFS 600-1, 2012, 242–243)

Esimerkki: Kaapelin poikkipinta-alan määrittäminen

Johdon kuormitusvirta I_B on 125 A. Kaapeli on asennettu tikkaille vierekkäin neljän muun kaapelin kanssa. Ympäristön lämpötila on 35 °C ja kaapelina käytetään PVC-eristeistä kuparikaapelia. Taulukossa 2 on esitettyä korjauskertoimen valinta. Korjauskertoimien valintaan käytetyt standardin SFS 6000 taulukot ovat liitteen 1 osissa 7 ja 8.

Taulukko 2. Korjauskertoimet kuormitettavuuden laskennalle

Asennus olosuhde	Arvo	Taulukko (SFS 6000)	Korjauskerroin
Vierekkäiset kaapelit	4 kpl	B.52.17	$k_1 = 0.8$
Ympäristön lämpötila	35 °C	B.52.14	$k_2 = 0.88$

Johdon peruskuormitettavuuden on oltava vähintään $I_{zp} = \frac{125 \text{ A}}{0.8 \cdot 0.88} = 178 \text{ A}$

Kaapelin poikkipinnaksi tulee valita kaapeli, jolla on seuraava suurempi peruskuormitettavuuden arvo. Taulukossa 3 on kaapelin poikkipinta-alan valinnan tulos. Standardin SFS 6000 taulukko löytyy liitteen 1 osasta 5.

Taulukko 3. Kaapelin poikkipinta-alan valinta

Asennustapa	Taulukko (SFS 6000)	I_{zp} (A)	Poikkipinta (mm ²)
E (tikashylly)	B.52.4	208	Cu70

4.2 Jännitteenalenema

Virran kulku johtimessa aiheuttaa tehohäviöiden lisäksi jännitteenalenemaa. Jännitteenalenema on johdon alkupään ja loppupään jännitteiden itseisarvojen erotus. Jännitteenalenema esitetään yleensä suhteellisen jännitteenaleneman arvona, joka on jännitteenaleneman prosentuaalinen suhde nimellisjännitteeseen.

Jännitteenalenema selvitetään, jos näin on erikseen sovittu. Mikäli jännitteenalenemalle ei ole annettu erillisiä vaatimuksia, käytetään taulukossa 4 esitettyjä standardin

SFS 6000 liitteen 52G mukaisia suositeltuja prosentuaalisia arvoja pienjännitesähköasennuksissa hyvän sähkön laadun takaamiseksi. (D1 2012, 233) Liitteen 1 osassa 9 on esitettyä samainen taulukko, jossa on nähtävillä taulukkoon liittyvät tarkemmat määritykset.

Taulukko 4. Jännitteenaleneman suositusarvot (SFS 600-1, 2012, 262)

Asennuksen tyyppi	Valaistus %	Muu käyttö %
A- Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B- Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksittäisestä teholähteestä	6	8

Suuremmat kuin taulukon antamat jännitteenaleneman arvot voidaan sallia moottoreilla sekä muilla laitteilla, joilla on suuri käynnistysvirta.

Jännitteenalenema voidaan laskea käsikirjan D1-2012 luvun 525 mukaisesti kaavoilla 2, 3 ja 4. Suhteellinen jännitteenalenema lasketaan kaavalla 5.

Tasajännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot r \cdot s \quad (2)$$

Yksivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot s \cdot (r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi) \quad (3)$$

Kolmivaiheisella vaihtojännitteellä:

$$\Delta U = I \cdot s \cdot \sqrt{3} \cdot (r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi) \quad (4)$$

Suhteellinen jännitteenalenema:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \% \quad (5)$$

jossa

ΔU = jännitteenalenema (V)

I = kuormitusvirta (A)

s = johdon pituus (km)

r = johtimen ominaisresistanssi (Ω/km)

x = johtimen ominaisreaktanssi (Ω/km)

φ = jännitteen ja virran välinen vaihekulma

U_n = nimellisjännite (V)

Δu = suhteellinen jännitteenalenema (%)

Esimerkki: Kaapelin jännitteenaleneman laskenta

Lasketaan kaapelin Cu70 jännitteenalenema 20 °C:n lämpötilassa. Taulukossa 5 ovat laskentaan tarvittavat lähtöarvot.

Taulukko 5. Esimerkkiarvot jännitteenaleneman laskentaan

Esimerkkiarvot	
I (A)	185
r (Ω/km)	0.264
x (Ω/km)	0.076
$\cos \varphi$	0.95
s (km)	0.1
U_n (V)	400

Jännitteenalenema (kaava 4).

$$\Delta U = 185 \text{ A} \cdot 0.1 \text{ km} \cdot \sqrt{3} \cdot (0.264 \text{ } \Omega/\text{km} \cdot 0.95 + 0.076 \cdot 0.312 \text{ } \Omega/\text{km}) = 8.8 \text{ V}$$

Suhteellinen jännitteenalenema (kaava 5).

$$\Delta u = \frac{8.8 \text{ V}}{400 \text{ V}} \cdot 100 \% = 2.2 \%$$

4.3 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitusvirta on virtapiirissä muulloin kuin vian aikana esiintyvää ylivirtaa. Ylikuormitussuojauksen tarkoitus on katkaista ylikuormitusvirta, ennen kuin lämpötila nousee niin, että eristys, jatkokset, liitokset tai johtimien ympäristö vahingoittuu.

Standardin SFS 6000 luku 433 määrittää ylikuormitussuojaukselle kaavojen 6 ja 7 mukaiset ehdot. (Tiainen 2010, 27)

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (6)$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z \quad (7)$$

jossa

I_B = piirin mitoitusvirta (A)

I_n = suojalaitteen nimellisvirta (A)

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen laitteelle tavanomaisessa ajassa (A)

4.3.1 Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijalla tai katkaisijalla

Käytettäessä standardin SFS-EN 60 898 mukaisia B-, C- ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoita, voidaan ylikuormitussuoja valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella, sillä näillä suojalaitteilla terminen toimintarajavirta on 1.45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Kun ylikuormitussuojaukseen käytetään katkaisijaa, jonka toimintavirran voi asettaa, tulee asettelun olla enintään johdon kuormitettavuuden suuruinen. (D1 2012, 132–133)

Taulukosta 6 nähdään katkaisijoiden ylikuormitusreleen laukaisurajavirrat. Katkaisijat täyttävät aina luvussa 4.3 esitetyn kaavan 7 mukaisen ehdon ylikuormitussuojauksen toteutumiselle.

Taulukko 6. Katkaisijoiden ylikuormitusreleen laukaisurajavirrat (ST 53.45, 2015, 7)

Katkaisija	I_2 (laukaisurajavirta)
Johdonsuojakatkaisijat B, C ja D	$1.45 \cdot I_n$
Johdonsuojakatkaisijat K ja Z	$1.2 \cdot I_n$
Moottorinsuojakytkimet	$1.2 \cdot I_n$
Kompaktikatkaisijat	$1.3 \cdot I_n$
Ilmakatkaisijat	$1.3 \cdot I_n$

Esimerkki. Ylikuormitussuojaus johdonsuojakatkaisijalla

MMJ 5x10S on asennettu seinän pinnalla olevaan putkeen ja ympäristön lämpötila on 35 °C.

Asennustapa vastaa referenssiasennustapaa B, jolloin standardin SFS 6000 taulukosta B.52.2 saadaan johtimen kuormitettavuudeksi 49 A. Lämpötilasta aiheutuva korjauskerroin on taulukon B.52.14 mukaan 0.88. Taulukot löytyvät liitteen 1 osista 4 ja 7.

$$I_z = 0.88 \cdot 49 \text{ A} = 43 \text{ A}$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$$

$$\text{Johdonsuojakatkaisijoilla: } I_2 = 1.45 \cdot I_n$$

Tästä seuraa, että $I_n \leq 43 \text{ A}$.

Ylikuormitussuojaksi voidaan valita standardien mukaisista nimellisvirroista johdonsuojakatkaisija, jonka nimellisvirta on 40 A.

4.3.2 Ylikuormitussuojaus sulakkeella

Mikäli ylikuormitus toteutetaan sulakkeilla, on mitoituksessa käytettävä seuraavaa kaavaa 8:

$$k \cdot I_n \leq 1.45 \cdot I_z \quad (8)$$

jossa

k = sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran

suhde

I_n = suojalaitteen nimellisvirta (A)

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus (A)

Ylikuormitussuojaa ei voida valita suoraan kuormitettavuuden perusteella, sillä sulakkeilla ylempi toimintarajavirta on suurempi kuin 1.45 kertaa sulakkeen nimellisvirta. (D1 2012, 132–133) Taulukossa 7 on nähtävillä kertoimen k arvot gG-tyypin sulakkeille.

Taulukko 7. gG-sulakkeiden toimintaominaisuudet (D1 2012, 133)

Nimellisvirta	Ylempi toimintarajavirta
$I_n \leq 4 \text{ A}$	$2.1 \cdot I_n$
$4 \text{ A} < I_n < 16 \text{ A}$	$1.9 \cdot I_n$
$I_n \geq 16 \text{ A}$	$1.6 \cdot I_n$

Esimerkki: Ylikuormitussuojaus sulakkeella

Tarkastellaan edellisen kohdan esimerkkiä, mutta valitaan suojalaitteeksi gG-sulake.

Edellä olevasta taulukosta 7 saadaan gG sulakkeen ylempi toimintarajavirta $I_2 \leq 1.6 \cdot I_n$, kun $I_n \geq 16 \text{ A}$.

Tästä seuraa, että $I_n \leq \frac{1.45}{1.6} \cdot 43 \text{ A} = 39 \text{ A}$.

Ylikuormitussuojaksi voidaan valita standardien mukaisista nimellisvirroista gG-sulake, jonka nimellisvirta on 35 A.

4.4 Oikosulkusuojaus

SFS 6000 luku 434 määrittää vaatimukset oikosulkusuojukselle. Oikosulkusuojan tarkoitus on katkaista suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat. Suojalaitteen katkaisukyvyyn tulee olla vähintään suojalaitteen asennuspaikalla esiintyvän prospektiivisen oikosulkuvirran suuruinen. Valitun oikosulkusuojan toiminta tulee perustella laskuin tai mittaustuloksien. (SFS 600-1, 2012, 132–133)

Oikosulkusuojuksen toiminnan tarkastamiseksi lasketaan sekä pienin että suurin oikosulkuvirta. Pienimmän oikosulkuvirran laskennalla tarkistetaan oikosulkusuojan riittävän nopea toiminta. Pienimmän oikosulkuvirran laskenta liittyy myös vikasuojauksen suurimman kaapelipituuden määrittämiseen, jota tarkastellaan tarkemmin luvussa 4.6. Suurimman oikosulkuvirran laskennalla puolestaan tarkistetaan oikosulkusuojan riittävä katkaisukyky sekä riittävän nopea toiminta. Oikosulkuvirtojen laskennassa noudatetaan standardia IEC 60909-0. (D1 2012, 259–260) Kaavat 9 ja 10 soveltuvat pienimmän ja suurimman oikosulkuvirran laskentaan.

Minimi oikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään johtimien resistanssien arvoja 70 °C:n lämpötilassa.

$$I_{k1\min} = \frac{c_{\min} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (9)$$

Maksimi oikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään johtimien resistanssien arvoja 20 °C:n lämpötilassa.

$$I_{k3\max} = \frac{c_{\max} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (10)$$

joissa

$I_{k1\min}$ = minimi yksivaiheinen oikosulkuvirta (A)

$I_{k3\max}$ = maksimi kolmivaiheinen oikosulkuvirta (A)

c_{\min} = IEC: n käyttämä varmuuskerroin 0.95, kun $0.1 \text{ kV} \leq U_n \leq 1 \text{ kV}$

c_{\max} = IEC: n käyttämä varmuuskerroin 1.05, kun $0.1 \text{ kV} \leq U_n \leq 1 \text{ kV}$

U = pääjännite (V)

Z = verkon sisäinen impedanssi (Ω)

Oikosulkuvirratt on katkaistava missä tahansa virtapiirin kohdassa, ennen kuin johtimet saavuttavat suurimman sallitun rajalämpötilan. Enintään 5 s kestävässä oikosuluissa voidaan laskea oikosulun kesto aika standardin SFS 6000 luvun 434.5 kaavalla 11. Alla oleva kaava 11 sekä kertoimen k arvot ovat liitteen 1 osassa 2. Laskukaavalla saadaan selville aika, jossa kaapeli lämpiää suurimpaan sallittuun lämpötilaan. (SFS 600-1, 2012, 133)

$$t = \left(\frac{k \cdot A}{I} \right)^2 \quad (11)$$

joissa

t = aika jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan (s)

A = johdinpoikkipinta (mm^2)

I = todellinen oikosulkuvirta (A)

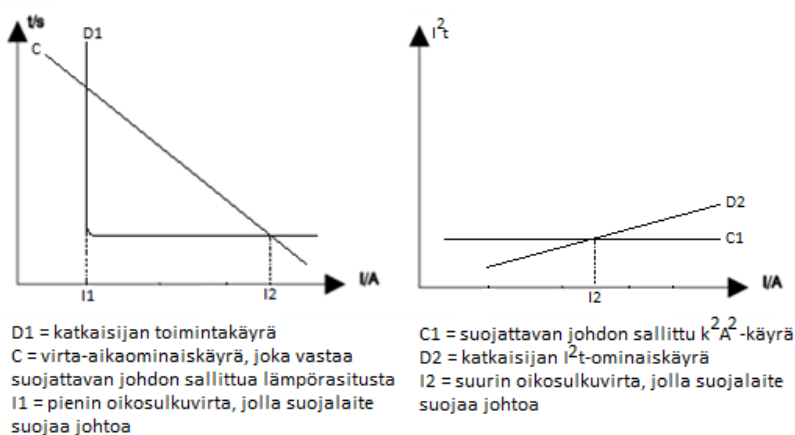
k = johdinvakio (taulukko 43.1 kertoimen k arvot äärijohtimille, SFS 6000)

Kun on saatu selville oikosulun kestoaika, voidaan suojalaitteen toimintakäyrältä tarkastaa, että suojalaite katkaisee oikosulkuvirran ajoissa. Mikäli oikosulun kestoaika on pienempi kuin 0.1 s, on tarkistettava, että johtimen $k^2 A^2$ -arvo on suurempi kuin suojalaitteen valmistajan ilmoittama laitteen läpi kulkeva energia $I^2 t$. (SFS 600-1, 2012, 133)

4.4.1 Oikosulkusuojaus johdonsuojakatkaisijalla

Kun oikosulkusuojaus toteutetaan johdonsuojakatkaisijalla, on selvitettävä katkaisijan asennuspaikan eli suojattavan kaapelin alkupään suurin oikosulkuvirta. Suojalaitteeksi valitaan johdonsuojakatkaisija, jolla on suurempi katkaisukyky, kuin tämä esiintyvä suurin oikosulkuvirta. Jos ei voida valita katkaisukyvyltään riittävää johdonsuojakatkaisijaa, tulee suojauksessa käyttää lisäksi etusulaketta. Etusulake suojaa tällöin johdonsuojakatkaisijan etusulakkeen katkaisukykyyn saakka. Suurimman sallitun etusulakkeen johdonsuojakatkaisijalle ilmoittaa laitteen valmistaja. (ST 52.45, 2015, 7, 13)

Kaapeli on suojattu johdonsuojakatkaisijalla oikosulkutilanteessa siihen virtaan asti, jolla katkaisijan läpipäästämä $I^2 t$ -arvo on pienempi kuin kaapelin sallittu $k^2 A^2$ -arvo. Helpoimmin vertailu tapahtuu katkaisijan $I^2 t$ -käyrästä tutkimalla ja vertaamalla sitä kaapelin $I^2 t$ -arvoon, joka saadaan laskettua edellisessä luvussa esitetyn kaavan 11 avulla: $I^2 t = k^2 A^2$. (ST 52.45, 2015, 7) Kuviossa 3 on havainnollistettu asiaa.



Kuvio 3. Katkaisija oikosulkusuojana (D1 2012, 261)

Esimerkki: Oikosulkusuojausten tarkistus

Tarkastellaan johdonsuojakatkaisijan S 200-B6A oikosulkukestoisuutta sekä suojausten selektiivisyyttä seuraavanlaisessa tapauksessa.

Maksimioikosulkuvirta johdonsuojakatkaisijan asennuspaikassa on 8.7 kA. Johdonsuojakatkaisijan S 200-B6A katkaisukyky on 6 kA.

Suojauksesta saadaan oikosulkukestoinen käyttämällä etusulaketta. Taulukosta 8 nähdään, että valmistaja ilmoittaa suurimmaksi etusulakkeeksi gL63A:n.

Taulukko 8. Oikosulun katkaisukyky ja back up-suojaus (ABB Pienjännitekojeet n.d.)

Sarja/ laukaisukäyrä	Nimellis- virta	Vaihtovirta				Tasavirta 1nap. ¹⁾ 60 V ...	Maks. back-up -suoja	
		1-vaih. 133 V~	230 V~	2/3-vaih. 230 V~ 133/230 V ~	400 V~ 230/400 V ~		sulake gL ²⁾	päävaroke- katkaisija S 700
	A	kA/cos φ	kA/cos φ	kA/cos φ	kA/cos φ	kA/T m ms		
S 200-B	6	10/0.5	6/0.7 10/0.5 (S 200 M-B)	10/0.5	6/0.7 10/0.5 (S 200 M-B)	10/4.0	63 A	100 A
S 200 M-B	10 ... 20						100 A	100 A
	25 ... 32						100 A	100 A
	40						125 A	100 A
	50 ... 63						160 A	100 A

Taulukosta 9 nähdään, että käytettäessä etusulaketta gL/gG63A suojaus on selektiivinen oikosulkuvirran arvoon 5.5 kA asti.

Taulukko 9. Oikosulkuselektiivisyys kA:na (ABB Pienjännitekojeet n.d.)

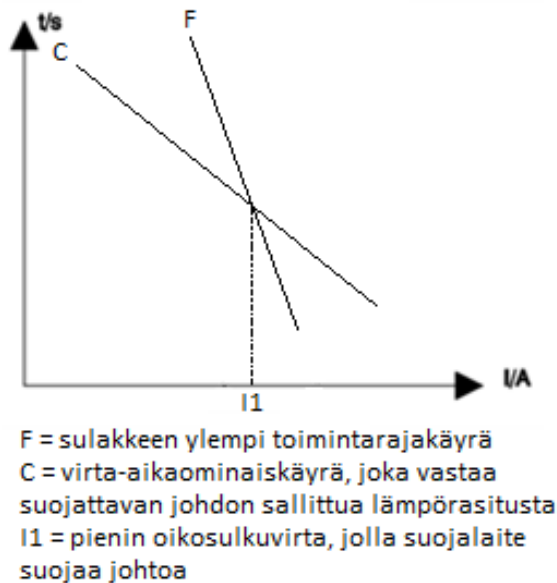
sarjat	I _n A	sulake gL/gG									
		16	20	25	35	50	63	80	100	125	160
S 200-B, C	≤ 2	1	1.2	4	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15
	3	0.3	0.7	1.2	4.6	6	6	6	6	6	6
	4	0.3	0.6	0.9	2.8	6	6	6	6	6	6
	6	0.2	0.5	0.8	2	3.3	5.5	6	6	6	6
	8	0.2	0.4	0.7	1.7	2.8	4.5	6	6	6	6
	10	0.2	0.4	0.7	1.5	2.5	3.5	5	6	6	6
	13			0.7	1.5	2.5	3.5	5	6	6	6
	16				1.3	2	2.9	4.1	6	6	6

4.4.2 Oikosulkusuojaus sulakkeella

Kahvasulakkeilla on hyvät katkaisuoimaisuudet, joiden ansiosta ne soveltuvat hyvin oikosulkusuojaukseen. Kahvasulakkeiden katkaisukyky on vähintään 50 kA ja monilla

kahvasulakkeilla jopa 100 kA. Käytettäessä oikosulkusuojaukseen tulppasulakkeita tulee huomioida, että 500 V:n tulppasulakkeiden katkaisukyky on vain 20 kA. (D1 2012, 255–256)

Sulake suojaa johdinta oikosulun aikaiselta liialliselta lämpörasitukselta kuvion 4 mukaisesti. Johto on lisäksi suojattava I1:tä pienemmiltä oikosulkuvirroilta. Tämä saadaan toteutettua ylikuormitussuojan avulla. (D1 2012, 260)



Kuvio 4. Sulake oikosulkusuojana (D1 2012, 261)

Esimerkki: Oikosulkusuojauksen tarkistus

Suurin oikosulkuvirta kaapelin alkupäässä on 400 A ja pienin oikosulkuvirta kaapelin loppupäässä on 150 A. Kaapelina MMJ, jonka poikkipinta on 2.5 mm^2 . Kaapelia suojaa sulake gG16A.

Kertoimen k arvot saadaan standardin SFS 6000 taulukosta 43.1, taulukko liitteen 1 osassa 2. Poikkipinnaltaan alle 300 mm^2 olevan PVC-eristetyn kuparijohtimisen kaapelin kertoimen k arvo on 115.

Lasketaan oikosulkusuojauksen suurimmat sallitut toiminta-ajat.

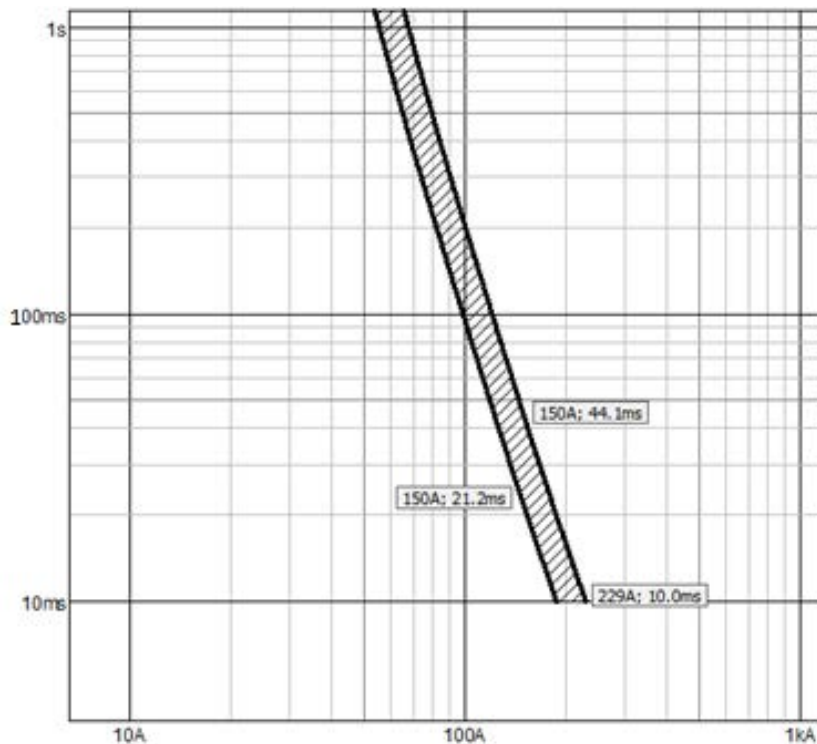
Kaapelin alkupäässä:

$$t = \left(\frac{115 \cdot 2.5 \text{ mm}^2}{400 \text{ A}} \right)^2 = 0.52 \text{ s}$$

Kaapelin loppupäässä:

$$t = \left(\frac{115 \cdot 2.5 \text{ mm}^2}{150 \text{ A}} \right)^2 = 3.7 \text{ s}$$

Kuviossa 5 on ABB:n laskentaohjelmasta e-Designista saatu sulakkeen gG16A toimintakäyrä. Käyrältä nähdään että sulake katkaisee 150 A:n oikosulkuvirran viimeistään 44.1 ms:ssa. Lisäksi nähdään että 229 A:a suuremmilla virroilla suojaus toimii nopeammin kuin 10 ms:ssa.



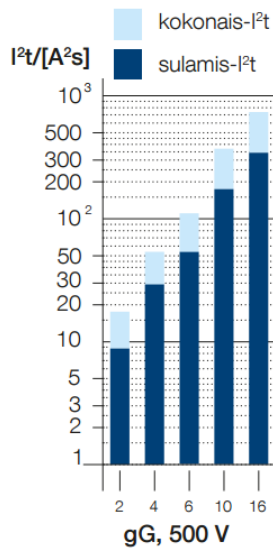
Kuvio 5. Sulakkeen gG16A toimintakäyrä (ABB e-Design 2016)

Oikosulun kestoajan ollessa alle 100 ms tulee tarkastaa, että kaapelin $k^2 A^2$ -arvo on suurempi kuin suojalaitteen läpi tuleva energia $I^2 t$. Kuvioista 6 nähdään, että sulakkeen gG16A läpipäästämä kokonaisenergia on noin $700 \text{ A}^2 \text{ s}$.

Kaapelin MMJ 2.5 mm^2 laskettu $k^2 A^2$ -arvo on

$$k^2 A^2 = 115^2 \cdot (2.5 \text{ mm}^2)^2 = 82656.25 \text{ A}^2 \text{ s}.$$

Kaapelin voidaan todeta olevan oikosulkusuojattu, sillä kaapelin laskettu $k^2 A^2$ -arvo $82656,25 \text{ A}^2 \text{ s}$ on suurempi kuin sulakkeen läpipäästämä kokonaisenergia $700 \text{ A}^2 \text{ s}$.



Kuvio 6. Kokonaisenergia I^2t , oikosulunrajoitusarvot (ABB Kahvasulakkeet n.d.)

4.5 Oikosulkukestoisuus

Johtimien tulee kestää oikosulun aikaiset termiset ja dynaamiset vaikutukset.

Termisillä vaikutuksilla tarkoitetaan oikosulusta aiheutuvaa johtimien lämpenemää. Johtimen lämpenemään vaikuttaa johdinmateriaali, poikkipinta, oikosulkuvirran ekvivalenttinen tehollisarvo sekä kesto aika. Kaapelivalmistaja ilmoittaa kaapelille yhden sekunnin oikosulkuvirran I_{k1s} , jonka johdin kestää vaurioitumatta. Tämä on se virta, joka nostaa yhden sekunnin aikana kaapelin johtimen lämpötilan sallitusta normaali-käytön lämpötilasta asennuksen suurimpaan sallittuun loppulämpötilaan. Kaavalla 12 voidaan laskea sallittu oikosulkuvirta, kun oikosulun kesto aika on 0.2...5 s: (Kivisaari 2005, 1, ABB TTT-käsikirja 2000, luku 19)

$$I_{kt} = \frac{I_{k1s}}{\sqrt{t}} \quad (12)$$

jossa

I_{kt} = sallittu oikosulkuvirta (A)

I_{k1s} = suurin sallittu yhden sekunnin oikosulkuvirta (A)

t = oikosulun kesto aika (s)

Oikosulun aikaiset dynaamiset vaikutukset ovat oikosulun aiheuttamia voimavaikutuksia, jotka repivät johtimia erilleen. Kaapelin dynaaminen oikosulkukestoisuus

määritellään sysäysoikosulkuvirran mukaan ja siihen vaikuttavat kaapelin rakenne, kaapelien sidontaväli ja päätteet. (Kivisaari 2005, 1)

4.6 Vikasuojaus

Vikasuojauksen tarkoitus on estää ihmisiä tai kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteiseksi tulleita johtavia osia niin, että siitä aiheutuisi vaaraa. Yleisimmin vikasuojaus toteutetaan syötön automaattisen poiskytkennän avulla. Eristysvian aikana tämä menetelmä poistaa vian aiheuttaman vikavirran ja kosketusjännitteen. (D1 2012, 84)

Standardin SFS 6000 kohdan 411.3.2.2 ja 411.3.2.3 mukaisesti 230 V:n vaihtojännitteellä (vaihejännite) poiskytkentäajat tulee olla seuraavanlaiset:

- 0.4 s ryhmäjohtoille, kun ylivirtasuojaja enintään 32 A
- 5 s pääjohtoille ja ryhmäjohtoille, joilla ylivirtasuojaja yli 32 A

Tasasähköjärjestelmät toteutetaan Suomessa usein IT-järjestelmänä. Syötön automaattista poiskytkentää ei tällöin välttämättä tarvita, sillä yksittäisessä viassa vikavirta jännitteelle alttiiseen osaan tai maahan on pieni. Mikäli esiintyy kaksi vikaa samaan aikaan, tulee vika kytkeä pois automaattisen poiskytkennän avulla henkilöturvallisuuden tai järjestelmän termisen kestoisuuden vuoksi. Kun jännitteelle alttiit osat on yhdistetty suojajohtimella samaan yhteiseen maadoitusjärjestelmään, noudatetaan TN-järjestelmän mukaisia suojausjärjestelyjä. (D1 2012, 69, SFS 600-1, 97)

Standardin SFS 6000 kohdan 411.3.2.2 mukaisesti tasajännitteellä TN-järjestelmässä korkeintaan 32 A suojalaitteella suojatuille ryhmäjohtoille poiskytkentäajat tulee olla seuraavanlaiset:

- 5 s, kun $120 \text{ VDC} < U < 230 \text{ VDC}$
- 0.4 s, kun $230 \text{ VDC} < U < 400 \text{ VDC}$
- 0.2 s, kun $U > 400 \text{ VDC}$

Vikasuojaus toteutetaan pääsääntöisesti mitoittamalle piirille ylivirtasuojaja kuormitusten mukaan, minkä jälkeen tarkistetaan vikasuojauksen toteutuminen. Mikäli syötön

automaattisen poiskytkennän ehdot eivät toteudu, suojauksessa voidaan käyttää vikavirtasuojaa. Muita vaihtoehtoja ovat johdon poikkipinta-alan tai ylivirtasuojan nimellisvirran tai tyypin muuttaminen. (Tiainen 2010, 96)

Vikasuojauksen toteutumisen tarkastamiseksi tulee laskea tai mitata piirin pienin oikosulkuvirran arvo. Mittaustilanteessa mittauslämpötila on alhaisempi kuin oikosulun aikainen lämpötila. Mikäli siis oikosulkuvirta selvitetään mittaamalla, tulee mitattujen arvojen olla 25 % suurempia kuin suojalaitteiden toimintarajavirrat. Pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran voi laskea luvussa 4.4 esitettyllä kaavalla 9. (D1 2012, 92)

Jotta vikasuojaus toimii oikein, tulee käytännössä määrittää johdoille suurin sallittu pituus, joka voidaan laskea kaavalla 13 a, b ja c. Johtimilla, joiden poikkipinta-ala on pienempi kuin 70 mm^2 , reaktanssin arvot ovat suhteessa resistanssiin niin pieniä, että impedanssin arvona voidaan käyttää pelkästään resistanssin arvoa. Käsikirjan D1-2012 taulukossa 41.6 on ominaisimpedanssit eri poikkipinta-ala-alueille $80 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa. (D1 2012, 95–96) Taulukko on esitetty liitteen 2 osassa 3.

Maksimipituuden laskenta, kun vaihe- ja suojajohdin ovat poikkipinnaltaan ja materiaaliltaan samat, on seuraava:

$$S_{\max} = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_v}{2 \cdot z} \quad (13a)$$

Maksimipituuden laskenta, kun vaihe- ja suojajohdin ovat poikkipinnaltaan tai materiaaliltaan erilaiset, on seuraava:

$$S_{\max} = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_v}{z_L + z_{PE}} \quad (13b)$$

Maksimipituuden laskenta tasajännitteellä, on seuraava:

$$S_{\max} = \frac{\frac{c \cdot U}{I_k} - R_v}{2 \cdot r} \quad (13c)$$

joissa

S_{\max} = suurin sallittu johtopituus (km)

$c =$ kerroin 0.95

$U =$ pääjännite (V)

$Z_v =$ impedanssi ennen suojalaitetta (Ω)

$I_k =$ oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän
vaaditussa ajassa (A)

$z =$ suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)

$z_L =$ suojattavan vaihejohtimen impedanssi (Ω/km)

$z_{PE} =$ suojattavan suojajohtimen impedanssi (Ω/km)

$R_v =$ resistanssi ennen suojalaitetta (Ω)

$r =$ suojattavan johtimen resistanssi (Ω/km)

Esimerkki: Poiskytkentäehtojen toteutumisen tarkistus

Nousukeskuksen ja ryhmäkeskuksen välinen kaapeli on MCMK 4x35+16S ja 65 metriä pitkä. Suojalaitteena on sulake gG63A. Minimioikosulkuvirta nousukeskuksella on 1000 A.

Lasketaan ensin nousukeskusta syöttävän verkon impedanssi:

$$Z_v = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{k1\min}} = \frac{0.95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 1000 \text{ A}} = 0.219 \Omega$$

Impedanssi ennen ryhmäkeskusta lasketaan seuraavasti:

Johtimen impedanssin laskennassa tulee huomioida myös paluujohdin, sillä johtimen poikkipinta-ala vaikuttaa johtimen ominaisimpedanssiin. Ominaisimpedanssien arvot 80 °C:n lämpötilassa saadaan käsikirjan D1-2012 taulukosta 41.6 (liite 2, osa 3).

$$Z_{rk} = 0.219 \Omega + (0.657 \Omega/\text{km} + 1.418 \Omega/\text{km}) \cdot 0.065 \text{ km} = 0.336 \Omega$$

Impedanssia vastaava oikosulkuvirta ryhmäkeskuksella lasketaan seuraavasti:

$$I_{k1\min} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{0.95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0.336 \Omega} = 652.9 \text{ A}$$

Käsikirjan D1-2012 taulukosta 41.5 (liite 2, osa 2) saadaan pienimmäksi toimintavirraksi sulakkeelle gG63A 5 s laukaisuajalla 320 A.

Suurin sallittu johtopituus lasketaan seuraavasti, kun vaihe- ja suojajohtin ovat poikkipinnaltaan erilaiset:

$$s_{\max} = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_v}{Z_L + Z_{PE}} = \frac{\frac{0.95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 320 \text{ A}} - 0.219 \Omega}{(0.657 \Omega/\text{km} + 1.418 \Omega/\text{km})} = 0.224 \text{ km}$$

Suojaus toimii, sillä suojaavan sulakkeen gG63A toimintaan vaadittu oikosulkuvirta 320 A on pienempi kuin laskettu oikosulkuvirta 652.9 A ryhmäkeskuksella. Lisäksi kaapelin pituus 65 metriä pysyy lasketun maksimipituuden 224 metriä rajoissa.

Esimerkki. Poiskytkentäehtojen toteutuminen tasajännitteellä

Oikosulkuvirta 110 VDC:n akuston liittimissä tapahtuvassa oikosulussa on 1600 A. Akustolta lähtevä kaapeli on 8 metriä, materiaaaliltaan kuparia ja poikkipinnaltaan 16 mm². Suojalaitteena on sulake gG35A.

Lasketaan suojalaitetta edeltävän verkon resistanssi R_v eli tässä tapauksessa akuston sisäinen resistanssi seuraavasti:

$$R_i = \frac{U}{I} = \frac{110 \text{ VDC}}{1600 \text{ A}} = 0.0688 \Omega$$

Kaapelin resistanssi saadaan laskettua seuraavasti:

16mm² kuparijohtimen tasavirtaresistanssi 70 °C:n lämpötilassa on 1.38 Ω/km.

$$R = \frac{2 \cdot r \cdot s}{n} = \frac{2 \cdot 1.38 \Omega/\text{km} \cdot 0.008 \text{ km}}{1} = 0.022 \Omega$$

110 VDC:n järjestelmässä poiskytkentää saatetaan tarvita muuhun kuin sähköiskulta suojaamisen kuten järjestelmän termisen kestoisuuden vuoksi. Kun jännitteelle alttiit osat on yhdistetty suojajohtimella samaan yhteiseen maadoitusjärjestelmään, noudatetaan TN-järjestelmää vastaavia suojausjärjestelyjä poiskytkentäaikojen osalta.

Käsikirjan D1-2012 taulukosta 41.5 (liite 2, osa 2) saadaan pienimmäksi toimintavirraksi sulakkeelle gG35A 5 s laukaisuajalla 165 A.

Pienin vikavirta kaapelin loppupäässä lasketaan soveltaen luvun 4.4 kaavaa 9:

$$I_{k\min} = \frac{c \cdot U}{R_{\text{kok}}} = \frac{0.95 \cdot 110 \text{ VDC}}{0.0688 \Omega + 0.022 \Omega} = 1150.9 \text{ A}$$

Suurin sallittu johtopituus lasketaan seuraavasti:

$$s_{\max} = \frac{\frac{c \cdot U}{I_k} - R_v}{2 \cdot r} = \frac{\frac{0.95 \cdot 110 \text{ VDC}}{165 \text{ A}} - 0.0688 \Omega}{2 \cdot 1.38 \Omega/\text{km}} = 0.204 \text{ km} \approx 204 \text{ m}$$

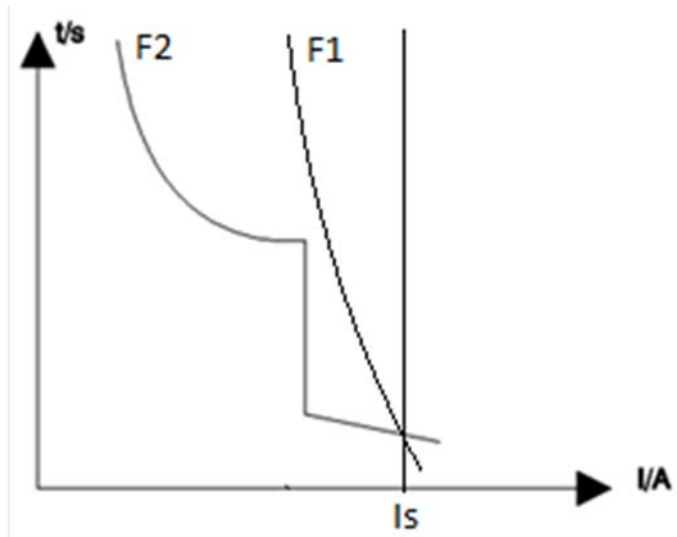
Suojaus toimii, sillä suojaavan sulakkeen gG35A toimintaan vaadittu oikosulkuvirta 165 A on pienempi kuin laskettu oikosulkuvirta 1150.9 A kaapelin loppupäässä. Lisäksi kaapelin pituus 8 metriä pysyy lasketun maksimipituuden 204 metriä rajoissa.

4.7 Selektiivisyys

Suojalaitteiden mitoittamisessa tulee huomioida selektiivisyyden toteutuminen. Selektiivisyyden tarkoitus on rajata vikapaikka ja siitä aiheutuvat häiriöt mahdollisimman pienelle alueelle. Tämä tarkoittaa sitä että vikapaikkaa lähinnä oleva suojalaite toimii ensin. (D1 2012, 265)

Suojauksen selektiivisyys voidaan tarkastaa toimintakäyrien tai valmiiden taulukoiden avulla. Suojien toimintakäyrät sijoitetaan samaan virta-aikakoordinaatistoon ja tarkastellaan leikkaavatko peräkkäisten suojalaitteiden toimintakäyrät toisiaan. Tarkasteluun otetaan jälkimmäisen suojalaitteen ylin toimintakäyrä ja edellä olevan suojalaitteen alin toimintakäyrä. (D1 2012, 265)

Täydellinen selektiivisyys saavutetaan, mikäli käyrät eivät leikkaa ollenkaan toisiaan. Tämä ei ole kuitenkaan aina tarpeellista, sillä se voi johtaa kohtuuttomaan ylimitoitukseen. SFS 6000 kohdassa 535.1 Ylivirtasuojalaitteiden välinen selektiivisyys mainitaan, että vaatimukset ovat harkittavana. (D1 2012, 265, SFS 600-1, 282) Kuvioista 7 nähdään johdonsuojakatkaisijan ja sulakkeen toimintakäyrät. Suojaus on selektiivinen kuvioon merkittyyn selektiivisyysrajavirtaan I_s asti.



Kuvio 7. Selektiivisyyden tarkastelu (D1 2012, 265)

4.8 Palosuojaus

Palosuojauskaapeleita käytetään turvajärjestelmissä, joiden tulee olla tulipalon aikana toimivia. Turvajärjestelmiksi luokitellaan sellaiset järjestelmät, jotka ovat merkittäviä henkilöturvallisuuden sekä ympäristön ja materiaalien vahinkojen kannalta. SFS 6000-5-56 asettaa seuraavat vaatimukset turvajärjestelmissä käytettäville palonkestäville johtojärjestelmille. (Palonkestävä johtojärjestelmä n.d.)

Jos johtojärjestelmän pitää toimia tulipalon aikana, niissä on käytettävä seuraavantilaisia johtojärjestelmiä:

- mineraalieristeisiä IEC 60702-1 ja 60702-2 mukaisia kaapeleita
- palonkestäviä EN 50200 tai EN 50362 ja EN 60332-1-2 mukaisia kaapeleita tai
- johtojärjestelmää, joka on suojattu riittävästi mekaanisesti ja tulipalolta.

(SFS 6000-5-56, 345)

ST-kortti 51.06 Palonkestävä johtojärjestelmä palon aikana toimiviksi tarkoitetuille järjestelmille kokoaa lakien, asetusten, standardien, ohjeiden ja määräyksien pohjalta ohjeistuksen kuinka palon aikana toimiva johtojärjestelmä toteutetaan. Palonkestävän johtojärjestelmän suunnittelussa on otettava huomioon kaapelien palonkestävyyden lisäksi johtokanavien, kaapelihyllyjen, kiinnitystarvikkeiden sekä jako- ja liitännätarasioiden palonkestävyys.

Mitoittaessa ja valittaessa kaapelia palonkestäviin järjestelmiin tulee ottaa huomioon palotilanteen kasvava ympäristön lämpötila. Kun lämpötila nousee, kuparin sähköjohtokyky alenee ja resistiivisyys kasvaa. Kuparijohdin sopii alumiinijohdinta paremmin palonkestoa vaativiin kohteisiin sen korkeamman sulamispisteensä ansiosta: kuparin sulamispiste n. 1080 °C (vrt. alumiini n. 660 °C). Lämpötilan ollessa normaalia korkeampi myös kaapelin kuormitettavuus vähenee. Korkea lämpötila tulee ottaa huomioon määritettäessä kaapelin kuormitusvirtaa. (ST 51.06, 2010, 6, 7)

Kaapelin paloaikaisen toimintakyvyn mitoituksessa on otettava huomioon johtimien resistanssin ja impedanssin kasvusta seuraava jännitteenalenema sekä standardien sallima tavanomainen 10 % jännitteenalenema. ST-kortti 51.06 mainitsee molempien ehtojen toteutuvan riittävästi, kun kaapeli mitoitetaan kahta poikki-pintaporrasta suuremmaksi kuin tavanomaisessa kaapeloinnissa. Moottorikäyttöjen palosuojauskaapeleille edellä mainitun ST-kortin ohjeiden mukaan tulee kaapelikokoa kasvattaa noin yhden poikki-pintaportaan verran jokaista 50m kaapelipituutta kohti. (ST 51.06, 2010, 7, 11)

Kaapelidatalehdissä esitetään usein johtimen ominaisresistanssi lämpötilassa 20 °C tai 70 °C. Kaavalla 14 saadaan laskettua johtimen ominaisresistanssi halutussa lämpötilassa.

$$R_T = R_{20}(1 + \alpha(T - 20 \text{ °C})) \quad (14)$$

jossa

R_T = resistanssi lämpötilassa T

R_{20} = resistanssi lämpötilassa 20 °C

α = resistiivisyyden lämpötilakerroin (kuparijohtimella 0.0039 °C⁻¹, alumiinijohtimella 0.004 °C⁻¹)

T = lämpötila (°C)

4.9 EMC-direktiivi

EMC-direktiivillä säädellään sähkölaitteiden ja -asennusten häiriöpäästöjä ja -sietoa. EMC-direktiivissä määritellään olennaisia vaatimuksia sähkömagneettiselle yhteensopivuudelle ja nämä vaatimukset voidaan osoittaa täytetyiksi noudattamalla yhdenmukaistettuja standardeja. Sähkölaitteen valmistajan on annettava tarpeelliset ohjeet EMC-vaatimusten toteutumiseksi. Valmistajan ohjeita tulee noudattaa sähköasennuksissa. Hyvän asennustavan mukaisesti EMC-vaatimusten kannalta huomiotava on SFS 6000 luku 444 Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. (D1 2012, 156–159, EMC-Sähkömagneettinen yhteensopivuus 2016)

Esimerkiksi taajuusmuuttaja on voimakas häiriölähde. Tämä johtuu taajuusmuuttajan käyttämästä vaihtosuuntauksen periaatteesta. Moottorin syöttöjännite muodostetaan tasajännitevälipiiristä vaihtojännitteeksi nopeilla puolijohdekytkimillä aiheuttaen suuria jännitteenousunopeuksia ja yliaaltoja. Tästä johtuen moottorikaapelin tulee olla symmetrinen suojattu kaapeli, jossa on kolme vaihejohdinta ja konsentrisen PE-johdin suojavaippana esim. MCCMK-kaapeli. Taajuusmuuttajan syöttökaapelin ei tarvitse välttämättä olla suojattu vaan voidaan toteuttaa esim. MCMK-kaapelilla. Taajuusmuuttajien kaapelointiin liittyvät vaatimukset ovat sähkömagneettisen yhteensopivuuden standardissa SFS-EN 61800-3. (Hietalahti 2012, 150–152; Mäkinen 2009, 144,145)

Standardin SFS 6000 kappaleessa 444.4.2 Toimenpiteet EMI:n (sähkömagneettisten häiriöiden) pienentämiseksi mainitaan moottoreista ja taajuusmuuttajista seuraavaa:

f) Käytetään taajuusmuuttajien ja moottorien välillä taajuusmuuttajan valmistajan ohjeiden mukaisia kaapeleita ja suodattimia. Kaapelin vaatimukset täyttyvät aina, kun käytetään 100 % peittäväällä suojalla varustettuja symmetrisiä monijohtimisia kaapeleita.

(SFS 600-1, 2012, 159)

5 Kaapeleiden mitoituslaskenta

5.1 Dokumentit

Lähtötiedot

Kaapelinmitoituksen lähtötietoina toimivat verkon pääkaavio sekä kulutuspisteluetelo. Kulutuspistelueltelosta ilmenevät mitoitukseen tarvittavista tiedoista laitteen tunnus, kuvaus, keskus, jännite sekä sen tyyppi, teho, virta, tehokerroin sekä mahdollisesti sulakekoko.

Joissain projekteissa saadaan asiakkaalta valmiina kaapelinvalintataulukot. Tällöin tehtäväksi jää tarkistaa, etteivät taulukossa ilmoitetut rajapituudet ylity.

Luovutettavat dokumentit

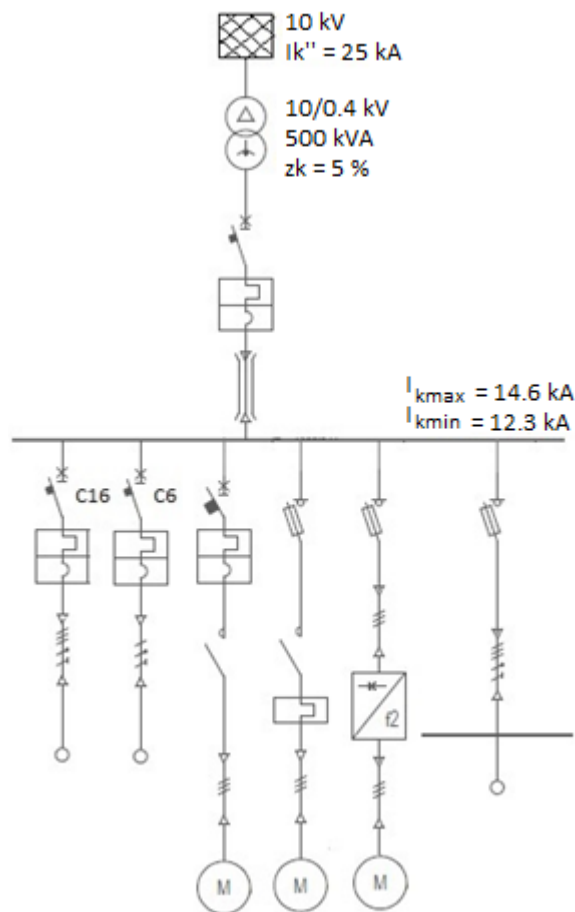
Asiakkaalle toimitetaan kaapelinmitoituksesta asiakkaan toiveen mukaan joko kaapelikohtainen laskenta tai laskennan perusteella tehty kaapelivalintataulukko, josta ilmenevät laskennassa käytetty ohjelma, laskentaan käytetyt asennusolosuhteista riippuvat korjauskertoimet sekä jännitteenaleneman raja-arvo. Kaapelivalintataulukot ryhmitellään lähtötyyppien ja jännitteen mukaisesti.

Asentajaa sekä suuremmissa kohteissa varmennustarkastusta varten kaapeliluettoon tulisi lisätä sarakkeet, joista kävisi ilmi sulakekoko, vaadittu mitattu minimioikosulkuvirran arvo, jolla suojaus toteutuu, sekä suurin sallittu johtopituus. Käsikirjan D1-2012 taulukoista 41.4a ja b sekä 41.5 (liite 2, osa 1 & 2) saadaan B-, C-, D- ja K-tyypin johdonsuojakatkaisijoille sekä gG-sulakkeille vaaditut mitatut arvot, jotta suojaus toimii 0.4 tai 5 sekunnissa. Muiden suojalaitteiden, kuten aM-sulakkeiden tai moottorinsuojakatkaisijoiden, toiminta-aikoja tulee tarkastella kyseisen suojalaitteen virta-aikatoimintakäyrältä.

5.2 Esimerkkiverkko

Mallinnetaan erityyppiset lähdöt kuvion 8 mukaisella esimerkkiverkolla. Taulukossa 10 ovat pääkeskuksen lähtötiedot. Liittymiskohdasta on saatu minimi ja maksimi oikosulkuvirtatiedot. Mitoitetaan esimerkkiverkon lähdöille kaapelit käsinlaskennalla.

Laskennoissa tarkastellaan kaapelin rajapituutta jännitteenaleneman sekä automaattisen poiskytkennän kannalta sekä tarkistetaan oikosulkusuojauksen riittävän nopea toiminta minimi oikosulkuvirralla.



Kuvio 8. Esimerkkiverkko

Rajapituus jännitteenaleneman kannalta

Rajapituuden tarkasteluun jännitteenaleneman kannalta käytetään luvussa 4.2 esitetyistä kaavoista 3 ja 4 johdettuja kaavoja. Kaapeleiden maksimipituuden laskennassa käytetään 3 %:n jännitteenalenemaa.

Jännitteenalenema tutkitaan johtimen jatkuvasti kuormitettavaksi sallitun lämpötilan kannalta. (SFS 600-2, 448, 472) PVC-eristeisillä kaapeleilla johtimen suurin sallittu lämpötila jatkuvassa käytössä on 70 °C. Kaapeleiden resistanssit ja reaktanssit on laskettu kaapeliesitteiden 20 °C:n arvoista muuttamalla arvot luvussa 4.8 esitetyn kaavan 14 likiarvolaskennan mukaisesti 70 °C:n arvoiksi. Kaapeliesitteet on esitetty liitteessä 3.

Suurin sallittu jännitteenalenema on

$$\Delta U = \frac{\Delta u \cdot U_n}{100 \%}$$

Sin φ :n laskenta, kun tiedetään tehokerroin $\cos \varphi$, on

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

Maksimipituus yksivaiheisella vaihtojännitteellä on

$$s = \frac{\Delta U}{I \cdot 2 \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}$$

Maksimipituus kolmivaiheisella vaihtojännitteellä on

$$s = \frac{\Delta U}{I \cdot \sqrt{3} \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}$$

Rajapituus vikasuojauksen kannalta

Pääkeskusta edeltävän verkon impedanssi tulee laskea, jotta voidaan määrittää kaapelin maksimipituus automaattisen poiskytkennän toteutumiseksi. Edeltävän verkon impedanssi saadaan laskettua alla olevalla kaavalla, kun tiedetään pienin oikosulkuvirta keskuksella.

Pääkeskusta edeltävän verkon impedanssin laskenta on

$$Z_v = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{k\min}} = \frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 12.3 \text{ kA}} = 0.0178 \Omega$$

Kaapelin maksimipituus automaattisen poiskytkennän kannalta on

Alle 70 mm² kaapeleilla voidaan käyttää kaavassa ominaisresistanssin arvoa, sillä ominaisreaktanssi on suhteessa ominaisresistanssiin niin pieni, ettei se vaikuta tulokseen merkittävästi. Johtimien resistansseista käytetään 70 °C lämpötilan arvoja. Kaapeliesitteet on esitetty liitteessä 3.

$$s_{\max} = \frac{\frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_v}{Z_L + Z_{PE}}$$

Oikosulkusuojauksen tarkistus

Maksimi oikosulkuvirta keskuksella on 14.6 kA. Kaikkien suojalaitteiden tulee kestää suurin mahdollinen oikosulkuvirta eli suojalaitteen nimelliskatkaisukyvyyn on oltava maksimi oikosulkuvirtaa suurempi.

Minimi oikosulkuvirran laskentaan kaapelin loppupäässä vaikuttavat kaapelin pituus sekä ominaisresistanssi ja -reaktanssi. Ominaisreaktanssi lasketaan kaapeliesitteestä saatavan induktanssin avulla. Alla olevilla kaavoilla saadaan kaapeliesitteiden (liite 3) tiedoista laskettua kaapelipituutta vastaavat resistanssin ja reaktanssin arvot.

Kaapelin resistanssi ja reaktanssi on

$$R = r \cdot s$$

$$X = x \cdot s$$

$$x = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot l_j$$

jossa

$$f = \text{taajuus (Hz)}$$

$$l_j = \text{induktanssi (mH/km)}$$

$$s = \text{kaapelin pituus (km)}$$

Verkon sisäinen impedanssi minimi oikosulkuvirtaa laskettaessa muodostuu suojalaitetta edeltävän verkon impedanssista sekä suojattavan kaapelin impedanssista. Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään johtimien resistanssien arvoja 70 °C:n lämpötilassa. Kaapeliesitteet on esitetty liitteessä 3.

Verkon sisäinen impedanssi on

$$Z = Z_v + \sqrt{(R_j + R_{PE})^2 + (X_j + X_{PE})^2}$$

Minimioikosulkuvirta kaapelin loppupäässä on

$$I_{k1\min} = \frac{c_{\min} \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

Oikosulkuvirrat tulee katkaista viimeistään ennen kuin kaapeli lämpiää suurimpaan sallittuun lämpötilaansa. Suojalaitteiden toimintakäyrät ovat saatu ABB:n laskentaohjelmasta e-Designista.

Aika, jossa kaapeli lämpiää suurimpaan sallittuun lämpötilaan, on

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

Johdon kuormitettavuus

Johdon kuormitettavuutta määritettäessä tulee ottaa huomioon asennus- ja ympäristöolosuhteet. Näissä laskuissa käytetään seuraavia kuormitettavuuteen vaikuttavia olosuhteita: ympäristön lämpötila on 30 °C ja kaapelit ovat asennettu tikashyllylle 4 muun kaapelin kanssa. Kaapelit koskettavat toisiaan. Asennustapa on E.

Ympäristön lämpötilasta aiheutuva korjauskerroin on tällöin standardin SFS 6000 taulukon B.52.14 mukaan 0.94. Vierekkäisistä koskettavista kaapeleista aiheutuva korjauskerroin standardin SFS 6000 taulukosta B.52.17 on 0.8. Taulukot ovat liitteen 1 osissa 7 ja 8.

Taulukko 10. Pääkeskuksen kulutuspiistelista

Nimitys	Teho P (kW)	Virta I_B (A)	cos φ	Suojalaite
Taajuusmuuttaja	45	87		
Tamun moottori	45	89	0.8	
Kytkinvarokelähtö	22	40	0.89	
Moottorinsuojakytkinlähtö	22	40	0.89	
1-v syöttö				C6
3-v syöttö				C16
Alakeskus	150		0.9	

5.2.1 Alakeskuksen syöttökaapeli

Alakeskuksen syöttökaapelin mitoitus

Alakeskuksen laitteiden kokonaisteho on 150 kW. Kuorman tehokerroin on 0.9. Keskuksen syöttökaapelin pituus tulee olemaan 125 m.

Laskennassa kuormitusten ajallinen käyttö huomioidaan kuormituksen tasoituskerroin, jolla vältetään ylityöaika. Keskuksen arvioitu tasoituskerroin on 0.7.

Keskuksen nimellisteho:

$$P_n = k \sum P_i = 0.7 \cdot 150 \text{ kW} = 105 \text{ kW}$$

jossa

P = keskuksen nimellisteho (kW)

k = prosessille ominainen tasoituskerroin (0.6 – 1.0)

$\sum P_i$ = keskukseseen liitettyjen laitteiden yhteenlaskettu asennettu teho (kW)

(Sähköasennustekniikka 3, 2004, 78)

Keskuksen näennäisteho lasketaan keskuksen nimellistehon ja keskuksen kuorman tehokerroimen avulla:

$$S_n = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{105 \text{ kW}}{0.9} = 116.7 \text{ kVA}$$

jossa

S_n = keskuksen nimellinäennäisteho (kVA)

$\cos \varphi$ = kuorman tehokerroin

Lasketaan alakeskuksen näennäistehosta syöttökaapelin mitoitusvirta:

$$I_b = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{116.7 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0.4 \text{ kV}} = 168.4 \text{ A}$$

Valitaan alakeskusta suojaaviksi sulakkeiksi gG200A ylikuormitussuojausehdon

$I_B \leq I_n$ mukaisesti.

Standardin SFS 6000 taulukosta C.52.1 (liite 1, osa 7) saadaan sulakkeella gG200A suojatun johtimen minimi kuormitettavuuden arvoksi 221 A.

Asennus- ja ympäristöolosuhteet huomioon ottaen kaapelin kuormitettavuuden tulee olla vähintään

$$I_{zp} = \frac{I_z}{k_1 \cdot k_2} = \frac{221 \text{ A}}{0.94 \cdot 0.8} = 293 \text{ A}$$

Standardin SFS 6000 taulukosta B.52.5 (liite 1, osa 6) valitaan PVC eristeinen alumiinikaapeli, jonka poikkipinta on 185 mm^2 ja kuormitettavuus 297 A.

Syöttökaapelin pituus on 125 metriä. Tarkastetaan, että kaapelin pituus pysyy sallituissa rajoissa jännitteenaleneman ja vikasuojauksen kannalta.

Rajapituus jännitteenaleneman kannalta

AMCMK 4x185/57 -kaapelin tiedot ovat liitteessä 3.

$$r = 0.2 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$x = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0.26 \text{ mH/km} = 0.082 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$s = \frac{12 \text{ V}}{168.4 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot (0.2 \text{ } \Omega/\text{km} \cdot 0.9 + 0.082 \text{ } \Omega/\text{km} \cdot 0.44)} = 0.19 \text{ km}$$

Kaapelin maksimipituus 3 %:n jännitteenalenemalla on 190 metriä.

Rajapituus vikasuojauksen kannalta

Standardin SFS 6000 kohdan 411.3.2.2 mukaisesti (liite 1, osa 1) 230 V:n vaihejännitteellä poiskytkentäajan tulee olla 5 s pääjohdoille ja ryhmäjohdoille, joilla ylivirtasuoja on yli 32 A. Käsikirjan D1-2012 taulukosta 41.5 (liite 2, osa 2) saadaan sulakkeen gG200A pienimmäksi toimintavirraksi 5 s toiminta-ajalla 1250 A.

Laskennassa tulee huomioida, että vaihe- ja suojajohdin ovat poikkipinnaltaan erilaiset, joten impedanssien arvot eroavat toisistaan.

$$s_{\max} = \frac{\frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 1.25 \text{ kA}} - 0.0178 \text{ } \Omega}{0.2 \text{ } \Omega/\text{km} + 0.384 \text{ } \Omega/\text{km}} = 0.27 \text{ km}$$

Vikasuojaus toteutuu alle 270 metrin kaapelipituudella.

Oikosulkusuojauksen tarkistus

Tarkastetaan oikosulkusuojauksen toteutuminen laskemalla 125 metriä pitkän syöttökaapelin minimi oikosulkuvirta kaapelin loppupäässä.

Lasketaan kaapelin resistanssi ja reaktanssi, laskennassa huomioon otetaan myös suojajohtimen arvot.

$$R = 0.125 \text{ km} \cdot (0.2 \Omega/\text{km} + 0.384 \Omega/\text{km}) = 0.073 \Omega$$

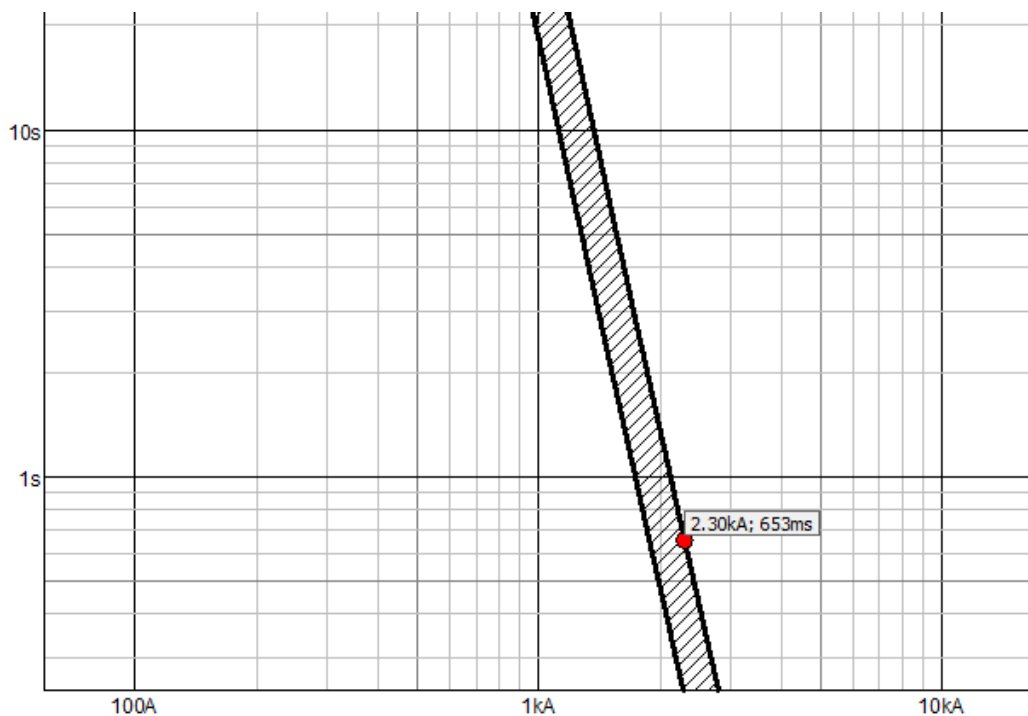
$$X = 0.125 \text{ km} \cdot (0.082 \Omega/\text{km} + 0.082 \Omega/\text{km}) = 0.021 \Omega$$

$$Z_{\text{kaapeli}} = \sqrt{0.073 \Omega^2 + 0.021 \Omega^2} = 0.075 \Omega$$

$$Z = 0.0178 \Omega + 0.075 \Omega = 0.094 \Omega$$

$$I_{\text{min}} = \frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0.094 \Omega} = 2.3 \text{ kA}$$

Kuviosta 9 sulakkeen gG200A toimintakäyrältä havaitaan, että suojaus toimii viimeistään 653 millisekunnissa.



Kuvio 9. Sulakkeen gG200A toimintakäyrä (ABB e-Design 2016)

Kaapeli lämpenee maksimilämpötilaansa ajassa:

Kertoimen k arvo standardin SFS 6000 taulukosta 43.1 (liite 1, osa 2) alle 300 mm² PVC-eristetyille alumiinijohtimelle, jonka alkulämpötila on 70 °C ja loppulämpötila 160 °C.

$$t = \left(\frac{76 \cdot 185 \text{ mm}^2}{2300 \text{ A}} \right)^2 = 37.4 \text{ s}$$

Oikosulkusuojauksen voidaan todeta toimivan tarpeeksi nopeasti pienimmällä oikosulkuvirralla. Ajan ollessa yli 5 sekuntia ei laskenta ota huomioon kaapelin jäähtymistä.

5.2.2 1- ja 3-vaiheiset syöttökaapelit

1-vaiheisen syöttökaapelin mitoitus:

Mitoitetaan 1-vaiheinen syöttökaapeli lähdölle, suojalaitteen nimellisvirran mukaan. Suojalaitteena toimii johdonsuojakatkaisija C6.

C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoiden laukaisurajavirta

$$I_2 = 1.45 \cdot I_n$$

Sijoitetaan edellä oleva yhtälö ylikuormitussuojausehtoon:

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$$

Tästä seuraa, että johdon kuormitettavuuden tulee olla ylikuormitussuojausehdon mukaisesti:

$$I_n \leq I_z$$

Tässä tapauksessa johdon minimikuormitettavuuden arvo on suojalaitteen nimellisvirta 6 A.

Asennus- ja ympäristöolosuhteet huomioon ottaen kaapelin kuormitettavuuden tulee olla vähintään:

$$I_{zp} = \frac{I_z}{k_1 \cdot k_2} = \frac{6 \text{ A}}{0.94 \cdot 0.8} = 8 \text{ A}$$

Standardin SFS 6000 taulukosta B.52.4 (liite 1, osa 5) valitaan PVC-eristeinen kupari-kaapeli, jonka poikkipinta on 2.5 mm^2 ja kuormitettavuus 26 A. Kaapeliksi voitaisiin kuormitettavuuden perusteella valita myös 1.5 mm^2 , mutta pienempi poikkipintaisen kaapelin ominaisresistanssi vaikuttaisi rajapituuteen merkittävästi jännitteenaleneman kannalta.

Rajapituus jännitteenaleneman kannalta

MCMK 3x2.5/2.5 -kaapelin tiedot ovat liitteessä 3.

$$r = 8.87 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Laskennassa tulee huomioida, että maksimijännitteenalenema lasketaan vaihejännitteestä 230 V. Kaapelin reaktanssia ei oteta huomioon, sillä se on merkityksettömän pieni verrattuna resistanssin arvoon. Käytetään laskennassa kuorman tehokertoimen arvoa 0.9.

$$s = \frac{6.93 \text{ V}}{6 \text{ A} \cdot 2 \cdot (8.87 \text{ } \Omega/\text{km} \cdot 0.9 + 0)} = 0.072 \text{ km}$$

Kaapelin maksimipituus 3 %:n jännitteenalenemalla on 72 metriä.

Rajapituus vikasuojauksen kannalta

Standardin SFS 6000 kohdan 411.3.2.2 (liite 1, osa 1) mukaisesti 230 V:n vaihejännitteellä poiskytkentäajan tulee olla 0.4 s ryhmäjohdoille, kun ylivirtasuoja on enintään 32 A. D1-käsikirjan taulukosta 41.4a. (liite 2, osa 1) saadaan johdonsuojakatkaisijan C6A pienimmäksi toimintavirraksi 0.4 s toiminta-ajalla 60 A.

Vaihe- ja suojajohtimen olleessa poikkipinnaltaan samat, käytetään laskennassa jakajassa kerrointa 2.

$$s_{\max} = \frac{\frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0.06 \text{ kA}} - 0.0178 \text{ } \Omega}{2 \cdot 8.87 \text{ } \Omega/\text{km}} = 0.205 \text{ km}$$

Vikasuojaus toteutuu alle 205 metrin kaapelipituudella.

Oikosulkusuojauksen tarkistus

Kaapelin rajapituudeksi määrittyi suurimman sallitun jännitteenaleneman mukaan 72 m. Tarkastetaan oikosulkusuojauksen toteutuminen tällä pituudella.

Lasketaan kaapelin resistanssi. Huomioidaan paluujohdin laskennassa, mutta ei reaktanssia, sillä se on pieni suhteessa kaapelin resistanssiin alle 70 mm^2 kaapeleilla.

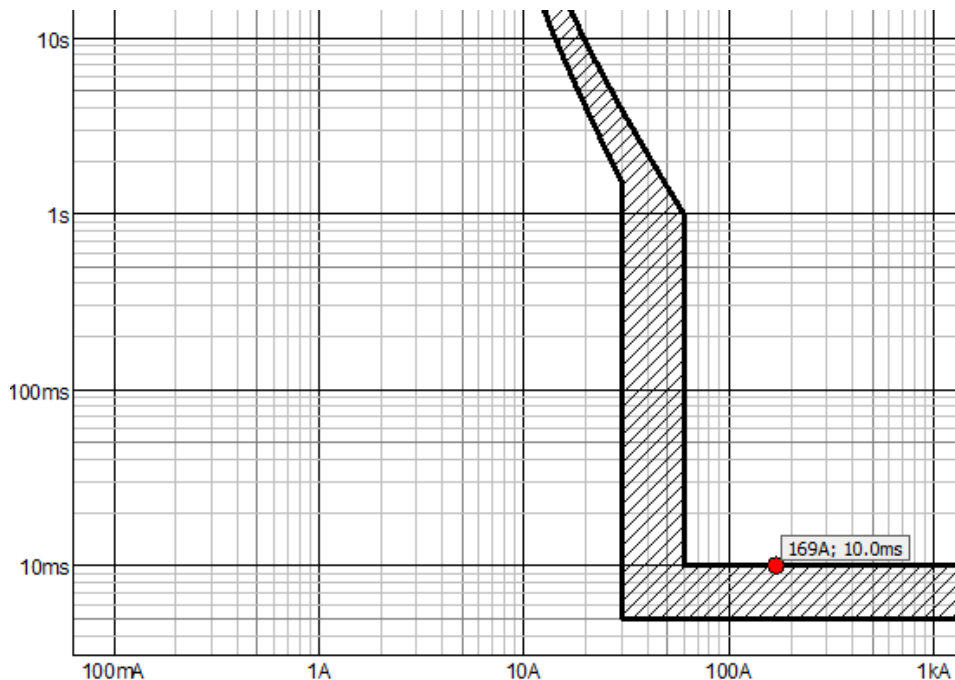
$$R = 0.072 \text{ km} \cdot (8.87 \text{ } \Omega/\text{km} + 8.87 \text{ } \Omega/\text{km}) = 1.28 \text{ } \Omega$$

$$Z_{\text{kaapeli}} \approx 1.28 \text{ } \Omega$$

$$Z = 0.0178 \text{ } \Omega + 1.28 \text{ } \Omega = 1.298 \text{ } \Omega$$

$$I_{\text{kmin}} = \frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 1.298 \text{ } \Omega} = 0.169 \text{ kA}$$

Kuviosta 10 johdonsuojakatkaisijan C6A:n toimintakäyrältä havaitaan, että suojaus toimii viimeistään 10 millisekunnissa.



Kuvio 10. Johdonsuojakatkaisijan C6A toimintakäyrä (ABB e-Design 2016)

Kaapeli lämpenee maksimilämpötilaansa ajassa:

Kertoimen k arvo on saatu standardin SFS 6000 taulukosta 43.1 (liite 1, osa 2) alle 300 mm^2 PVC-eristetyille kuparijohtimelle, jonka alkulämpötila on $70 \text{ } ^\circ\text{C}$ ja loppulämpötila $160 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$t = \left(\frac{115 \cdot 2.5 \text{ mm}^2}{169 \text{ A}} \right)^2 = 2.89 \text{ s}$$

Oikosulkusuojauksen voidaan todeta toimivan tarpeeksi nopeasti pienimmällä oikosulkuvirralla.

3-vaiheisen syöttökaapelin mitoitus:

Mitoitetaan 3-vaiheinen syöttökaapeli lähdölle, jonka suojalaitteena toimii johdon-suojakatkaisija C16. Toimitaan kuten edellä eli johdon minimikuormitettavuuden tulee olla vähintään 16 A.

Asennus- ja ympäristöolosuhteet huomioon ottaen kaapelin kuormitettavuuden tulee olla vähintään:

$$I_{zp} = \frac{I_z}{k_1 \cdot k_2} = \frac{16 \text{ A}}{0.94 \cdot 0.8} = 21.3 \text{ A}$$

Valitaan kaapeliksi standardin SFS 6000 taulukosta B.52.4 (liite 1, osa 5) PVC-eristeinen kuparikaapeli, jonka poikkipinta on 2.5 mm^2 .

Rajapituus jännitteenaleneman kannalta

MCMK 4x2.5/2.5 -kaapelin tiedot ovat liitteessä 3.

$$r = 8.87 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$s = \frac{12 \text{ V}}{16 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot (8.87 \text{ } \Omega/\text{km} \cdot 0.9 + 0)} = 0.054 \text{ km}$$

Kaapelin MCMK4x2.5/2.5 rajapituuden määrää suurin sallittu jännitteenalenema, mikä rajaa kaapelin maksimipituuden vain 54 metriin. Mikäli olisi tarve pidemmälle kaapelipituudelle, tulisi kaapelikokoa suurentaa.

Esimerkiksi MCMK4x6/6 rajapituus määräytyisi 3 %:n jännitteenaleneman mukaan 130 metriin.

Rajapituus vikasuojauksen kannalta

Standardin SFS 6000 kohdan 411.3.2.2 (liite 1, osa 1) mukaisesti 230 V:n vaihejännitteellä poiskytkentäajan tulee olla 0.4 s ryhmäjohdoille, kun ylivirtasuoja enintään 32 A. D1-käsikirjan taulukosta 41.4a. (liite 2, osa 1) saadaan johdonsuojakatkaisijan C16A pienimmäksi toimintavirraksi 0.4 s toiminta-ajalla 160 A.

Vaihe- ja suojajohtimen olleessa poikkipinnaltaan samat, käytetään laskennassa jakajassa kerrointa 2.

$$S_{\max} = \frac{\frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0.16 \text{ kA}} - 0.0178 \Omega}{2 \cdot 8.87 \Omega/\text{km}} = 0.076 \text{ km}$$

Vikasuojaus toteutuu alle 76 metrin kaapelipituudella.

Oikosulkusuojauksen tarkistus

Kaapelin MCMK4x2.5/2.5 rajapituudeksi määrityksi suurimman sallitun jännitteenalenneman mukaan 54 m. Tarkastetaan oikosulkusuojauksen toteutuminen tällä pituudella.

Lasketaan kaapelin resistanssi. Huomioidaan paluujohdin laskennassa, mutta ei reaktanssia, sillä se on pieni suhteessa kaapelin resistanssiin alle 70 mm² kaapeleilla.

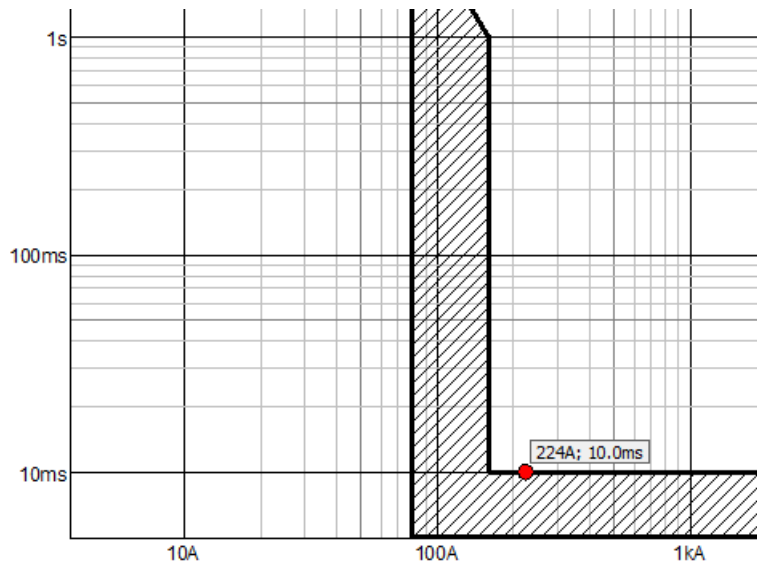
$$R = 0.054 \text{ km} \cdot (8.87 \Omega/\text{km} + 8.87 \Omega/\text{km}) = 0.96 \Omega$$

$$Z_{\text{kaapeli}} \approx 0.96 \Omega$$

$$Z = 0.0178 \Omega + 0.96 \Omega = 0.978 \Omega$$

$$I_{\text{kmin}} = \frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0.978 \Omega} = 0.224 \text{ kA}$$

Kuviosta 11 johdonsuojakatkaisijan C16A:n toimintakäyrältä havaitaan, että suojaus toimii viimeistään 10 millisekunnissa.



Kuvio 11. Johdonsuojatkatkaisijan C16A toimintakäyrä (ABB e-Design 2016)

Kaapeli lämpenee maksimilämpötilaansa ajassa:

Kertoimen k arvo on saatu standardin SFS 6000 taulukosta 43.1 (liite 1, osa 2) alle 300 mm^2 PVC-eristetyille kuparijohtimelle, jonka alkulämpötila on $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ja loppulämpötila $160 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$t = \left(\frac{115 \cdot 2.5 \text{ mm}^2}{224 \text{ A}} \right)^2 = 1.65 \text{ s}$$

Oikosulkusuojauksen voidaan todeta toimivan tarpeeksi nopeasti pienimmällä oikosulkuvirralla.

5.2.3 Suorat sähkökäytöt

Kaapelin mitoitus moottorille

Moottorista on saatu alla olevat tiedot. Moottorin kaapelin pituus tulee olemaan 100 metriä.

$$P = 22 \text{ kW}$$

$$I_n = 40 \text{ A}$$

$$\cos\varphi = 0.89$$

Moottorin suojakomponentit tullaan valitsemaan liitteen 4 moottorikäyttöjen kojevalintataulukoista. Kojevalintataulukossa on mitoituksessa varauduttu yhtä tehoporrasta suurempaan moottoriin, joten varaudutaan kaapelin mitoituksessa myös yhtä tehoporrasta suurempaan moottoriin. 30 kW:n moottorin nimellisvirta on 53 A.

Asennus- ja ympäristöolosuhteet huomioon ottaen kaapelin kuormitettavuuden tulee olla vähintään:

$$I_{zp} = \frac{I_z}{k_1 \cdot k_2} = \frac{53 \text{ A}}{0.94 \cdot 0.8} = 64 \text{ A}$$

Standardin SFS 6000 taulukosta B.52.4 (liite 1, osa 5) valitaan PVC-eristeinen kupari-kaapeli, jonka poikkipinta on 16 mm^2 ja kuormitettavuus 85 A.

Moottorin kaapelin pituus on 100 metriä. Tarkastetaan, että kaapelin pituus pysyy sallituissa rajoissa jännitteenaleneman ja vikasuojauksen kannalta.

Rajapituus jännitteenaleneman kannalta

Suorilla sähkökäytöillä on suuri käynnistysvirta, joten rajapituutta jännitteenaleneman mukaan tulee tarkastella moottorin käynnistysvirralla. Käynnistyksessä sallitaan maksimissaan 10 % jännitteenalenema.

MCMK 3x16+16 -kaapelin tiedot ovat liitteessä 3.

$$r = 1.38 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$x = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0.26 \text{ mH/km} = 0.082 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Käynnistysvirtasuhteen sekä käynnistyksen aikaisen tehokertoimen arvon saa valmistajan teknisistä tiedoista. Käytetään laskennassa seuraavia tietoja:

$$I_s/I_n = 6.2$$

$$\cos\varphi \text{ start} = 0.45$$

$$\sin\varphi \text{ start} = 0.89$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{\Delta U}{\frac{I_s}{I_n} \cdot I_n \cdot \sqrt{3} \cdot (r \cdot \cos\varphi_{\text{start}} + x \cdot \sin\varphi_{\text{start}})} \\
 &= \frac{40\text{V}}{6.2 \cdot 53 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot (1.38 \Omega/\text{km} \cdot 0.45 + 0.088 \Omega/\text{km} \cdot 0.89)} \\
 &= 0.100 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Kaapelin maksimipituus 10 %:n jännitteenalenumalla käynnistyksessä on 100 metriä.

Valitaan seuraavaksi suojakomponentit 22 kW:n moottorinsuojakytkin- ja kytkinvarokelähdölle. Valitaan komponentit liitteen 4 ABB:n teollisuuskäyttöjen kojevalintataulukoista.

Moottorinsuojakytkinlähtö:

Moottorinsuojakytkin: MS450-50

Kontaktori: A50

Rajapituus vikasuojauksen kannalta

Moottorinsuojakytkimen pienin toimintarajavirta, jotta suojaus toimii tarpeeksi nopeasti vikasuojauksen kannalta, saadaan tarkastelemalla moottorinsuojakytkimen virta-aikatoimintakäyrää. MS450-50 toimintavirta on 5 sekunnin poiskytkentäajalla noin 355 A.

$$s_{\text{max}} = \frac{\frac{0.95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 355 \text{ A}} - 0.0178 \Omega}{2 \cdot 1.38 \Omega/\text{km}} = 0.217 \text{ km}$$

Vikasuojaus toteutuu alle 217 metrin kaapelipituudella.

Kytkinvarokelähtö:

Sulake: 63aM

Kontaktori: A63

Lämpörele: TA75DU

Rajapituus vikasuojauksen kannalta

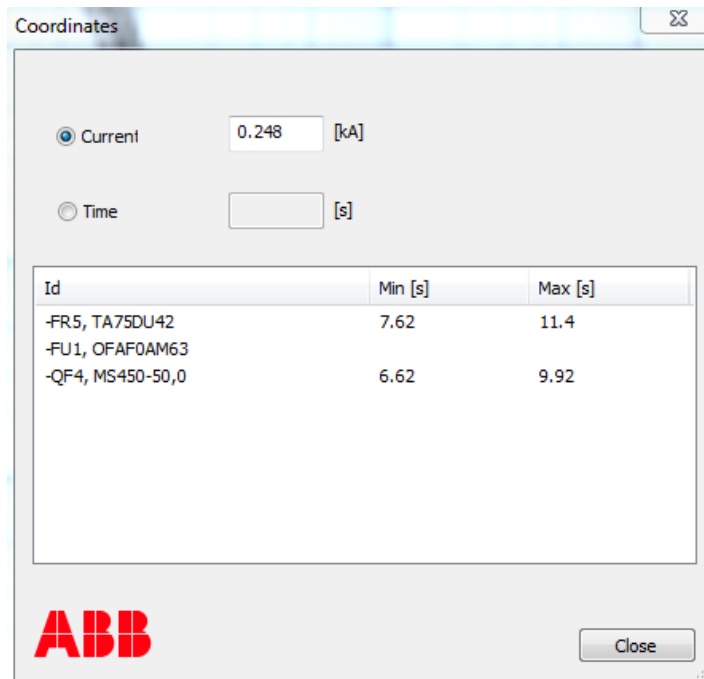
aM-sulakkeen pienin toimintarajavirta, jotta suojaus toimii tarpeeksi nopeasti vikasuojauksen kannalta, saadaan tarkastelemalla aM-sulakkeen virta-aikatoimintakäyrää. aM63A toimintavirta on 5 sekunnin poiskytkentäajalla noin 470 A.

$$s_{\max} = \frac{\frac{0.95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 470 \text{ A}} - 0.0178 \Omega}{2 \cdot 1.38 \Omega/\text{km}} = 0.162 \text{ km}$$

Vikasuojaus toteutuu alle 162 metrin kaapelipituudella.

Moottorin käynnistysvirta:

ABB:n laskentaohjelmalla e-Designilla voidaan tutkia kyseisten suojalaitteiden toiminta-aikoja. Tarkastetaan etteivät suojalaitteet laukea turhaan moottorin käynnistyksessä. Kuviossa 12 on esitetty 22 kW:n moottorin käynnistysvirta $6.2 \cdot 40 \text{ A} = 248 \text{ A}$ sekä edellä valitut suojalaitteet. Kuviosta 12 huomataan, että kytkinvarokelähdössä tulee huomioida, että 22 kW:n moottorin käynnistysaika tulee olla alle 7.6 sekuntia. Moottorinsuojakytkinlähdössä moottorin tulee käynnistyä alle 6.6 sekunnissa.



The screenshot shows the 'Coordinates' window in ABB e-Design. It has two radio buttons: 'Current' (selected) with a value of 0.248 [kA], and 'Time' (unselected) with an empty field [s]. Below is a table with three columns: 'Id', 'Min [s]', and 'Max [s]'. The table lists three protection devices: -FR5, TA75DU42 (Min: 7.62, Max: 11.4), -FU1, OFAF0AM63 (Min: 6.62, Max: 9.92), and -QF4, MS450-50,0 (Min: 6.62, Max: 9.92). The ABB logo is at the bottom left and a 'Close' button is at the bottom right.

Id	Min [s]	Max [s]
-FR5, TA75DU42	7.62	11.4
-FU1, OFAF0AM63	6.62	9.92
-QF4, MS450-50,0	6.62	9.92

Kuvio 12. Suojalaitteiden toiminta-ajat moottorin käynnistysvirralla (ABB e-Design 2016)

Oikosulkusuojauksen tarkistus

Tarkastetaan oikosulkusuojauksen toteutuminen laskemalla 100 metriä pitkän moottorikaapelin minimi oikosulkuvirta kaapelin loppupäässä.

Lasketaan kaapelin resistanssi, mutta ei oteta huomioon reaktanssia sillä se on pieni suhteessa kaapelin resistanssiin alle 70 mm² kaapeleilla.

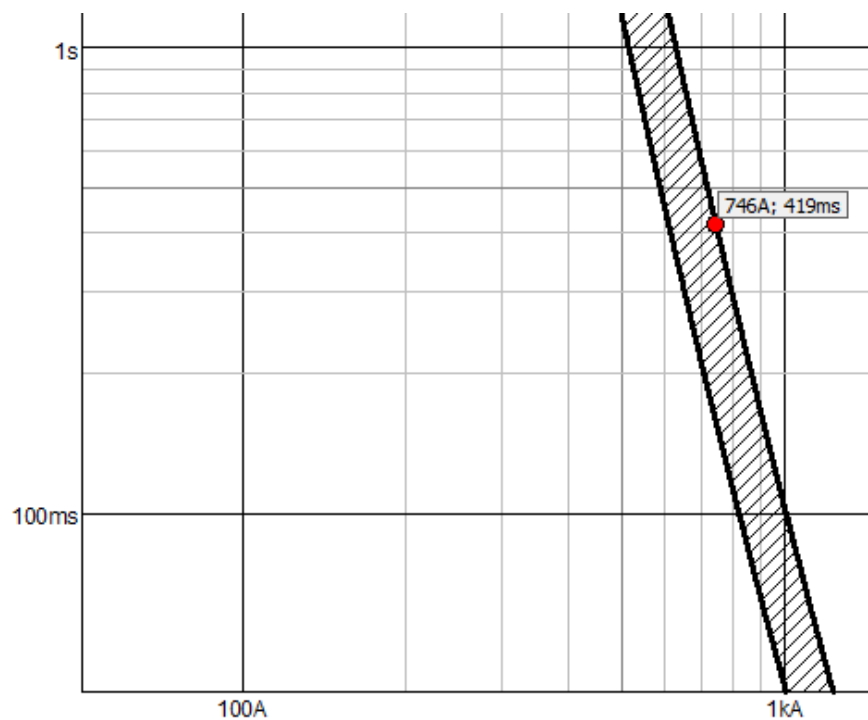
$$R = 0.1 \text{ km} \cdot (1.38 \text{ } \Omega/\text{km} + 1.38 \text{ } \Omega/\text{km}) = 0.276 \text{ } \Omega$$

$$Z_{\text{kaapeli}} \approx 0.276 \text{ } \Omega$$

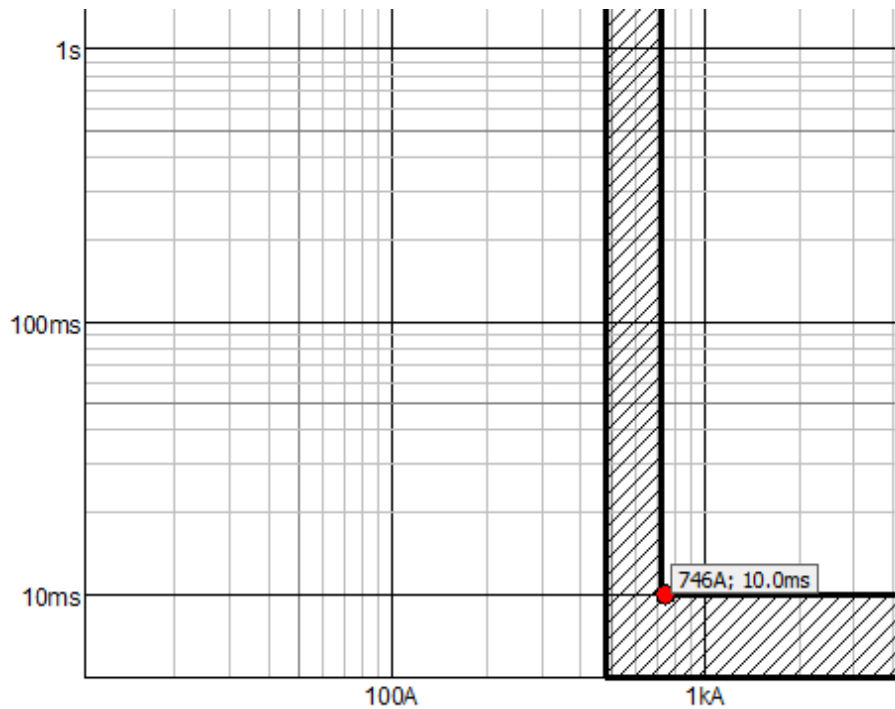
$$Z = 0.0178 \text{ } \Omega + 0.276 \text{ } \Omega = 0.294 \text{ } \Omega$$

$$I_{\text{kmin}} = \frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0.294 \text{ } \Omega} = 0.746 \text{ kA}$$

Kuvioista 13 ja 14 havaitaan, että sulake aM63A katkaisee oikosulkuvirran n. 0.4 sekunnissa ja moottorinsuojakytkin MS450-50 10 millisekunnissa.



Kuvio 13. Sulakkeen aM63A toimintakäyrä (ABB e-Design 2016)



Kuvio 14. Moottorinsuojajkytkimen MS450-50 toimintakäyrä (ABB e-Design 2016)

Kaapeli lämpenee maksimilämpötilaansa ajassa:

Kertoimen k arvo on saatu standardin SFS 6000 taulukosta 43.1 (liite 1, osa 2) alle 300 mm^2 PVC eristetyille kuparijohtimelle, jonka alkulämpötila on $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ja loppulämpötila $160 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$t = \left(\frac{115 \cdot 16 \text{ mm}^2}{746 \text{ A}} \right)^2 = 6.1 \text{ s}$$

Oikosulkusuojauksen voidaan todeta toimivan tarpeeksi nopeasti pienimmällä oikosulkuvirralla. Ajan ollessa yli 5 sekuntia ei laskenta ota huomioon kaapelin jäähtymistä.

5.2.4 Suunnanvaihtokäytöt

Suunnanvaihtokäytössä pääkontaktorin rinnalle kytketään toinen kontaktori, jolla voidaan vaihtaa vaiheiden järjestystä. Vaiheiden järjestyksen muuttuessa moottorin pyörimissuunta vaihtuu. (Hietalahti 2013, 209)

Suunnanvaihtokäyttö ei vaikuta kaapelin mitoitukseen. Suunnanvaihtokäytön mitoitukseen voidaan käyttää samaa kojevalintataulukkoa kuin suorilla sähkökäyttöillä. Kojevalintataulukossa tulee huomioida, että kontaktoreita tarvitaan kaksi.

5.2.5 Taajuusmuuttajakäytöt

Taajuusmuuttajan kaapeloinnin, syöttösulakkeiden koon ja tyyppin valinnassa noudatetaan valmistajan ohjeita, jotta EMC-häiriövaatimukset täyttyvät.

Esimerkiksi ABB:n ACS880-01 -tyypin taajuusmuuttajan laiteopas neuvoo kaapeleiden mitoituksesta ja suojauksesta seuraavaa:

Taajuusmuuttaja suojaa moottorikaapelia ja moottoria oikosulun aikana, jos moottorikaapeli on mitoitetu taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan. Muita suojalaitteita ei tarvita.

Taajuusmuuttaja suojaa itseään sekä syöttö- ja moottorikaapeleita termiseltä ylikuormitukselta, kun kaapelit on mitoitetu taajuusmuuttajan nimellisvirran mukaan. Muita termisen ylikuormituksen suojalaitteita ei tarvita.

(ACS880-01-taajuusmuuttajat, 2015)

Taajuusmuuttajakäytön kaapelin mitoitus:

Verkkokaapeli sekä moottorikaapeli mitoitetaan taajuusmuuttajan nimellisvirran 87 A mukaan. Tällöin taajuusmuuttaja suojaa moottoria ja moottorikaapelia oikosulun aikana sekä ylikuormitustilanteessa.

Valitaan taajuusmuuttajälähtöä suojaaviksi sulakkeiksi gG100A ylikuormitussuojauksen ehdon $I_B \leq I_n$ mukaisesti.

Standardin SFS 6000 taulukosta C.52.1 (liite 1, osa 7) saadaan sulakkeella gG100A suojatun johtimen minimikuormitettavuuden arvoksi 110 A.

Asennus- ja ympäristöolosuhteet huomioon ottaen kaapelin kuormitettavuuden tulee olla vähintään:

$$I_{zp} = \frac{I_z}{k_1 \cdot k_2} = \frac{110 \text{ A}}{0.94 \cdot 0.8} = 146.3 \text{ A}$$

Valitaan kaapeliksi standardin SFS 6000 taulukosta B.52.4 (liite 1, osa 5) PVC-eristeinen kuparikaapeli, jonka poikkipinta on 35 mm².

Verkkokaapeliksi voidaan valita MCMK- tyyppin kaapeli, mutta taajuusmuuttajan ja moottorin välillä tulee käyttää häiriösuojattua kaapelia kuten MCCMK.

Tarkastellaan taajuusmuuttajan syöttökaapelin rajapituuden muodostumista. Moottorikaapelin rajapituuden määrittää laitteen valmistaja, jotta EMC-vaatimukset täyttyvät. Moottorikaapelin rajapituus löytyy taajuusmuuttajan teknisistä tiedoista.

Verkkokaapelin rajapituus jännitteenaleneman kannalta

Taajuusmuuttaja rajoittaa moottorin käynnistysvirtaa. Esimerkiksi ABB:n ACS880-01-087A-3 -tyypin taajuusmuuttajan maksimivirta, jota saa käyttää 10 s ajan käynnistyksessä, on 122 A eli n. 1.4-kertainen nimellisvirtaan nähden. Sallitaan käynnistyksessä maksimissaan 10 %:n jännitteenalenema.

MCMK 3x35+16 kaapelitiedot ovat liitteessä 3.

$$r = 0.63 \Omega/\text{km}$$

$$x = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0.26 \text{ mH/km} = 0.082 \Omega/\text{km}$$

Käynnistyksen aikainen jännitteenalenema:

Käytetään käynnistyksen aikaisen $\cos\varphi$ arvona 0.45 ja $\sin\varphi$ arvona 0.89.

$$s = \frac{40 \text{ V}}{1.4 \cdot 87 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot (0.63 \Omega/\text{km} \cdot 0.45 + 0.082 \Omega/\text{km} \cdot 0.89)} = 0.533 \text{ km}$$

Kaapelin maksimipituus 10 %:n jännitteenalenemalla käynnistyksessä on 533 metriä.

Normaalikäynti:

$$s = \frac{12 \text{ V}}{87 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot (0.63 \Omega/\text{km} \cdot 0.8 + 0.082 \Omega/\text{km} \cdot 0.6)} = 0.144 \text{ km}$$

Kaapelin maksimipituus 3 %:n jännitteenalenemalla on 144 metriä.

Verkkokaapelin rajapituus vikasuojauksen kannalta

Standardin SFS 6000 kohdan 411.3.2.2 mukaisesti (liite 1, osa 1) 230 V:n vaihejännitteellä poiskytkentäajan tulee olla 5 s pääjohdoille ja ryhmäjohdoille, joilla ylivirtasuoja on yli 32 A. Käsikirjan D1-2012 taulukosta 41.5 (liite 2, osa 1) saadaan sulakkeen gG100A pienimmäksi toimintavirraksi 5 s toiminta-ajalla 580 A.

Laskennassa tulee huomioida, että vaihe- ja suojajohdin ovat poikkipinnaltaan erilaiset, joten impedanssien arvot eroavat toisistaan.

$$s_{\max} = \frac{\frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0.58 \text{ kA}} - 0.0178 \Omega}{0.63 \Omega/\text{km} + 1.38 \Omega/\text{km}} = 0.179 \text{ km}$$

Vikasuojaus toteutuu alle 179 metrin kaapelipituudella.

Oikosulkusuojauksen tarkistus

Tarkastetaan oikosulkusuojaus vain verkkokaapelin osalta, sillä taajuusmuuttaja suojaa moottorikaapelin. Verkkokaapelin rajapituudeksi määräytyi 144 m 3 %:n jännitteenaleneman mukaan normaalikäynnissä. Tarkastetaan oikosulkusuojauksen toteutuminen tällä pituudella.

Lasketaan kaapelin resistanssi, mutta ei oteta huomioon reaktanssia sillä se on pieni suhteessa kaapelin resistanssiin alle 70 mm² kaapeleilla. Laskennassa tulee ottaa huomioon suojajohtimen resistanssi, joka on eri kuin vaihejohtimen.

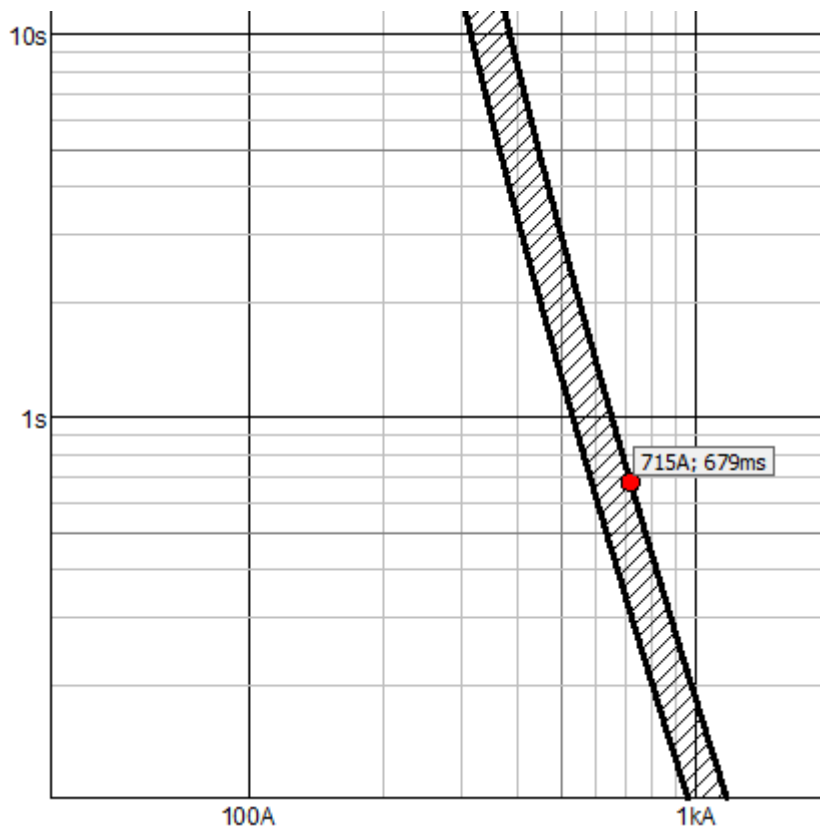
$$R = 0.144 \text{ km} \cdot (0.63 \Omega/\text{km} + 1.38 \Omega/\text{km}) = 0.289 \Omega$$

$$Z_{\text{kaapeli}} \approx 0.289 \Omega$$

$$Z = 0.0178 \Omega + 0.289 \Omega = 0.307 \Omega$$

$$I_{\text{kmin}} = \frac{0.95 \cdot 0.4 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 0.307 \Omega} = 0.715 \text{ kA}$$

Kuviosta 15 sulakkeen gG100A toimintakäyrältä havaitaan, että suojaus toimii viimeistään n. 0.7 sekunnissa.



Kuvio 15. Sulakkeen gG100 toimintakäyrä (ABB e-Design 2016)

Kaapeli lämpenee maksimilämpötilaansa ajassa:

Kertoimen k arvo on saatu standardin SFS 6000 taulukosta 43.1 (liite 1, osa 2) alle 300 mm^2 PVC-eristetyille kuparijohtimelle, jonka alkulämpötila on $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ja loppulämpötila $160 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$t = \left(\frac{115 \cdot 35 \text{ mm}^2}{715 \text{ A}} \right)^2 = 31.7 \text{ s}$$

Oikosulkusuojauksen voidaan todeta toimivan tarpeeksi nopeasti pienimmällä oikosulkuvirralla. Ajan ollessa yli 5 sekuntia ei laskenta ota huomioon kaapelin jäähtymistä.

5.3 UPS-lähtö

UPS-järjestelmien kaapelien mitoittamisessa on tärkeää huomioida ylivirtasuojauksen selektiivisyys, jotta mahdollisimman pieni osa verkkoa menisi jännitteettömäksi vian seurauksena. Oikosulkutilanteessa UPS:n oma suojaus sammuttaa laitteen nopeasti. UPS-laitevalmistajien taulukoista saadaan lähtöverkon oikosulkuvirran sekä -ajan

arvot. Taulukossa on myös annettu käyttöön otettavan suurimman sulakkeen tyyppi. Näiden tietojen perusteella tulee tapauskohtaisesti tarkistaa, että UPS-laitteen syöttämä oikosulkuvirta laukaisee suojalaitteen nopeammin kuin UPS:n oma suojaus sekä tarkistaa UPS:n jälkeisen kaapelin suurin sallittu kaapelipituus. (ST 52.35.02, 2010, 6)

ST-kortti 35.10.02 UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelu ja toteutus kokoaa standardien, määräyksien ja ohjeiden pohjalta yhtenäisen opastuksen UPS-jakelujärjestelmän suunnitteluun.

UPS järjestelmien suunnittelulle asetetut määräykset sekä ohjeet:

SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset

Viestintävirasto 54/2008 M, 2008-2-14. Määräys viestintäverkkojen ja –palvelujen varmistamisesta.

SFS-EN 5027-2, 2001-12-03. Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset.

ST-käsikirja 20. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät

ST 53.13. Kiinteistön sähköverkon suojauksen selektiivisyys.

(ST 35.10.02 2010, 1)

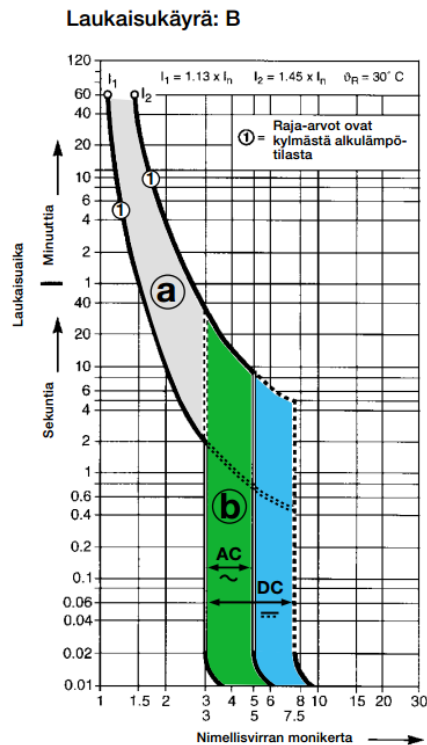
Esimerkki: Maksimi rajapituuden määrittäminen käytettäessä B16 johdonsuojakatkaisijaa

Tarkastellaan UPS-laitetta EATON UPS 9155 12 kVA ja sen perään kytkettävää kaapelia MMJ 3x2.5S. Kuvioista 1 nähdään, että UPS syöttää oikosulkuvirtaa 144 A 0.3 sekunnin ajan. Tämän jälkeen UPS sammuttaa itsensä, jolloin koko verkko menee jännitteettömäksi.

EATON UPS	JARJESTELMA ARVOT				LAHTOVERKKO				** Suurin Sulake Fmax 0.4s
	Nimellisteho [kVA/kW]	Un [V] Input/Output	Fn [Hz]	EFF [%] Normal / ESS mode	Vaihe- Luku	Lähtövirta In [A]	Oikosulku- virta Isc[A]	Oikosulku- aika [ms]	
9155	8 / 7,2	230 / 400	50 / 60	91 %	1	35	100	300	B16/C6
9155	8 / 7,2	230 / 400	50 / 60	91 %	1	35	100	300	B16/C6
9155	10 / 9	230 / 400	50 / 60	91 %	1	44	100	300	B16/C6
9155	10 / 9	230 / 400	50 / 60	91 %	1	44	100	300	B16/C6
9155	12 / 10,8	230 / 400	50 / 60	91 %	1	53	144	300	B16/C10
9155	15 / 13,5	230 / 400	50 / 60	91 %	1	66	144	300	B16/C10
9155	20 / 18	230 / 400	50 / 60	93 %	1	87	300	300	B50/C25
9155	30 / 27	230 / 400	50 / 60	93 %	1	130	300	300	B50/C25

Kuvio 16. Tekniset tiedot laitteesta EATON UPS 9155 12 kVA (Eaton UPS mallien sähköiset arvot 2015)

Kuviossa 17 vihreä b-alue kuvaa B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan magneettista laukaisua. Jotta johdonsuojakatkaisija toimii tällä nopealla laukaisulla alle 0.3 s, tulee oikosulkuvirran olla 5 kertaa suojalaitteen nimellisvirran suuruinen eli tässä tapauksessa $5 \cdot 16 \text{ A} = 80 \text{ A}$



Kuvio 17. Johdonsuojakatkaisija tyyppi B:n laukaisukäyrä (ABB Pienjännitekojeet n.d.)

Kaapeliesitteestä saadaan kaapelin MMJ 3x2.5S resistanssi 20°C :n lämpötilassa, joka on $7.41 \Omega/\text{km}$. Kaapelipituus tulee tarkistaa pahimman tapauksen kannalta, joten laskennassa tulee käyttää resistanssin arvoa 70°C :n lämpötilassa, sillä se on kaapelin suurin sallittu käyttölämpötila jatkuvassa käytössä. Alla olevalla kaavalla saadaan laskettua likiarvo resistanssin arvolle 70°C :n lämpötilassa.

$$R_{70^\circ \text{C}} = 1.2 \cdot R_{20^\circ \text{C}}$$

Koska UPS-laite toimii virtalähteen tavoin, impedanssi ennen suojalaitetta Z_V on 0Ω .

Suurin kaapelipituus lasketaan kappaleessa 4.6 esitetyllä kaavalla 13a:

$$s_{\max} = \frac{\frac{0.95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 80 \text{ A}} - 0 \Omega}{2 \cdot (1.2 \cdot 7.41 \Omega/\text{km})} = 0.1542 \text{ km} \approx 154 \text{ m}$$

Selektiivisyys toteutuu, kun kaapeli on lyhempi kuin 154 metriä.

5.4 DC-kaapelit

Esimerkki: Tasasähkökaapeleiden rajapituuksien laskenta

Erään valmistajan 220 VDC:n akuston tuottama oikosulkuvirta akuston liittimissä ta-
pahtuvassa oikosulussa on 2950 A.

Akusto on liitetty pääkeskukseen 6 metrin pituisella 35 mm² kuparikaapelilla. Kupari-
johtimien tasavirtaresistanssi taulukosta (liite 3) saadaan kaapelin resistanssiksi 70
°C:n lämpötilassa 0.627 Ω/km.

Akuston sisäinen resistanssi R_i saadaan laskettua seuraavasti:

$$R_i = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ VDC}}{2950 \text{ A}} = 0.0746 \text{ } \Omega$$

Verkon kokonaisresistanssi ennen suojalaitetta saadaan laskettua seuraavasti:

$$R_v = \frac{2 \cdot r \cdot s}{n} + R_i = \frac{2 \cdot 0.627 \text{ } \Omega/\text{km} \cdot 0.006 \text{ km}}{1} + 0.0746 \text{ } \Omega = 0.0082 \text{ } \Omega$$

jossa

n = rinnakkaisten johdinten lukumäärä

Vikasuojauksen kannalta suurimman sallitun kaapelipituuden laskennassa käytetään
tasajännitteellä kaavaa:

$$s_{\max} = \frac{\frac{c \cdot U}{I_k} - R_v}{2 \cdot r}$$

Tasajännitteellä suurin sallittu pituus jännitteenaleneman kannalta lasketaan seura-
valla kaavalla:

$$s = \frac{\Delta U}{I \cdot 2 \cdot r}$$

Sallitaan kaapeleille 11 V:n jännitteenalenema, joka vastaa 5 %:n suhteellista jännit-
teenalenemaa. Alla olevaan taulukkoon 11 on laskettu edellä olevia kaavoja käyttäen
rajapituuksia suojalaitteille C6 ja C10, käytettäessä poikkipinnaltaan 1.5, 2.5 tai 6
mm² kuparikaapelia.

Standardin SFS 6000 kohdan 411.3.2.2 (liite 1, osa 1) mukaisesti 220 VDC:n tasajännitteellä poiskytkentäajan tulee olla 5 s ryhmäjohtoille, kun ylivirtasuoja on enintään 32 A.

Suojalaitteen pienin toimintavirta 5 sekunnin poiskytkentäajalla on näkyvässä taulukossa 11 suojalaitteen tunnuksen alla. C-tyyppin johdonsuojakatkaisija vaatii 1.5 kertaisen toimintavirran vaihtosähköön verrattuna. Taulukon 11 tuloksista nähdään, että pituutta rajoittava tekijä on jännitteenalenema.

Taulukko 11. Tasajännitekaapeleiden lasketut rajapituudet

MMJ (mm ²)	r 70 °C (Ω/km)	C6 90 A		C10 150 A	
		s_{\max} (m)	s_{\max} (m)	s_{\max} (m)	s_{\max} (m)
		Vikasuojaus	5 % Δu	Vikasuojaus	5 % Δu
2x1.5	14.5	77	63	45	37
2x2.5	8.87	126	103	73	62
2x6	3.69	303	248	177	149

5.5 Palonkestävätkaaapelit

Esimerkki: Palonkestävän kaapelin mitoitus

Tarkastellaan palonkestävän kaapelin mitoitusta 22 kW:n moottorille, jonka nimellisvirta on 40 A. Moottorikaapelin pituus on 100 m.

Esimerkkiverkon laskennassa luvussa 5.2.3 22 kW:n moottorille mitoitettiin poikkipinnaltaan 16 mm² kuparikaapeli.

ST-kortti 51.06 ohjeistaa moottorikaapeleille noin yhden poikkipintaportaan lisäystä 50 metriä kohti verrattuna normaaliin mitoitukseen. Tällä periaatteella voitaisiin valita poikkipinnaltaan 35 mm² kuparikaapeli. ST-kortti mainitsee kaapelin suojauksen palossa olevan toisarvoista, sillä kaapeli tuhoutuu joka tapauksessa vaihtokuntoon.

Tarkastellaan palonaikaisesta lämpötilasta aiheutuvaa jännitteenalenemaa, jonka suositellaan moottorin käynnistyksen aikana olevan kaapelilla 10 %. FRHF:n kaapeli-esitteessä kerrotaan, että kaapeli on palonkestävä standardin EN50200 mukaan. Kaapelin toiminta on tällöin testattu palolämpötilassa 830 °C. (Fire tests n.d.)

Palonaikaisen resistanssin likiarvon saa laskettua seuraavalla luvussa 4.8 esitetyllä kaavalla 14.

$$R_T = 0.524 \Omega/\text{km}(1 + 0.0039 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}(830 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})) = 2.18 \Omega/\text{km}$$

Kaapelin palonaikainen resistanssi on palolämpötilassa 830 °C nelinkertainen verrattuna normaaliin.

Käynnistyksen jännitteenalenema palon aikana:

Käytetään samoja käynnistyksen aikaisia arvoja kuin luvussa 5.2.3.

$$\begin{aligned} \Delta U &= I_s/I_n \cdot I_n \cdot \sqrt{3} \cdot s \cdot (r \cdot \cos\varphi \text{ start} + x \cdot \sin\varphi \text{ start}) \\ &= 6.2 \cdot 40 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot 0.1 \text{ km} \cdot (2.18 \Omega/\text{km} \cdot 0.45 + 0.088 \Omega/\text{km} \cdot 0.89) \\ &= 45.5 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \% = \frac{45.5 \text{ V}}{400 \text{ V}} \cdot 100 \% = 11.4 \%$$

Suhteelliseksi jännitteenalenemaksi saadaan laskettua 11.4 %, joka ei ole sallituissa rajoissa. Kaapelin poikkipinta-alaa tulee suurentaa, jotta jännitteenalenema pysyy sallituissa rajoissa.

Palonaikainen resistanssin arvo 50 mm²: n kaapelille on 1.60 Ω/km. Tällöin kaapelin suhteelliseksi jännitteenalenemaksi saadaan 8.6 %.

6 Laskentatyökalujen tarkastelu

Käytännössä verkon laskenta tehdään siihen tarkoitetuilla laskentaohjelmilla, sillä kohteet ovat teollisuudessa usein niin suuria, että käsin laskenta on turhan työlästä ja liikaa aikaa vievää. Kaapelin mitoitus ja suojaus on myös olemassa Excel-pohjaisia työkaluja, mutta suurissa kohteissa myös ne ovat epäkäytännöllisiä. Useaan laskentaohjelmaan tulee ostaa lisenssi, jolla ohjelmaa voi käyttää, mutta on myös olemassa ilmaisia ohjelmia, kuten ABB:n e-Design.

6.1 e-Design

E-design on ABB:n tarjoama ilmainen sähköverkon suunnitteluohjelma, joka laskee sähköverkon ja mitoittaa automaattisesti johtimet sekä suojalaitteet. Ohjelmassa on valmiit ABB:n tuotekirjastot. Ohjelma sisältää suojalaitteiden toimintakäyrät, joiden avulla voidaan helposti tarkastella suojalaitteiden välistä selektiivisyyttä sekä suojalaitteiden toiminta-aikoja.

Ohjelmassa voi valita käytettävän mitoitusperiaatteen laskennalle ja kaapelin mitoitukselle. Standardivaihtoehdot ovat IEC (International Electrotechnical Commission), VDE (Verband der Elektrotechnik), CEI (Central European Initiative) tai NFC (Near Field Communication).

Mitoitettaessa kaapeleita tulee huomioida, että e-Design käyttää ympäristön lämpötilan oletusarvona 30 °C:ta, jolloin lämpötilasta ei aiheudu korjauskerrointa kaapelin kuormitettavuuden laskennalle. Suomessa käytettävien standardien mukaan 30 °C:n ympäristön lämpötila aiheuttaa kaapeleiden mitoitukselle korjauskertoimen 0.94 tai 0.96 riippuen kaapelin eristemateriaalista.

Kaapeleiden rajapituudet jännitteenaleneman kannalta tulee määrittää kokeilemalla eli lukitsemalla valittu kaapeli ja lisäämällä kaapelin pituutta, kunnes jännitteenalenema saavuttaa raja-arvonsa.

Moottorin käynnistyksen aikaisen jännitteenaleneman tarkastus tulee tehdä tarkastelemalla moottorin tilalla yleistä kuormaa, jolla on moottorin käynnistyksen aikaiset virran ja $\cos \varphi$:n arvot. Tarkastelu voidaan tehdä yhdelle moottorille kerrallaan, ja muut komponentit on lukittava tarkastelun ajaksi.

E-designilla saa tulostettua mitoituksesta oikosulkuvirtalaskennan sekä laskennassa käytetyt kriteerit ja hypoteesit. Verkon komponenteista saa tulostettua listat. Johdonsuojakatkaisijoiden listasta ilmenee suojalaitteen laukaisuun tarvittava pienin oikosulkuvirta. Kaapeleiden suojauksesta saa tulostettua dokumentin, josta ilmenee suojaava suojalaite sekä kaapelista mm. kaapelin mitoitusvirta, kuormitettavuus, pituus ja jännitteenalenema.

6.2 Febdok

Febdok on pienjänniteverkon mitoitukseen käytettävä laskentaohjelma, jossa on suomenkielinen käyttöliittymä. Febdok on maksullinen ja sitä myy Suomessa Sähköinfo Oy. Ohjelma tarkastaa sähköasennuksen standardin SFS 6000 mukaisesti. Ohjelmaan saa lisäosina myös Norjan, Ruotsin tai Iso-Britannian mitoitusperusteet. (Febdok 2013)

Ohjelmassa on suojalaitteille ja kaapeleille valmiit rekisterit. Valmiista rekisteristä voi valita mitoitukseen eri valmistajien oletussuojalaitteita. Rekisteristä löytyvät mm. ABB:n, Cenericin, Schneiderin, Siemensin sekä Eatonin suojalaitteita. Laitteistoa perustaessa voi valita mitoitus perusteeksi SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset:2007 tai 2012 tai SFS-käsikirja 144:2000. (Febdok 2013)

Febdok soveltuu käytettäväksi asuin-, toimisto-, teollisuus- ja liikerakennusten sekä sairaaloiden sähköasennusten laskentaan ja dokumentointiin. Ohjelmaan on olemassa maksullinen generaattori lisäosa, jolla saadaan tarkastettua ja dokumentoitua varavoimaverkon ja generaattorijakelun suojausten toteutuminen ja selektiivisyys.

Febdok ei mitoita kaapeleita automaattisesti kuormituksen perusteella. Keskukseen lisätään lähtötyyppejä, joille annetaan kuorman arvot, jonka perusteella Febdok antaa valita käyttöön soveltuvan suojalaitteen sekä kaapelin Febdokin kirjastosta. Kuormaksi voi valita moottorin, kiinteän, jaetun tai vaihtelevan kuorman tai alakeskuslähdön. Jaettuja kuormia käytetään, kun kuorma koostuu yhtä suurista kuormista, joilla on kiinteä etäisyys kytkentäpisteiden välillä esimerkiksi katuvalaistus. Vaihtelevaa kuormaa käytetään, kun ei ole tietoa kuinka suuri kuorman teho on esimerkiksi pistorasialähdöt. Taajuusmuuttajälähtöä ei ole valikoimassa.

Ohjelmalla saa tulostettua monipuoliset dokumentit ja raportit mitoituksesta kuten asennuksen pääkaavion, keskusten vikavirrat, selektiivisyysanalyysit sekä listat kaapeli, virtakisko- sekä ylivirtasuojalaitetyypeistä. Mitoituskäytännöistä käy ilmi Febdokin laskemat kaapeleiden rajapituudet jännitteenalennuksen sekä suojalaitteesta riippuen poiskytkennän sallitun ajan tai pikalaukaisun mukaan.

6.3 Intelec

Intelec on työkalu pien- ja keskijännitejakelun suunnitteluun ja hallintaan. Intelec on hollantilainen laskentaohjelma ja sen käyttöliittymän saa englanniksi. Intelec laskee kaapeleiden mitoituksen ja suojauksen IEC 60364 standardin mukaisesti. Intelec sisältää IEC standardien mukaiset tietokannat muuntajille, UPS-järjestelmille, kaapeleille, kiskoille, sulakkeille, katkaisijoille sekä CAD-symboleille. Intelec tukee eri valmistajia kuten ABB, Siemens, Draka, Weber jne. (CableNet + IEC 60364 calculations n.d.)

Intelecin CableNet lisäosa laskee jännitteenaleneman kaapelissa sekä moottorin käynnistyksen aikaisen jännitteenaleneman. Intelecillä saa tulostettua jokaisesta kaapelista kaapelikohtaiset tiedot, josta ilmenee kaapelin asennusolosuhteet, kaapelin mitoitus sekä kuormitusvirrat, kaapelin maksimipituuteen vaikuttavat laskentatulokset sekä IEC 60364 standardin taulukot, joita laskennassa on käytetty. Intelecin käyttöliittymä on monimutkainen ja epäselvä verrattuna e-Designiin tai Febdokiin. (CableNet + IEC 60364 calculations n.d.)

6.4 Neplan

Neplan on maksullinen laskentatyökalu, jolla voi analysoida, suunnitella, optimoida sekä simuloida verkkoa. Se sopii parhaiten käytettäväksi uusituvan energian järjestelmille sekä älykkään sähköverkon sovelluksille. Ohjelma analysoi verkkoa siihen saatavien erilaisten laskentamoduulien perusteella.

Neplanin kaapeleiden mitoitusmoduuli mitoittaa kaapelin tyypin ja poikkipinta-alan sekä suojalaitteen passiivisille kuormille että moottorikuormille. Kaapelin mitoitusmoduuli mitoittaa automaattisesti suojalaitteen sekä maksimipituuden valitulle kaapelille. Lisäksi moduuli laskee jännitteenaleneman kaapelille moottorin normaali-käynnissä sekä käynnistyksen aikana. (Cable sizing 2016)

Kaapelikirjastona voi käyttää Neplanin sisäistä kirjastoa tai käyttäjä voi luoda oman kirjastonsa riippuen käytettävästä kansainvälisestä standardista. Perusperiaate kaapelin mitoituksessa pysyy samana kaikissa standardeissa. Ohjelmalla voidaan tarkastaa myös jo asennetun kaapelin mitoitus. Kaapeleita Neplanilla on mahdollista mi-

toittaa eri standardien mukaan kuten IEC (International Electrotechnical Commission), VDE (Verband der Elektrotechnik), brittiläisten sekä intialaisten standardien mukaan.

Neplanissa voidaan valita oikosulkuvirtojenlaskennassa käytettäväksi standardiksi IEC 60909 2001 tai IEC 909 1998. Lisäksi on mahdollista mitoittaa ANSI:n (the American National Standard Institute) C37.10 tai C37.13 mukaan.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda ohjeistusta, kerätä standardeja sekä luoda mallilaskentaa projektitoiminnan tueksi sekä tarkastella, millä laskentatyökalulla laskentaa olisi mahdollista suorittaa ja saada tulokset dokumentoitua. Mallilaskenta luotiin tarkempaan tarkasteluun valituille lähtötyypeille.

Tuloksena syntyi kaapelin mitoituksesta ja suojauksesta standardien pohjalta koottu materiaali. Materiaalista ilmenee teoriapohja kaapelin mitoituksessa ja suojauksessa huomioon otettaville asioille sekä teorian pohjalta tehdyt mallilaskut eri lähtötyypeille.

Onnistuin luomaan lähtötyypeille laskennan, jossa tarkastellaan sitä, miten kaapelin poikkipinta-alan valinta ja rajapituus muodostuu, sekä suojalaitteiden toimintaa. Ajankäytön puitteissa laskentatyökalujen tarkastelu jäi käytännön testauksen osalta puuttumaan. Mikäli aikaa olisi ollut enemmän, olisi laskentatyökalujen käyttöön paneuduttu enemmän ja pohdittu laskentaan parhaiten soveltuvaa laskentatyökalua käytettävyyden kannalta.

Työssä käytettyjä lähteitä voidaan pitää hyvin luotettavina, sillä ne ovat standardeja tai standardien pohjalta kirjoitettuja teoksia. Nämä standardien pohjalta kirjoitetut teokset ovat pääosin Sähkö- ja teleurakoitsija liiton STUL ry:n julkaisuja. STUL omistaa Sähköinfo Oy:n, joka on yksi alan suurimpia ammattikirjallisuuden tuottajia. Sähköinfo Oy kustantaa Sähkötieto ry:n valmistamat ST-kortit. Teokset ovat siis alan ammattilaisten valmistelemia ja kirjoittamia. Opinnäytetyön lähteet painottuvat näiden yhdistysten julkaisuihin.

Standardit määrittävät jännitteenalenemalle vain suositusarvoja, mutta eivät ehdottomia vaatimuksia. Jännitteenalenema tulee tarkistaa vain, mikäli siitä erikseen sovi-taan. Mallilaskelmista käy kuitenkin ilmi, että jo 3 %:n jännitteenalenema on usein rajoittava tekijä kaapelin rajapituuden kannalta vikasuojaukseen verrattuna. Rajapi-tuutta voidaan kasvattaa paksuntamalla johtimen poikkipinta-alaa. Jännitteenalene-maan kannattaa kiinnittää huomiota mitoituksessa, jos sillä on vaikutusta sähköko-noon tai -laitteen toimintaan.

Opinnäytetyötä voidaan jatkossa hyödyntää koulutusmateriaalina sekä apuna yksit-täisten lähtöjen laskennassa. Opinnäytetyöstä löytää laskennassa käytettäviä stan-dardiarvoja sekä lämpötiloja, joissa laskenta tulee tehdä. Mallilaskuista ilmenevät myös tarvittavat lähtötiedot, jotta laskenta voidaan toteuttaa.

Kehitystoimenpiteinä voisi jatkossa tutkia ulkomaisten standardien vaikutusta lasken-taan. Suomalaiset SFS-standardit muodostuvat eurooppalaisten ja kansainvälisten standardien pohjalta. Työn lähteinä käytettiin näitä suomalaisia SFS-standardeja. Ul-komaille tehtävissä projekteissa saattaa olla vaatimus, että laskentaan tulee käyttää muita standardeja, jolloin laskennassa saattaa olla eroja. Näitä ovat esimerkiksi asen-nustavasta ja ympäristön lämpötilasta aiheutuvat korjauskertoimet.

Kehitystoimenpiteinä voisi myös tarkastella erilaisten lähtötietojen vaikutusta kaape-lin mitoitukseen ja suojaukseen. Tässä opinnäytetyössä mallinnetut laskelmat on tehty siltä pohjalta, että laskentaan tarvittavat lähtötiedot ovat tiedossa. Mallilaskuja olisi voinut muodostaa erilaisista lähtötietovaihtoehdoista pohtien, mitä arvoja käy-tetään oletuksena, jos lähtötietoja puuttuu.

Lähteet

ABB Pienjännitekojeet. N.d. ABB Oy. Pdf-dokumentti. Viitattu 27.4.2016.

https://library.e.abb.com/pub-lic/26b7051f45e4e9ccc125707300247ed9/s200_1fi05_01.pdf

ABB TTT-käsikirja. 2000. Luku 19: Sähköjohtojen mitoittaminen. Pdf-dokumentti. Opimateriaali Oulun ammattikorkeakoulun sivuilla. Viitattu 4.4.2016

http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/19_1_S%84hk%94johtojen%20mitoittaminen.pdf

ACS880-01-taajuusmuuttajat. 2015. ABB Laiteopas. Pdf-dokumentti. Viitattu 27.4.2016.

https://library.e.abb.com/pub-lic/066dcd9d748e40f78c91461e3829b6fb/FI_ACS880_01_HW_J_A5.pdf

CableNet + IEC 60364 calculations. N.d. Esittely laskentaominaisuuksista Intelec:n sivustolla. Viitattu 21.4.2016.

<https://www.intelec.nl/english/IEC-60364.shtml>

Cable sizing. 2016. Tuotokuvaus NEPLAN:in sivustolla. Viitattu 21.4.2016.

<http://www.neplan.ch/description/cable-sizing-2/>

D1 2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 20. p. Espoo: Sähköinfo Oy.

Eaton UPS mallien sähköiset arvot. 2015. Tuotemateriaali Eatonin sivustolla. Viitattu 4.4.2016.

http://lit.powerware.com/ll_download.asp?file=Eaton_UPS_OikosulkuVirtaTaulukko_rev2014.pdf&ctry=79

Electricity. 2016. Tuotokuvaus NEPLAN:in sivustolla. Viitattu 21.4.2016

<http://www.neplan.ch/neplanproduct/en-electricity/>

EMC-Sähkömagneettinen yhteensopivuus. 2016. TUKES. Viitattu 4.4.2016.

<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/EMC---sahkomagneettinen-yhteensopivuus/>

Febdok. 2013. Tuotekuvaus Sähköinfor sivustolla. Viitattu 21.4.2016.

<http://kauppa.sahkoinfo.fi/product/group/63>

Fire tests. N.d. Esittely palotesteistä Cavicelin sivustolla. Viitattu 13.5.2016.

<http://www.cavicel.com/en/fire-tests>

Harsia, P. 2006. Teollisuuden sähköverkot. Opiskeluaineisto Virtuaali ammatikorkeakoulun sivustolla. Viitattu 21.4.2016.

<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030503/1149072605519/1149073063890/1149073196168/1149073340240.html>

Hietalahti, L. 2012. Säädetty sähkömoottorikäytöt. Vantaa: Amk-kustannus Oy.

Hietalahti, L. 2013a. Sähkövoimatekniikan perusteet. Vantaa: Amk-Kustannus Oy.

Hietalahti, L. 2013b. Teollisuuden sähkökäytöt. Vantaa: Amk-Kustannus Oy.

Kahvasulakkeet. N.d. ABB Oy. Pdf-dokumentti. Viitattu 27.4.2016.

<https://library.e.abb.com/pub-lic/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/1SCC317002C1801.pdf>

Kivisaari, R. 2005. Prysmian kaapelien oikosulkukestoisuus. Jyväskylän ammattikorkeakoulun prosessisähköistyskurssin oppimateriaali. Viitattu 4.4.2016.

Korpinen, L. N.d. Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Oppimateriaali Leena Korpisen sivuilla. Viitattu 27.1.2016.

http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf

Mäkinen, M. 2009. Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset. Helsinki: Otava.

Palonkestävä johtojärjestelmä. N.d. Tuotetekninen tieto Meka Pro Oy:n sivustolla. Viitattu 14.3.2016.

<http://www.meka.eu/tuotetekninen-tieto/palonkestava-johtojarjestelma.html>

SESKO:n tehtävät ja toiminta. 2015. SESKO. PDF-dokumentti. Viitattu 4.2.2016.

http://sesko.fi/files/467/SESKO_A5_syysk15.pdf

SFS 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjänniteasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS 600-2. 2012. Sähköasennukset. Osa 2: Säädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-käsikirja 154. 2002. Jakokeskukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

ST 51.06. 2015. Palonkestävä johtojärjestelmä palon aikana toimiviksi tarkoitetuille järjestelmille. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST 52.35.02. 2010. UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST 53.45. 2015. Sulakkeeton suojaus. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähköasennustekniikka 3. 2004. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2. uud. p. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähköasennuksia koskevat standardit. N.d. SESKO. Viitattu 4.2.2016.

http://sesko.fi/standardit/standardoinnin_aihealueita/sahkoasennukset

Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. 3. uud. p. Espoo: Sähköinfo Oy.

Liitteet

Liite 1. SFS 6000 standardit

Suurimmat sallitut poiskytkentäajat

1/9

411.3.2.2 Korkeintaan 32 A suojalaitteella suojatuille ryhmäjohtoille suurimmat sallitut poiskytkentäajat on esitetty taulukossa 41.1.

Taulukko 41.1 Suurimmat sallitut poiskytkentäajat

Järjestelmä	50 V < $U_0 \leq 120$ V		120 V < $U_0 \leq 230$ V		230 V < $U_0 \leq 400$ V		$U_0 > 400$ V	
	S		S		S		S	
	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.	a.c.	d.c.
TN	0,8	Huom. 1	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	Huom. 1	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Jos TT-järjestelmässä poiskytkentä saadaan aikaan ylivirtasuojilla ja suojaava potentiaalintasaus on kytketty kaikkiin asennuksen muihin johtaviin osiin, voidaan käyttää TN-järjestelmän poiskytkentäaikoja.

U_0 on nimellinen tasa- tai vaihtojännite äärijohtimesta maahan.

HUOM. 1 Poiskytkentää voidaan tarvita muusta syystä kuin sähköiskulta suojaamiseen.

HUOM. 2 Jos poiskytkentä toteutetaan vikavirtasuojan avulla, katso kohdan 411.4.4 huomautus, kohdan 411.5.3 huomautus 4 ja kohdan 411.6.4 b) huomautus 4.

411.3.2.3 TN-järjestelmässä korkeintaan 5 s poiskytkentäaika on sallittu pääjohtoille ja piireille, joita kohta 411.3.2.2 ei koske.

Liite 1. SFS 6000 standardit

Oikosulun kestoaika ja kertoimen k arvot äärijohtimille

2/9

Enintään 5 s kestävässä oikosuluissa voidaan seuraavasta kaavasta laskea aika t , jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan. Johtimen oletetaan olevan normaalissa suurimmassa sallitussa käyttölämpötilassa ennen oikosulkua.

$$t = (k * S / I)^2$$

missä:

 t on kestoaika sekunteina S on johtimen poikkipinta (mm²) I on oikosulkuvirta (A) tehollisarvona (r.m.s.)

k on kerroin, joka ottaa huomioon johdinmateriaalin resistiivisyyden, lämpötilakertoimen ja lämmönvarauskyvyn sekä sopivat alku- ja loppulämpötilat. Äärijohtimien kertoimen k arvot normaalisti käytetyille eristemateriaaleille on annettu taulukossa 43.1.

HUOM. Yllä oleva kaava on tarkoitettu oikosulkuihin, jotka kestävät korkeintaan 5 s. Jos kaavaa käytetään pitempään kestäville oikosuluille, lopputulos on lämpenemisen kannalta turvallisella puolella, koska johdin luovuttaa lämpöä ympäristöön eikä kaikki lämpö jää johtimeen.

Jos oikosulku kestää yli 5 sekuntia ja käytetään yhteistä ylikuormitus- ja oikosulkusuojaa pitää noudattaa kohdan 435.1 vaatimuksia.

Taulukko 43.1 Kertoimen k arvot äärijohtimille

Ominaisuus/ olosuhde	Johtimen eristys							
	PVC Kestomuovi		PVC Kestomuovi 90 °C		EPR PEX Kertamuovi	Kumi 60 °C	Mineraali	
							PVC päällystämätön	Paljas päällystetty
Johtimen poikki-pinta-ala mm ²	≤ 300	> 300	≤ 300	> 300				
Alkulämpötila °C	70		90		90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali:								
Kupari	115	103	100	86	143	141	115	135 -115 ^a
Alumiini	76	68	66	57	94	93	–	–
Kuparijohtimien tinajuotetut liitokset	115	–	–	–	–	–	–	–

^a Tätä arvoa pitää käyttää kosketeltavissa oleville paljaille johtimille.

HUOM. 1 Muut kertoimen k arvot ovat harkittavana:
 – pienille johtimille (erityisesti alle 10 mm² poikkipinnoille)
 – muun tyyppisille johtimien liitoksille
 – paljaille johtimille.

HUOM. 2 Oikosulkusuojan mitoitusvirta voi olla suurempi kuin kaapelin kuormitettavuus.

HUOM. 3 Yllä olevat arvot perustuvat julkaisuun IEC 60724.

HUOM. 4 Kertoimen k laskemiseksi katso SFS 6000-5-54 liite 54A.

Liite 1. SFS 6000 standardit

Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat

3/9

523 Kuormitettavuus

523.1 Suurimman jatkuvan virran, jolla johdinta määrätyissä olosuhteissa kuormitetaan, on oltava sellainen, etteivät taulukon 52.1 erityisaineen lämpötilan raja-arvot ylitä. Virran arvo on joko valittava kohdan 523.2 mukaan tai määritettävä kohdan 523.3 mukaan.

Taulukko 52.1 Eristeaineiden suurimmat sallitut käyttölämpötilat

Eristeen laji	Lämpötilan raja-arvo ^{a,d} °C
Termoplastinen (Polyvinyylikloridi PVC)	70 johtimessa
Silloitettu polyeteeni (PEX) ja eteenipropeenikumi (EPR)	90 johtimessa ^{b,e}
Mineraali (PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa)	70 vaipassa
Mineraali (paljas, ei kosketeltavissa eikä kosketuksissa palaviin materiaaleihin)	105 vaipassa ^{b,c}
<p>^a Taulukossa 52.1 esitetyt suurimmat sallitut johtimen lämpötilat, joitten perusteella on annettu liitteessä 52A esitetyt taulukoidut kuormitettavuusarvot, ovat standardisarjojen IEC 60502 ja IEC 60702 mukaisia.</p> <p>^b Jos johtimen lämpötila on yli 70 °C, on varmistettava että johtimeen liitetty laite soveltuu tämän seurauksena liittimessä esiintyvään lämpötilaan.</p> <p>^c Mineraalieristeisille kaapeleille voidaan sallia korkeampia lämpötiloja sen mukaan kuinka hyvin kaapelit kestävät lämpöä. Sallittuihin lämpötiloihin vaikuttavat myös kaapelien liitokset, ympäristöolosuhteet ja muut ulkoisten tekijöiden vaikutukset.</p> <p>^d Sertifioiduilla johtimilla tai kaapeleilla voi olla valmistajan määrittelyjen mukainen lämpötilan raja-arvo.</p> <p>^e PEX- tai EPR-eristeisten kaapeleiden eristysmateriaali sallii kaapeleille jatkuvalla kuormituksella 90 °C johdintämpötilan. Tämä saattaa kuitenkin maa-asennuksissa johtaa kaapelia ympäröivän maan kuivumiseen ja sen lämpöresistivisyyden kasvuun, jonka seurauksena kaapeli ylikuormittuu. Tämän takia liitteen 52A suomalaisessa versiossa on PEX- tai EPR-eristeisten maahan asennettujen kaapelien kuormitettavuusarvot annettu käyttäen johtimen lämpötilaa 65 °C, jolloin kuormitettavuus vastaa PVC-eristeisten kaapelien kuormitettavuutta. Myös muissa asennuksissa voi PEX- tai EPR-eristeisen johtimen korkea johtimen lämpötila aiheuttaa vaaraa paloherkissä olosuhteissa.</p>	
<p>HUOM. 1 Taulukko ei sisällä kaikkia kaapelityyppejä.</p> <p>HUOM. 2 Tämä ei koske jakelukiskojärjestelmiä, kiskokanavajärjestelmiä ja valaisimien kosketinkiskojärjestelmiä, joiden kuormitettavuudet antaa valmistaja standardien EN 60439-2 (EN 61439-6) ja EN 61534-1 mukaisesti.</p> <p>HUOM. 3 Muuntyyppisten eristeiden lämpötilan raja-arvot annetaan kaapelin määrittelyssä tai ne antaa valmistaja.</p>	

Liite 1. SFS 6000 standardit

Taulukko B.52.2

4/9

Taulukko B.52.2 Kuormitettavuudet ampeereina asennustavoilla A, B, C ja D. PVC-eristeiset kupari- tai alumiinijohtimet, yleensä kolme kuormitettua johdinta, pienillä poikkipinnoilla myös kaksi kuormitettua johdinta. Johtimen lämpötila: 70 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C ilmassa, 15 °C maassa






Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa						
	A		B		C		D
	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitettua johdinta	kaksi kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta
1	2	3	4	5	6	7	8
Kupari							
1,5	14	15	16	17,5	18,5	20	26
2,5	19	20	21	24	25	29	35
4	24	27	29	32	34	38	46
6	31	34	36	40	43	49	57
10	41	46	49	55	60	67	77
16	55	60	66	73	80	90	100
25	72	79	85	95	102	119	130
35	88	97	105	118	126	146	160
50	105		125		153		190
70	133		158		195		240
95	159		190		236		285
120	182		218		274		325
150	208		–		317		370
185	236		–		361		420
240	278		–		427		480
300	316		–		492		550
Alumiini							
16	43		51		62		78
25	56		66		77		100
35	69		82		95		125
50	83		97		117		150
70	104		123		148		185
95	125		147		180		220
120	143		170		209		255
150	164		–		240		280
185	187		–		274		330
240	219		–		323		375
300	257		–		372		430

Liite 2. SFS 6000 standardit

Taulukko B.52.4

5/9

Taulukko B.52.4 Taulukon B.52.1 mukaisten asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereissa PVC eristeiset kuparijohtimet. Johtimen lämpötila: 70 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C

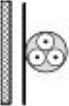
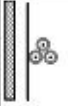
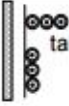

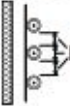
Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdin- kaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitet- tua johdinta	Kolme kuormitet- tua johdinta kolmiossa	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
				Vaakatasossa	Pystytasossa
			 tai	 D _e	 D _e
1	2	3	4	5	6
1,5	19	–	–	–	–
2,5	26	–	–	–	–
4	36	–	–	–	–
6	45	–	–	–	–
10	63	–	–	–	–
16	85	–	–	–	–
25	107	117	121	155	138
35	134	145	152	192	172
50	162	177	184	232	209
70	208	229	238	298	269
95	252	280	291	361	330
120	292	326	340	420	384
150	338	377	395	483	444
185	386	434	453	552	509
240	456	514	537	652	603
300	527	595	622	751	698
400	–	695	730	903	843
500	–	794	836	1041	975
630	–	906	959	1206	1134

Liite 1. SFS 6000 standardit

Taulukko B.52.5

6/9

Taulukko B.52.5 Taulukon B.52.1 mukaisten asennustapojen E, F ja G kuormitettavuudet ampeereina. PVC-eristeiset alumiinijohtimet. Johtimen lämpötila: 70 °C. Ympäristön lämpötila: 25 °C

Johtimen nimellinen poikkipinta mm ²	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa				
	Monijohdinkaapeli	Yksijohdinkaapeli			
	Kolme kuormitettua johdinta	Kolme kuormitettua johdinta kolmiossa	Kolme kuormitettua johdinta tasossa		
			Koskettaen	Etäisyydellä	
			Vaakatasossa	Pystytasossa	
					
1	2	3	4	5	6
16	65	–	–	–	–
25	83	89	92	119	105
35	102	111	116	147	131
50	124	136	141	179	161
70	159	176	183	230	208
95	194	215	225	281	255
120	225	251	262	326	299
150	260	290	304	377	347
185	297	334	350	431	399
240	350	397	415	511	474
300	404	460	482	590	550
400	–	558	585	711	667
500	–	647	678	821	774
630	–	754	791	954	903

Liite 1. SFS 6000 standardit

Taulukko B.52.14 ja C52.1

7/9

Taulukko B.52.14 Ilmaan asennettävien kaapelien yhteydessä käytettävät korjauskertoimet muita ympäristön lämpötiloja kuin 25 °C varten

Ympäristön lämpötila °C	Korjauskerroin johtimen eristeen ja sallitun lämpötilan mukaan	
	70 °C PVC	90 °C PEX, EPR, PVC 90 °C
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 C.52.1 Johtimien kuormitettavuuden minimiarvot erilaisilla sulakkeen nimellisvirroilla

gG tyyppisen sulakkeen nimellisvirta A	Johtimen kuormitettavuuden minimiarvo 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

Liite 1. SFS 6000 standardit

Taulukko B.52.17

8/9

Taulukko B.52.17 Korjauskertoimet ryhmille, joissa on useita piirejä tai useita kaapeleita. Korjauskertoimia käytetään taulukoiden B.52.2...B.52.8 mukaisten kuormitettavuuksien kanssa.

Koh- ta	Sijoitus (kaapelit koskettavat toisiaan)	Piirien tai monijohdinkaapelien lukumäärä												Käytetään kuormitetta- vuustaulukon kanssa
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	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	B.52.2... B.52.7 asennus- tavat A...F
2	Yhdessä kerroksessa seinällä, lattialla tai rei'ittämättömällä kaapelihyllyllä	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Ei korjauskertoimia useammalle kuin yhdeksälle piirille tai monijohdinkaap- elille			B.52.2... B.52.3 asennustapa C
3	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				B.52.4... B.52.7 asennustavat E ja F
4	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				
5	Yhdessä kerroksessa tikkailla, tuilla tai kiinnikkeillä jne.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

HUOM. 1 Nämä kertoimet soveltuvat samanlaisille ja samalla tavalla kuormitetuille kaapeliryhmille.

HUOM. 2 Jos lähellä olevien kaapelien etäisyys toisistaan vaakatasosta ylittää kaksi kertaa niiden kokonaishalkaisijan, korjauskertoimia ei tarvitse soveltaa.

HUOM. 3 Samoja kertoimia sovelletaan:

- kahden tai kolmen yksijohdinkaapelin ryhmiin
- monijohdinkaapeleihin.

HUOM. 4 Jos järjestelmään kuuluu sekä kaksi- että kolmijohtimisia kaapeleita, kaapelien kokonaislukumäärä vastaa piirien lukumäärää ja vastaavasti sovelletaan kahden kuormitetun johtimen arvoja kaksijohdinkaapeleille ja kolmen kuormitetun johtimen arvoja kolmijohdinkaapeleille.

HUOM. 5 Jos ryhmä koostuu n kappaleesta yksijohdinkaapeleita, sitä voidaan käsitellä n/2 kahden kuormitetun johtimen piirinä tai n/3 kolmen kuormitetun johtimen piirinä.

HUOM. 6 Tässä annetut arvot ovat keskiarvoja erilaisten taulukkojen B.52.2... B.52.7 mukaisten kaapelityyppien ja asennustapojen arvoista. Arvojen yleinen tarkkuus on $\pm 5\%$.

HUOM. 7 Joillekin asennuksille ja muille menetelmille, joihin yllä oleva taulukko ei ole tarkoitettu, voi olla tarpeen käyttää erityistapauksia varten laskettuja taulukkoja, ks. esim. taulukot B.52.20... B.52.21.

Liite 1. SFS 6000 standardit

Liite 52G

9/9

Liite 52G

(opastava)

Jännitteenalenema sähkökäyttäjän asennuksessa

Maksimijännitteenalenema

Jännitteenalenema liittymispisteen ja minkään kuormituspisteen välillä ei pitäisi olla suurempi kuin taulukon G.52.1 arvot verrattuna asennuksen nimellisjännitteeseen.

Taulukko G.52.1 Jännitteenalenema

Asennuksen tyyppi	Valaistus %	Muu käyttö %
A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta	3	5
B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä ^a	6	8

^a Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja.

Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100 m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % johdon 100 m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %.

Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvien osien tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja.

HUOM. 1 Suurempi jännitteenalenema voi olla hyväksyttävä:

- moottoreilla käynnistyksen aikana
- muilla laitteilla, joilla on suuri käynnistysvirta

edellyttäen kummassakin tapauksessa, että jännitteen vaihtelut säilyvät arvoissa, jotka on määritelty asianomaisissa laitestandardeissa.

HUOM. 2 Seuraavat tilapäiset tilanteet on suljettu pois

- jännitetransientit
- epänormaalin käytön aiheuttamat jännitteen vaihtelut

Liite 2. Käsikirjan D1-2012 taulukoita

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot

1/3

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

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut 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 vaaditut 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

Liite 2. Käsikirjan D1-2012 taulukoita

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot

2/3

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

Liite 2. Käsikirjan D1-2012 taulukoita

Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja johdinlämpötilassa 80°C

3/3

TAULUKKO 41.6. Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja (Ω/km) johdinlämpötilassa 80 °C.

Johtimien poikkipinta A/mm ²	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
4 × 1,5	14,620	0,115	14,620			
4 × 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

Liite 3. Kaapeliesitteet
MCMK, AMCMK

1/2

TUOTTEEN NIMI			MCMK 2x1,5/1,5 1 kV	MCMK 2x2,5/2,5 1 kV	MCMK 2x6/6 1 kV	MCMK 2x10/10 RM 1 kV	MCMK 3x1,5/1,5 1 kV	MCMK 3x2,5/2,5 1 kV	MCMK 3x6/6 1 kV	MCMK 3x10/10 RM 1 kV	MCMK 3x16/16 RM 1 kV
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)											
Valhe- ja nollijohtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	12,1	7,41	3,08	1,83	12,1	7,41	3,08	1,83	1,15
Valhejohtimen valntovirtaresistanssi (1)	johdin 70 °C	Ω/km	14,5	8,87	3,69	2,19	14,5	8,87	3,69	2,19	1,38
PE-johtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	12,1	7,41	3,08	1,83	12,1	7,41	3,08	1,83	1,15
Induktanssi valhetta kohti (1)		mH/km	0,34	0,32	0,30	0,28	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,25	0,30	0,35	0,40	0,25	0,30	0,35	0,40	0,40

TUOTTEEN NIMI			MCMK 4x1,5/1,5 1 kV	MCMK 4x2,5/2,5 1 kV	MCMK 4x6/6 1 kV	MCMK 4x10/10 RM 1 kV	MCMK 4x16/16 RM 1 kV
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)							
Valhe- ja nollijohtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	12,1	7,41	3,08	1,83	1,15
Valhejohtimen valntovirtaresistanssi (1)	johdin 70 °C	Ω/km	14,5	8,87	3,69	2,19	1,38
PE-johtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	12,1	7,41	3,08	1,83	1,15
Induktanssi valhetta kohti (1)		mH/km	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,25	0,30	0,35	0,40	0,40

TUOTTEEN NIMI			MCMK 3x25/16 AN 1 kV	MCMK 3x35/16 AN 1 kV	MCMK 3x50/25 AN 1 kV	MCMK 3x70/35 AN 1 kV	MCMK 3x95/50 AN 1 kV	MCMK 3x120/70 AN 1 kV	MCMK 3x150/70 AN 1 kV	MCMK 3x185/95 AN 1 kV	MCMK 3x240/120 AN 1 kV
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)											
Valhejohtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	0,727	0,524	0,387	0,268	0,193	0,153	0,124	0,0991	0,0754
Valhejohtimen valntovirtaresistanssi (1)	johdin 70 °C	Ω/km	0,87	0,63	0,47	0,32	0,23	0,19	0,15	0,12	0,097
PE-johtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	1,15	1,15	0,727	0,524	0,387	0,268	0,268	0,193	0,153
Induktanssi valhetta kohti (1)		mH/km	0,26	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,45	0,55	0,60	0,65	0,75	0,80	0,80	0,85	0,85

TUOTTEEN NIMI			AMCMK 4x16/10 1 kV	AMCMK 4x25/16 1 kV	AMCMK 4x35/16 AN 1 kV	AMCMK 4x50/16 AN 1 kV	AMCMK 4x70/21 AN 1 kV	AMCMK 4x95/29 AN 1 kV	AMCMK 4x120/41 AN 1 kV	AMCMK 4x150/41 AN 1 kV	AMCMK 4x185/57 AN 1 kV	AMCMK 4x240/72 AN 1 kV	AMCMK 4x300/88 AN 1 kV
SÄHKÖISIÄ ARVOJA (2)													
Valhe- ja nollijohtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	1,91	1,20	0,868	0,641	0,443	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125	0,100
Valhe- ja nollijohtimen valntovirtaresistanssi (1)	johdin 70 °C	Ω/km	2,3	1,4	1,0	0,77	0,53	0,39	0,31	0,25	0,20	0,15	0,13
PE-johtimen maks. tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	1,83	1,15	1,15	1,15	0,868	0,641	0,443	0,443	0,320	0,253	0,206
Induktanssi valhetta kohti (1)		mH/km	0,31	0,30	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Käyttökapasitanssi (1)		µF/km	0,40	0,45	0,45	0,50	0,55	0,65	0,70	0,70	0,75	0,80	0,80

Liite 3. Kaapeliesitteet

FRHF, Kuparijohtimien tasavirtaresistanssit

2/2

TUOTTEEN NIMI		FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x2,5/2,5	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x6/6	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x10/10	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x16/16	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x25/16	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x35/16	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x50/25	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x70/35	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x95/50	FIRETUF FRHF- EMC 1 kV 4x120/70	
SÄHKÖISIÄ ARVOJA												
Valhe- ja nollijohtimen maksimi tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	7,41	3,08	1,83	1,15	0,727	0,524	0,387	0,268	0,193	0,153
Valhe- ja nollijohtimen valtovirtaresistanssi (t)	johdin 70 °C	Ω/km	8,87	3,69	2,19	1,38	0,87	0,63	0,47	0,32	0,23	0,19
PE-johtimen maksimi tasavirtaresistanssi	johdin 20 °C	Ω/km	7,41	3,08	1,83	1,15	1,15	1,15	0,727	0,524	0,387	0,268
Induktanssi valhetta kohti (t)		mH/km	0,32	0,30	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26
Käyttökapasitanssi (t)		µF/km	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32	0,35	0,40	0,42	0,44

Kuparijohtimien tasavirtaresistanssi

Yksilankaistet ja kerratut IEC 60228 lk 1 ja 2

ML, MK, MK-HF, MPLM, MMJ, HHJ, MMJ-HF, FRHF, MKMJ, EKLK, EQLQ
MMO, MMO-HF, FRHF, MKMO, MCMO
MCMK, XCMK-HF, EMCMK, MCMK-O, FRHF-EMC
HXCMK, HXCHBMK

Ω/km

mm ²	20 °C	40 °C	60 °C	70 °C	90 °C
1,5	12,1	13,1	14	14,5	15,4
2,5	7,41	7,99	8,57	8,87	9,45
6	3,08	3,32	3,56	3,69	3,93
35	0,524	0,565	0,606	0,627	0,668

Liite 4. Moottorikäyttöjen kojevalintataulukko

Sulakkeellinen

1/2

Moottorikäyttöjen kojevalintataulukko

400 V, 80 kA, koordinaatio tyyppi 2, IEC 60947-4-1

Sulakkeellinen, aM

Huom! Mitoitus riittävä seuraavalle tehoportaalle 200 kW asti.



Moottorit ABB				Keskusten kojeet				Kaapeli		Turvakytkin ²⁾							
P	In / [A]	400V 50Hz / Moottorin kierr. [r/min]		Kontak- tori- tyyppi ²⁾	Lämpörele Tyyppi	Asettelualue / Moottorin kierr. [r/min]	Kytin- varoke ²⁾	Sulake OFA_ [A]	MCMK ²⁾	AMCMK ²⁾ *AXCMK	[m] ¹⁾						
[kW]	750	1000	1500	3000		750	1000	1500	3000								
0,09	0,53	-	-	-	A9	TA25DU	0,4-0,63	-	-	OS	2aM	3x1,5+1,5		OTP16T3M	OTP16T3M		
0,12	0,63	0,59	-	-			0,4-0,63	0,4-0,63	-	32 D12	2aM						
0,18	0,9	0,75	0,72	-			0,63-1,0	0,63-1,0	0,63-1,0		2aM						
0,25	1,18	0,92	0,83	0,7			1,0-1,4	0,63-1,0	0,63-1,0	0,63-1,0	2aM						
0,37	1,6	1,25	1,12	0,93			1,3-1,8	1,0-1,4	1,0-1,4	0,63-1,0	2aM		370				
0,55	2,4	1,78	1,45	1,33			1,7-2,4	1,3-1,8	1,3-1,8	1,0-1,4	2aM		270				
0,75	2,7	2,4	1,9	1,7			2,2-3,1	1,7-2,4	1,7-2,4	1,3-1,8	4aM		210				
1,1	3,35	3,3	2,55	2,4			2,8-4,0	2,8-4,0	2,2-3,1	2,2-3,1	4aM		140				
1,5	4,5	4,1	3,4	3,3			3,5-5,0	2,8-4,0	2,8-4,0	2,8-4,0	6aM	3x2,5+2,5	180				
2,2	5,9	5,4	4,8	4,5			4,5-6,5	4,5-6,5	3,5-5,0	3,5-5,0	10aM		110				
3,0	7,8	6,9	6,5	6			6,0-8,5	6,0-8,5	6,0-8,5	4,5-6,5	10aM	3x6+6	180				
4,0	10	8,7	8,6	7,4	A12		7,5-11	7,5-11	7,5-11	6,0-8,5	16aM		140				
5,5	13,4	11,9	11,1	10,5	A16		13-19	10-14	10-14	7,5-11	16aM		120				
7,5	18,1	15,4	14,8	13,9	A26		13-19	13-19	13-19	13-19	20aM	3x10+10	130	OTP25T3M	OTP25T3M		
11	25	23	22	20	A30		18-25	18-25	18-25	18-25	32aM		120				
15	29	31	29	27	A40	TA75DU	22-32	22-32	22-32	22-32	OS	40aM		80	OTP36T3M	OTP36T3M	
18,5	36	36	37	33	A50		29-42	29-42	29-42	29-42	63 D12	50aM	3x16+16	120	OTP75T3B	OTP75T3B	
22	45	43	42	40	A63		36-52	36-52	36-52	29-42		63aM		130			
30	60	59	56	53	A75	TA80-I	45-63	45-63	45-63	45-63	OS	80aM	3x35+16	160	OT90ALCC3TZ	OT90AAUC3TZ	
37	74	69	68	64	A95	-110DU	65-90	65-90	65-90	60-80	125 D12	100aM		130			
45	90	82	83	79	A110		65-90	65-90	65-90	65-90		125aM	3x70+35	3x120+41	170	OT12SELCC3TZ	OT125EAUC3TZ
55	104	101	98	95	A145	E200DU	60-200				OESA 250D3PL	160aM	3x120+70	150	OT160ELCC3TZ	OT160EAUC3TZ	
75	140	140	135	131	A185							200aM		140	OT200KLC3TZ	OT200KAUC3TZ	
90	167	163	158	152	A210	E320DU	100-320					200aM	3x185+95	2x (3x120+41)	180	OT250KLC3TZ	OT250KAUC3TZ
110	202	199	193	194	A260						OESA 400D3PL	250aM		150			
132	250	238	232	228	A300							315aM	2x (3x120+70)	2x (3x185+57)	170	OT315KLC3TZ	OT315KAUC3TZ
160	305	280	282	269	AF400	E500DU	150-500				OESA 630D3PL	355aM		2x (3x240+72)	180	OT400LCC3TZ	OT400DAUC3TZ
200	395	355	349	334	AF460							500aM	2x	*2x	150	OT630KLC3TZ	OT630KAUC3TZ
250	470	450	430	410								630aM	3x (3x185+95)	(3x300+88)	130		
315	605	565	545	510	AF580	E800DU	250-800				OESA 800D3PL	800aM	3x (3x185+95)		110		
355	680	635	610	580	AF750							800aM					

- Koordinaatio on IEC 60947-4-1 tyyppi 2, 80 kA, 400 V.

- Käynnistysajan ollessa pitempi kuin 5 s on lämpöreleen ja sulakkeen toiminta-ajat tarkistettava.

- Syöttökaapelina 22-315 kW tehoilla on AI-kaapeli, Cu-kaapelia käytetään välillä turvakytkin - moottori (n. 3 m).

A2 asennustapa E, korjauskerroin ≤ 0,65.

¹⁾ Rajapituus jännitehäviöllä $U_n \leq 3\%$ nimelliskuormalla ja $\leq 10\%$ käynnistettäessä. Mikäli matka on pitempi, on jännitehäviö tarkistettava. Kosketusjännitesuojauksen toimivuus on tarkistettava erikseen.²⁾ Mitoitus on riittävä seuraavalle tehoportaalle 200 kW asti.

Liite 4. Moottorikäyttöjen kojevalintataulukko

Sulakkeeton

2/2

Moottorikäyttöjen kojevalintataulukko

400 V, 50 kA, koordinaatio tyyppi 2, IEC 60947-4-1

Sulakkeeton

*Ylikuormitussuojaus
moottorinsuojalla tai kompaktilla*



Moottorit ABB					Keskusten kojeet				Kaapeli				Turvakytkin				
P	In / [A] 400V 50Hz / Moottorin kierr. [r/min]				Kon- taktori- tyyppi	Ylikuormitussuojan asettelualue/ Moottorin kierr. [r/min]				Katkaisija Tyyppi	Oikos. as.alue	Lau- kaisu ²⁾	MCMK	AMCMK * AXCMK	[m] ¹⁾		
[kW]	750	1000	1500	3000	750	1000	1500	3000									
0,09	0,53	-	-	-	A9	0,4-0,63	-	-	-	MS325-0.63	6	VTT	3x1,5+1,5			OTP16T3M	OTP16T3M
0,12	0,63	0,59	-	-		0,4-0,63	0,4-0,63	-	-								
0,18	0,90	0,75	0,72	-		0,63-1	0,63-1	0,63-1	-	MS325-1	11,5	11,5					
0,25	1,18	0,92	0,83	0,70		***)	0,63-1	0,63-1	0,63-1								
0,37	1,60	1,25	1,12	0,93		1-1,6	1-1,6	1-1,6	***)	MS325-1.6	15,6	18,4					
0,55	2,4	1,78	1,45	1,33		***)	***)	1-1,6	1-1,6								
0,75	2,7	2,4	1,90	1,70		***)	1,6-2,5	1,6-2,5	1,6-2,5	MS325-2.5	29	28,7			110		
1,1	3,4	3,3	2,6	2,4		2,5-4	2,5-4	2,5-4	***)	MS325-4	50	48			140		
1,5	4,5	4,1	3,4	3,3	A12	***)	***)	2,5-4	2,5-4						110		
2,2	5,9	5,4	4,8	4,5		4-6,3	4-6,3	4-6,3	4-6,3	MS325-6.3	79	94,5	3x2,5+2,5		110		
3,0	7,8	6,9	6,5	6,0	A26	6,3-9	6,3-9	6,3-9	***)	MS325-9	135	135			80		
4,0	10,0	8,7	8,6	7,4		***)	6,3-9	6,3-9	6,3-9				3x6+6		150		
5,5	13,4	11,9	11,1	10,5		***)	9-12,5	9-12,5	9-12,5	MS325-12.5	156	187,5			110		
7,5	18,1	15,4	14,8	13,9		***)	12,5-16	12,5-16	12,5-16	MS325-16	200	240			80	OTP25T3M	OTP25T3M
11	25	23	22	20	A30	20-25	20-25	20-25	20-25	MS325-25	312	375	3x10+10		120		
15	29	31	29	27		22-32	22-32	22-32	22-32	MS450-32		384			80	OTP36T3M	OTP36T3M
18,5	36	36	37	33	A40	28-40	28-40	28-40	28-40	MS450-40		480			75	OTP75T3B	OTP75T3B
22	45	43	42	40	A50	40-50	40-50	40-50	40-50	MS450-50		600	3x16+16	3x35+10	100		
30	60	59	56	53	A63	45-63	45-63	45-63	45-63	MS495-63		756	3x35+16	3x70+21	160	OT90ALCC3TZ	OT90AAUC3TZ
37	74	69	68	64	A95	57-75	57-75	57-75	57-75	MS495-75		900			130		
45	90	82	83	79		70-90	70-90	70-90	70-90	MS495-90		1080					
55	104	101	98	95	A110	80-100	80-100	80-100	80-100	MS495-100		1200	3x70+35				
75	140	140	135	131	A145	80-160	80-160	80-160	80-160	S4H160FF3MP	960-2080	1440	3x120+70	3x120+41	120	OT125ELCC3TZ	OT125EUC3TZ
															110	OT160ELCC3TZ	OT160EUC3TZ
90	167	163	158	152	A185	100-200	100-200	100-200	100-200	S4H250FF3MP200	1200-2600	1800		3x185+57	110	OT200KLCC3TZ	OT200KAUC3TZ
110	202	199	193	194	A210	160-320	160-320	160-320	160-320	S5H400FF3 MP320	1920-4160	2240	3x185+95	2x	120	OT250KLCC3TZ	OT250KAUC3TZ
132	250	238	232	228	A260	160-320	160-320	160-320	160-320			2560		(3X120+41)	150		
160	305	280	282	269	AF400	160-320	160-320	160-320	160-320			2880	2x	2x	140	OT315KLCC3TZ	OT315KAUC3TZ
													(3X120+70)	(3X185+57)			
200	395	355	349	334		315-630	315-630	315-630	315-630	S6H800FEF3MP630	3780-8190	3780		2x	160	OT400LCC3TZ	OT400AUC3TZ
														(3X240+72)			
250	470	450	430	410	AF580	315-630	315-630	315-630	315-630	S6H800FEF3MP630	3780-8190	5040	2x	*2x	140	OT630KLCC3TZ	OT630KAUC3TZ
													(3X185+95)	(3X300+88)	130		
315	605	565	545	510		315-630	315-630	315-630	315-630	S6H800FEF3MP630	3780-8190	5670	3x		110		
													(3X185+95)				

- Koordinaatio on IEC 60947-4-1 tyyppi 2, 50 kA, 400 V.
- Ylikuormitussuojaus moottorinsuojalla tai kompaktilla.
- Syöttökaapelina 30-315 kW tehoilla on Al-kaapeli, Cu-kaapelia käytetään välillä turvakytkin- moottori (n. 3 m). A2 asennustapa E, korjauskerroin ≤ 0,65.

¹⁾ Rajapitus jännitehäviöllä $U_h \leq 3\%$ nimelliskuormalla ja $\leq 10\%$ käynnistettäessä, mikäli matka on pitempi on jännitehäviö tarkistettava. Kosketusjännitesuojauksen toimivuus tarkistettava erikseen.

²⁾ Oikosulkulaukaisun arvot laskettu 1500 1/min kierrosluvun virrasta.

***) Valitse sopiva katkaisija (yleensä seuraava tai edellinen koko), tarkista kontaktorin sopivuus.