



TEKNIikka JA LIIKENNE

Sähkötekniikka

Sähkövoimatekniikka

INSINÖÖRITYÖ

NOSTURIN OIKOSULKUSUOJAUKSEN KOORDINOINTI

**Työn tekijä: Niko Sivén
Työn valvoja: leht. Jari Ijäs
Työn ohjaaja: dipl.ins. Mikko Saikkonen**

Työ hyväksytty: ____ . ____ . 2010

**Jari Ijäs
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin Konecranes Finland Oy:n Heavy duty cranesin sähkösuunnitteluosastolla.

Haluan kiittää dipl.ins. Ari Lehtistä mahdollisuudesta tehdä tämä työ yritykselle lama-aikana. Kiitokset kuuluvat myös ohjaajilleni dipl.ins. Mikko Saikkoselle ja teknikko Ari Redligille osallistumisesta työhön.

Työni valvojana on toiminut Metropolia Ammattikorkeakoulusta lehtori Jari Ijäs, jota haluan kiittää työhöni liittyvistä kommentteista sekä opetuksesta opiskeluni aikana.

Helsingissä 27.4.2010

Niko Sivén

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Niko Sivén	
Työn nimi: Nosturin oikosulkusuojausten koordinointi	
Päivämäärä: 27.4.2010	Sivumäärä: 53 s. + 8 liitettä
Koulutusohjelma: Sähkötekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Työn ohjaaja: dipl.ins. Mikko Saikkonen, Konecranes	
Työn valvoja: lehtori Jari Ijäs, Metropolia Ammattikorkeakoulu	
<p>Tässä insinööriyössä tutkittiin nosturin oikosulkusuojausten valintaperusteita pyrkimällä ottamaan huomioon tuntemattomat ja tunnetut tilanteet. Tuntemattomille tilanteille pyrittiin valitsemaan yleispätevä oikosulkukestoisuus ja tunnetuille tilanteille esittää optimointi mahdollisuuksia. Tutkimuksen kohteena olivat kompaktikatkaisijat ja niiden avulla tehdyt mitoitukset käyttäen hyväksi kaskadikytkentöjä, joka on osa ylivirtasuojausten ylivirtasuojauskoordinaatiota. Kaskadikytkentöjen lisäksi tarkisteltiin, miten helposti on selektiivisyyskoordinaatiot saavutettavissa yhdessä kaskadikytkennän kanssa, ja voiko sulakkeita käyttää yhdessä katkaisijoiden kanssa.</p> <p>Työn alussa on esitelty standardien vaatimuksia ja perehdytty oikosulkuvirtojen laskentaan, ja miten niiden avulla voidaan tarkastella piirille kohdistuvia haittavaikutuksia. Teorian yhteydessä käsitellään myös suojalaitteina toimivat kompaktikatkaisijat, runkoineen ja suojaroleineen, ja niiden toimintaa vikatilanteissa. Termien ymmärtäminen on ehdotonta suojalaitteiden toiminnan ja käytön ymmärtämisen kannalta. Tästä johtuen työssä selvitetiin tärkeimpien termien selitykset liittyen mitoituksiin, datalehtiin ja standardeihin.</p> <p>Lopuksi käsiteltiin kaskadikytkennän ja selektiivisyyden ehtoja ja toteutusta, sekä tehtiin yleiskatsaus sulakkeista. Suunnitteluesimerkissä käsiteltiin kaskadikytkennän käyttöä suunnittelussa ja miten tutkia selektiivisyysehtojen täyttymistä. Suunnitteluesimerkki toteutettiin käyttäen Schneider Electricin Compact NSX-kompaktikatkaisijoilla ja GV-moottorisuojakytkimillä.</p> <p>Johtopäätöksessä verrattiin varasuojauksia ja selektiivisyyttä suunnittelussa. Varasuojauksen ja selektiivisyyden koordinaatioiden etuja ja haittoja ja sulakkeen roolia suunnittelussa käsiteltiin vielä erillisinä yhteenvetoina.</p>	
Avainsanat: oikosulkusuojaus, koordinaatio, kaskadikytkentä, selektiivisyys, katkaisija	

ABSTRACT

Name: Niko Sivén	
Title: Co-Ordination of Short-Circuit Protection Devices for Cranes	
Date: 27 April 2010	Number of pages: 53 + 8 appendixes
Department: Electrical Engineering	Study Programme: Electrical Power Engineering
Supervisor: Mikko Saikkonen, M.Sc. (eng.), Konecranes	
Instructor: Jari Ijäs, Senior Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences	
<p>The purpose of this thesis is to investigate the selection and measurement of short-circuit protection devices for cranes. This was done by considering both known and unknown short-circuit situations. For the unknown short-circuit situations, the aim of this study was to find a short-circuit rating which would cover the basic cases. On the other hand, for the known short-circuit situations the aim was to produce optimisation possibilities. To achieve these goals, inspections were made by using cascading which is part of over-current protective co-ordination of over-current protective devices. This thesis also looks at how easy it is to achieve selectivity with cascading and how to use fuses with circuit-breakers.</p> <p>This study begins with an introduction to the standards and calculations of short-circuit currents and how these can be used to inspect damage caused by short-circuit. This work also provides a general introduction on circuit-breaker's frames and trip-units and how those operate in short-circuit situations. Understanding the central terms is imperative for understanding the operation and usage of protection devices. This is why important terms used for measurements, datasheets and standards are explained in this study.</p> <p>Finally, the work discusses the usage and criteria for both cascading and selectivity and provides an overview on fuses. The designing example shows how to use cascading in real designing and how to determine whether the designed circuit operates as selective. The example was made by using Schneider Electric Compact NSX circuit-breakers and GV motor circuit-breakers.</p> <p>In the conclusion there is a comparison between back-up protection and selectivity. Based on the findings of this study, pros and cons of back-up protection, selectivity and the role of fuses are discussed in separate summaries.</p>	
Keywords: short-circuit protection, co-ordination, cascading, selectivity, circuit-breaker	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	SUOJIEN KOORDINAATIO SÄHKÖSUUNNITTELUSTA	1
3	OIKOSULUT JA SUOJAUKSET	3
3.1	Virtojen termit	3
3.1.1	<i>Nimellisvirrat</i>	3
3.1.2	<i>Katkaisukykyvirrat</i>	4
3.2	Oikosulkusuojusta	5
3.2.1	<i>Katkaisijat</i>	6
3.2.2	<i>Suojareleet</i>	7
3.2.3	<i>Ylivirran katkaisu</i>	11
3.3	Oikosulun luonne	11
3.4	Oikosulkuvirtojen laskeminen	12
3.4.1	<i>Jännitekerroin c</i>	13
3.4.2	<i>Oikosulun huippuarvo</i>	13
3.5	Oikosulun vaikutukset	15
3.5.1	<i>Sähködynaamiset vaikutukset</i>	16
3.5.2	<i>Termiset vaikutukset</i>	17
3.5.3	<i>Lämpötilan vaikutus katkaisijan nimellisvirtaan</i>	18
4	STANDARDIEN VAATIMUKSET	18
4.1	Laitteiston suojaaminen	19
4.2	Nosturin katkaisija	20
4.3	Laitteiston oikosulkuvirran merkintä	21
5	VARASUOJAUKSEN KOORDINAATIO	21
5.1	Varasuojauksen periaate	21
5.2	Valmistajien ohjeistukset	24
5.2.1	<i>Taulukoiden tulkinta</i>	24
5.2.2	<i>Kuvaajien tulkinta</i>	25
5.3	Kaskadikytkentä mitoituksessa	27
5.3.1	<i>Kaskadikytkennän muodostaminen</i>	27
5.3.2	<i>Katkaisukyvyyn valitseminen kaskadikytkennällä</i>	28
6	SELEKTIIVISYYS	31

6.1	Selektiivisyyden periaate	32
6.2	Selektiivisyys mitoituksessa	33
6.2.1	<i>Vahvistettu selektiivisyys</i>	34
6.2.2	<i>Selektiivisyyden esimerkki</i>	34
7	SUUNNITTELUESIMERKKI	36
7.1	Valaistus- ja lämmityspiirin mitoitus	36
7.2	Magneetin mitoitus	39
7.3	Pääpiirin mitoitus	40
8	SULAKE VIRRAN RAJOITUKSESSA	42
8.1	Sulakkeen toiminta	43
8.2	Virranrajoitus	44
8.3	Sulake ja katkaisija	46
8.4	Sulake suojiin valinnassa	47
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	48
	LÄHTEET	52
	LIITTEET	

Liite 1. 400/440 V:n NSX- ja NS-rajoituskäyrät

Liite 2. 400/415 V:n GV2-ME/P rajoituskäyrät

Liite 3. Kaskaditaulukot NSX ja GV

Liite 4. NSX ja GV selektiivisyys

Liite 5. Vahvistettu selektiivisyys NSX630

Liite 6. 1-tiekaavion esimerkki

Liite 7. OFAA gG:n rajoituskäyrät

Liite 8. Katkaisijan ja sulakkeen vertailu

1 JOHDANTO

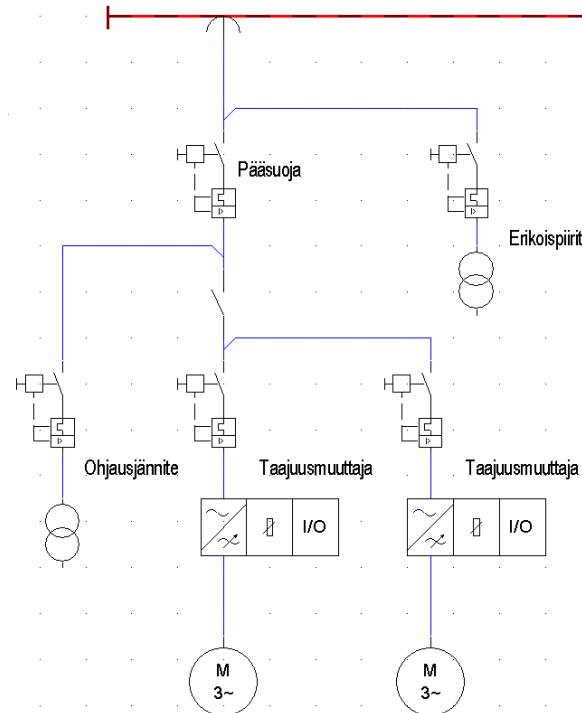
Tässä insinööriyössä käsitellään nosturin oikosulkusuojausta. Työ käsittää oikosulkusuojina toimivien kompaktikatkaisijoiden välisten koordinaatioiden vertailua ja mitoitusetunnetuilla ja tuntemattomilla oikosulkuvirroilla. Vertailun avulla pyritään tutkimaan koordinaatioiden käyttöä ja toimintaa suunnittelussa. Vertailu tehdään suunnitteluesimerkin pohjalta. Ymmärtääkseen koordinaatioita ja oikosulkusuojien toimintaa käydään läpi myös oikosulkuvirtojen laskentaa ja oikosulun vaikutuksia kytkennöissä.

Tämä insinööriyö tehtiin Konecranes Finland Oy Heavy Duty Cranesin sähkösuunnitteluosastossa. KCI Konecranes International perustettiin vuonna 1994, kun KONE Oy:n rakenneuudistuksessa alkoi KONEen nosturidivisioonana KONE Cranes toimia itsenäisenä. Vuonna 2009 Konecranes oli yksi maailman suurimmista nosturivalmistajista ja suurin nosturihuoltoyhtiö, jonka liikevaihto oli 1 671,3 miljoonaa euroa. /1./

Tuotteisiin kuuluvat teollisuusnosturit, joita ovat standardinostolaitteet, prosessinostolaitteet sekä manipulaattorit. Nostolaitteita toimitetaan eri teollisuuden sovelluksiin kuten voimalaitoksiin, paperitehtaille ja satamiin. Nosturien valmistuksen lisäksi tarjotaan kunnossapitopalveluita, joihin kuuluvat esimerkiksi ennakoiva kunnossapito, päivityshuoltokäynnit ja modernisoinnit.

2 SUOJIEN KOORDINAATIO SÄHKÖSUUNNITTELUSTA

Suojaamisessa ylivirtoja vastaan käytetään ylivirtasuojia. Ylivirtasuojat voivat olla esimerkiksi sulakkeita, releitä tai kompaktikatkaisijoita. Jokaisella suojaustavalla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Tässä työssä keskitytään kompaktikatkaisijoiden välisiin koordinaatioihin, mutta myös sulakkeiden avulla toteutettuja suojauksia käsitellään.



Kuva 1. Nosturin 1-tiekaavio

Nosturin suojauskohteet ja suojien sijoittelua voidaan esittää 1-tiekaaviolla. Yksinkertaistetusta nosturin 1-tiekaaviosta on eroteltavissa sen tärkeimmät osat

- pääsuoja, jonka takana sijaitsevat taajuusmuuttajat suojiineen ja moottoreineen sekä ohjauspiirin muuntaja suojiineen
- erikoispiirin haara (mahdollisesti haaroja), jossa valaistus- ja lämmityspiiri ja sen muuntaja suojiineen.

Suojiin välisissä koordinaatioissa pyritään suojiin löytämään optimaalisia ratkaisuja eri kytkentöihin. Optimaalisessa kytkennässä huomioidaan

- vikatilanteet
- kustannustehokkuus
- määräyksien vaatimukset.

Nosturin sähköistyksissä on suoja niin rinnan kuin sarjassa (kuva 1). Koordinaatioiden tarkastelut suojiin välillä suoritetaan aina sarjassa olevien komponenttien kesken. Koordinaatiot perustuvat suojalaitteiden ominaisuuksien hyväksikäyttöön. Komponenttien välisten koordinaatioiden yhteensopiavuudet ovat komponenttivalmistajien testeillä varmistettuja. Koordinaatiot vaativat aina tiettyjen ehtojen täyttymisen kytkennältä.

Suojien välisestä koordinaatiosta käytetään standardeissa yleisesti nimitystä ylivirtasuojien ylivirtasuojauskoordinaatio. Ylivirtasuojauskoordinaatiossa voidaan pyrkiä täysin selektiivisiin järjestelmiin. Selektiivisessä järjestelmässä pyritään vikatilanteen aikana säilyttämään mahdollisimman suuri osa piiristä toimintakykyisenä. Vaihtoehtoisesti voidaan pyrkiä suojaukseen, jossa suojat avustavat toisiaan toiminnallaan vikatilanteissa eli varasuojaukseen. Varasuojauksessa avustetaan etummaisien suojan avulla jälkimmäistä suojaa toimimaan suuremmilla oikosulkuvirroilla, kuin jälkimmäinen suoja pystyisi katkaisemaan.

Ymmärtääkseen tarkemmin, miksi ja miten koordinaatioita hyödynnetään mitoitukselta, tulee tuntea ylivirtasuojien toimintaa, oikosulkulaskentaa ja mitä oikosulut aiheuttavat piirissä. Olennaisena osana suunnittelua on myös tarkastella standardien vaatimuksia.

3 OIKOSULUT JA SUOJAUKSET

3.1 Virtojen termit

Katkaisijoiden datalehdillä ja suunnittelussakin käytettyjen virtojen termit on standardoitu SFS-EN 60947-1 ja IEC 60947-2 standardeissa. Sulakkeiden vastaava standardi on SFS-EN 60269-1.

3.1.1 Nimellisvirrat

Nimellisvirrat termi käsittää tässä työssä komponentin normaalikäytössä lämpimenevän virran ja nimellisen oikosulkuvirran eli prospektiivisen oikosulkuvirran. Nimellisvirran kohdalla on myös huomioitava, että tilanteesta riippuen voi kyseessä olla katkaisijan nimellisvirta tai suojaraleen nimellisvirta.

Komponentin nimellisvirta I_N on virran arvo, joka voi kulkea komponentin lävitse jatkuvasti aiheuttamatta liikaa lämpenemistä. Katkaisijoiden nimellisvirtojen arvot ovat pääasiassa ilmoitettu ympäristön lämpötilan ollessa 40 °C. /3, s. 8./

Prospektiivinen oikosulkuvirta I_{sc} on virta, joka kulkisi piirissä, jossa kytkinlaitteet, katkaisijat tai sulakkeet eivät rajoittaisi piirissä kulkevaa virtaa. I_{sc} ilmoitetaan symmetrisen oikosulkutilanteen tehollisarvona. Symmetrisestä oikosulkuvirrasta käytetään kaavoissa merkintää I_k'' , josta standardeissa käytetään nimitystä *nimellinen oikosulkuvirta*. Prospektiivisesta oikosulkuvirrasta

lasketusta oikosulkuvirran huippuarvosta käytetään merkintää i_p (ks. 3.4.2).
/4, s. G-3; 5, s. 180./

3.1.2 *Katkaisukykyvirrat*

Katkaisijoille ilmoitetaan kolme eri katkaisukykyyn liittyvää virran arvoa, jotka ovat standardisoituja:

- äärimmäinen katkaisukyky I_{cu} , *the rated ultimate short-circuit breaking capacity*
- käyttökatkaisukyky I_{cs} , *the rated service short-circuit breaking capacity*
- lyhytaikainen terminen kestovirta I_{cw} , *the rated short-time withstand current*.

IEC 60947-2 edellyttää komponenttien valmistajat ilmoittamaan datalehdillä I_{cu} ja I_{cs} -arvot. I_{cw} :n arvo ilmoitetaan datalehdillä aina B-kategorian katkaisijoille ja osalle suuremmista A-kategorian katkaisijoista (ks. 3.2.1). Virtojen arvot ilmoitetaan katkaisijoiden nimellisjännitteiden ja taajuuksien arvoilla.

I_{cu}

I_{cu} ilmaisee suurinta oikosulkuvirran tehollisarvoa kiloampeereissa, jonka katkaisija pystyy katkaisemaan turvallisesti. Komponenttien valmistajat on ohjeistettu määrittämään sen katkaisijalle seuraavanlaisen testisyklin avulla:

avaus - tauko - sulkeminen ja avaaminen.

Oikosulkutestin jälkeen vaatimuksena on, että piirin on oltava täysin eristetty. Katkaisijan ei tarvitse olla enää toimintakykyinen. I_{cu} :n tarkoitus on taata henkilöturvallisuus. /6, s. 19; 4, s. G-4./

I_{cs}

I_{cs} ilmaisee suurinta oikosulkuvirran arvoa nimellisjännitteillä U_e , jonka suoja pystyy katkaisemaan vikaantumatta. IEC:n vaatima testisykli katkaisijalle on seuraavanlainen:

avaus - tauko - sulku ja avaus - tauko - sulku ja avaus.

Testin jälkeen katkaisijan vaaditaan vielä kestäämään nimellisvirran katkaisemisen 25 - 75 kertaa katkaisijan nimellisvirran suuruudesta riippuen /6, s. 19 - 20, 32, 58/.

Komponenttien valmistajat ilmoittamat I_{cs} :n laskemalla sen I_{cu} :n arvosta IEC 60947-2 taulukon 1 prosenttien mukaisesti pyöristäen lähimpään kokonaislukuun. Vaihtoehtoinen merkintätapa on ilmoittaa I_{cs} suoraan IEC 60947-2 taulukon 1 prosentteina I_{cu} :n arvosta. /6, s. 20./

I_{cw}

I_{cw} ilmaisee tietyn ajanhetken katkaisijan läpi kulkevaa suurinta sallittua tehollista oikosulkuvirtaa kA:na, joka ei aiheuta katkaisijan ominaisuuksien muuttumista /7, s. 9/. Datalehdillä I_{cw} :lle voidaan antaa useampi oikosulkuvirran arvo eri aikakestoisuuksilla.

Datalehdillä I_{cw} :lle annettuja kestoisuuksia ovat esimerkiksi 0,5, 1 ja 3 sekunnin kestoisuudet. I_{cw} :n arvo lasketaan tehollisvirran keskiarvosta ilmoitetulla aikavälillä ja keskiarvon takia I_{cw} :n arvo tarkentuu, kun tarkasteltavaa aikaväliä kasvatetaan. Esimerkiksi I_{cw} :n arvo 3 sekunnin tarkkuudella ilmoitettuna antaa 9 kertaa tarkemman termisenrasituksen arvon, kuin vastaava I_{cw} :n 1 sekunnin arvo. Arvon tarkentuminen johtuu tasavirtakomponentin pienenemisestä oikosulun jatkuessa ja tehollisvirran keskiarvon pienenemisestä (ks. 3.3). /7, s. 9./

3.2 Oikosulkusuojista

Yleisiä oikosulkusuojia pienjännitteillä ovat sulakkeet ja katkaisijat. Konecranesin nostureissa käytetään yleisimmin Schneiderin kompaktikatkaisijoita, joten tässä työssä keskitytään pääasiassa niiden ominaisuuksiin.

Oikosulkusuojaa käytetään nimensä mukaisesti oikosulkuvirtoja vastaan suojaamiseen. Sulakkeilla katkaisut tapahtuvat samalla tavalla jokaisessa vikatilanteessa eli sulakeliuskan sulamisella (ks. 8.1). Katkaisijoilla katkaisu tapahtuu eri tavalla riippuen vikavirran suuruudesta. Oikosulkuvirtojen katkaisut jaetaan

- suojareleen oikosulkusuojaukseen
- katkaisijan rungon aiheuttamaan pikalaukaisuun.

Suojareleen kohdalla on joillakin suojareleillä mahdollista säätää oikosulkusuojauksen laukaisun arvoa nähden suojareleen nimellisvirtaan. Katkaisijan rungon aiheuttama pikalaukaisu tapahtuu oikosulkuvirran ylittäessä rungon nimellisvirran 25-kertaisesti eikä sitä pysty muuttamaan. Suurien

oikosulkuvirtojen takia pikalaukaisussa katkaisujen tulee toimia mahdollisimman nopeasti vahinkojen välttämiseksi, mutta suojaareleen kohdalla pienemmillä oikosulkuvirroilla katkaisuja viivästytetään.

Oikosulkusuojia voidaan käyttää myös ylikuormitukselta suojaamiseen, mikäli käytetään esimerkiksi gG-sulaketta tai katkaisijan suojaareleessa on mahdolliset asetteluarvot myös ylikuormitusvirroille.

3.2.1 Katkaisijat

Schneiderin Compact NSX -kompaktikatkaisijat kuuluvat eristysluokka kahteen eli niitä ei ole maadoitettu, ja tästä syystä niiden eristävyttä on vahvistettu johtavien osien ympärillä vahinkojen välttämiseksi. Kompaktikatkaisijat täyttävät yleensä pääkytkinvaatimukset, mutta pienemmillä rungoilla tulee soveltuvuus kuitenkin varmistaa komponentin datalehdiltä.

Schneiderin katkaisijoiden nimitunnus koostuu tyyppistä, nimellisvirrasta ja oikosulkukatkaisukyvyistä. Tyyppinimen ensimmäinen osa kertoo tuoteperheen, toinen nimellisvirran ja kolmas katkaisukyvyyn. Compact NSX -katkaisijoiden nimellisvirrat ovat 100, 160, 250, 400 ja 630 A, ja runkokoot ovat B, F, N, H, S ja L. Tällöin esimerkiksi 250 A nimellisvirran arvolla oleva F-rungollisen katkaisijan nimi on NSX250F.

Taulukko 1. NSX:n nimellisvirrat ja runkokoot

Katkaisija	Runkokoot ja katkaisukyvyt [kA]					
	B [25]	F [36]	N [50]	H [70]	S [100]	L [150]
NSX100	x	x	x	x	x	X
NSX160	x	x	x	x	x	X
NSX250	x	x	x	x	x	X
NSX400		x	x	x	x	X
NSX630		x	x	x	x	X

NSX-tuoteperhe korvaa vanhemman NS-tuoteperheen, johon kuuluvat nykyisin yli 630 A:n katkaisijat. Tässä työssä ei listata 100 - 630 A:n NS-katkaisijoita. Niiden kohdalla on kuitenkin huomattava, että runkokokojen katkaisukyvyt muuttuvat NS:n osalta eri nimellisvirtojen arvoilla. Runkokokojen on myös vähemmän.

Katkaisijat jaotellaan kahteen ryhmään selektiivisyyskategoriansa perusteella. Kategoriat katkaisijoilla tarkoittavat niiden soveltumista selektiiviseen toimintaan.

Selektiivisyyskategoriat

IEC 60947-2:ssa on määritelty selektiivisyyskategoriat, joita käytetään katkaisijoiden yhteydessä. Selektiivisyyskategorialla tarkoitetaan, onko kyseessä oleva katkaisija tarkoitettu selektiiviseksi toisten kuorman puolella olevien katkaisijoiden kanssa oikosulku- ja ylikuormitustilanteissa. Katkaisijan selektiivisyyskategoria ilmoitetaan katkaisijan datalehdellä. Selektiivisyyskategorista käytetään datalehdillä myös nimitystä käyttöluokka eli *utilisation category*.

Jaottelu menee yleensä 630 A:n kohdalla. 630 A:n ja pienemmät katkaisijat ovat tyypillisesti A-kategorian katkaisijoita, ja yli 630 A:n katkaisijat ovat tyypillisesti B-kategorian katkaisijoita.

Taulukko 2. Selektiivisyyskategoriat /6, s. 21/ (käännös tekijän)

Kategoria	Kategorian kuvaus
A	Katkaisija, jota ei ole varta vasten suunniteltu toimimaan yhdessä toisten katkaisijoiden kanssa kuorman puoleisissa oikosulkutilanteissa. Katgoria A:lla ei ole suunniteltua hidastusta laukaisussa eli toisin sanoen katgoria A:lla ei ole ylintä sallittua hetkellisvirtaa I_{cw} :tä.
B	Katkaisija, joka on suunniteltu toimimaan selektiivisesti toisten kuorman puolella olevien katkaisijoiden kanssa. Kategorialle B ilmoitetaan hidastukset aukeamisissa eli ylimmän sallitun hetkellisvirran I_{cw} :n arvot katkaisijan datalehdellä. Selektiivisyyttä ei ole kuitenkaan taattu äärimmäiseen katkaisukyvyyn I_{CU} arvoon asti, mutta kuitenkin vähintään IEC 60947-2 taulukon 3 mukaisesti.

Kategorioiden ero tulee katkaisijan läpi pääsevän energian kestämisestä. B-kategorian katkaisijoilla ja osalla suuremmista A-kategorian katkaisijoilla termisen rasituksen maksimikestoisuutta eri ajoilla ilmoitetaan I_{cw} :n avulla (ks. 3.1.2). (Taulukko 2.)

Suuri I_{cw} :n arvo katkaisijalla antaa katkaisijalle enemmän mahdollisuuksia toimia aikaselektiivisesti. Tästä syystä katkaisijat, joilla on suuri I_{cw} :n kestoisuuden arvo, ovat yleensä kategorian B katkaisijoita. Kategorian B kohdalla tulee kuitenkin huomioida, että katkaisijan jälkeisten kojeistojen on myös kestävä kyseinen I_{cw} :n arvo, jos I^2t -hidastusta käytetään (ks. 3.2.2).

3.2.2 Suojareleet

Ylikuormitus- ja oikosulkuvirran katkaisuarvoa voidaan säädellä suojareleillä, jotka asennetaan katkaisijoiden runkoihin. Suojareleiden avulla muutetaan

katkaisijan katkaisuoimaisuuksia tietyillä virran arvoilla. Katkaisuun liittyvät asetukset voivat olla suojareleestä riippuen joko kiinteitä arvoja tai säädettäviä.

Suojareleitä on elektronisina ja termo-magneettisina versioina. Esimerkiksi Schneiderin suojareleet normaaliin sähkönjakeluun ovat NSX:lle termo-magneettiset TM-D- ja elektroniset Micrologic-suojareleet. Ominaisuuksiltaan molemmat toimivat oikosulku- ja ylikuormitussuojauksina, mutta moottorilähtöjä varten tarkoitetut elektroniset Micrologicit toimivat myös vaihevikasuojina. Termo-magneettisiin suojareleisiin kuuluu myös TM-A-suojarele oikosulkusuojaukseen, ja TM-G-suojarele generaattorien suojaamiseen. /4, s. A-14 - A-15./

Suurin ero elektronisen ja termo-magneettisen suojareleen välillä tulee asetteluarvojen säätömahdollisuuksista. Taulukossa 3 nimellisvirralla I_N tarkoitetaan suojareleen nimellisvirran arvoa.

Taulukko 3. Suojareleiden säätömahdollisuudet

Suojarele	Suojaukset			Aikahidastukset		
	I_r	I_m, I_{sd}	I_i	t_r	t_m, t_{sd}	t_i
TMD 16 - 160	$\sim 0,7 - 1 * I_N$	Kiinteä	-	Kiinteä	Kiinteä	-
TMD 200 - 250	$\sim 0,7 - 1 * I_N$	$5 - 10 * I_N$	-	Kiinteä	Kiinteä	Kiinteä
MicroL. 2	$\sim 0,4 - 1 * I_N$	$1,5 - 10 * I_r$	Kiinteä	Kiinteä	Kiinteä	Kiinteä
MicroL. 5 - 6	$\sim 0,4 - 1 * I_N$	$1,5 - 10 * I_r$	huom!*	Säädettävä	Säädettävä*	Kiinteä
HUOM! I_i M.L. 6	Asettelu	Säätö	* t_{sd} M.L. 6			
40...160 A	$1,5 - 15 * I_N$	$0,5 * I_N$	Mahdollisuus I^2t -hidastukseen			
250...400 A	$1,5 - 12 * I_N$	$0,5 * I_N$				
630 A	$1,5 - 11 * I_N$	$0,5 * I_N$				

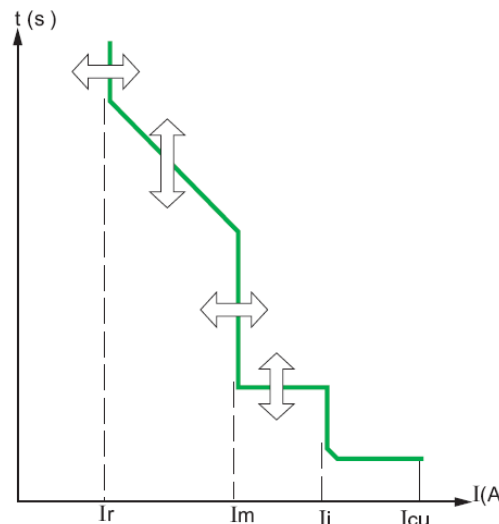
Taulukko 3 on suuntaa antava säätöjen mahdollisuuksista eri suojareleillä. Todellisuudessa säätömahdollisuudet poikkeavat toisistaan eri suojareleillä. Esimerkiksi termo-magneettisilla suojareleillä ylikuormitussuojauksen säätömahdollisuudet ovat kiinteitä arvoja, joiden skaala liikkuu tietyllä relekohtaisella välillä (taulukko 3). Elektronisilla suojareleillä ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen säätömahdollisuudet liikkuvat suuremmalla skaalalla, eivätkä ne ole kiinteitä arvoja. Lisä erona termo-magneettisiin tulee ylikuormituksen tarkkuussäädössä, jota voidaan säätää 1 A:n tarkkuudella alaspäin kalliimilla releillä. /4, s. A-16 - A-19./

Micrologic 5 ja 6:ssa on myös mahdollisuus asettaa I^2t -hidastus, joka ilmoitetaan datalehdillä I_{cw} :nä. I^2t -hidastuksessa katkaisija päästää lävitseen pienillä oikosulkuvirran arvoilla tietyn energiamäärän ennen katkaisua. Tämä tulee ottaa huomioon jälkimmäisten kojeistojen kohdalla. /4, s. A-18 - A-19./

Säätömahdollisuudet taulukoidaan katalogeihin. Tarkempi tarkastelu suoja-releiden laukaisuista ja laukaisuihin kuluvista ajoista, sekä niiden säätömahdollisuuksia kuvataan katalogeissa IDMTL-kuvaajien avulla.

IDMTL-kuvaajat

Komponenttivalmistajat tekevät suoja-releille niin sanotut IDMTL-kuvaajat (kuva 2), joiden avulla nähdään virran katkaisuun kuluva aika eri virran arvoilla ja myös mahdolliset säätöarvojen toleranssit.



Kuva 2. IDMTL-kuvaaja /8, s. H14./

Kuva 2 nähdään suoja-releen asettelut:

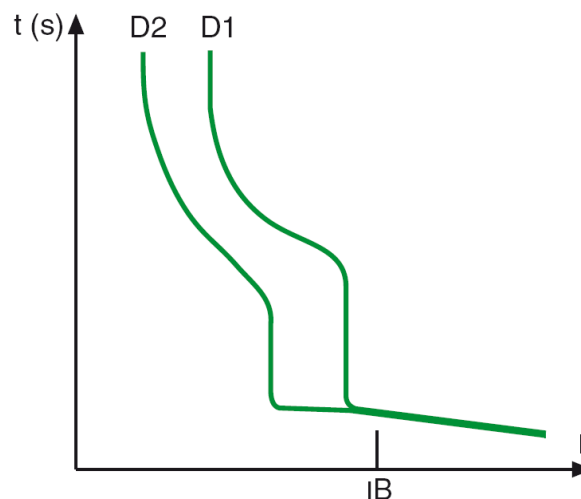
- I_r , ylikuormituksen laukaisu asetus
- I_m tai I_{sd} oikosulkusuojauksen asetteluarvo, *short-time threshold*
- I_i välitön katkaisu, *instantaneous threshold* (vain elektroniset suoja-releet)
- I_{cu} äärimmäinen katkaisukyky. /3, s. 9./

Pystysuorat nuolet kuvaavat tietyllä virta välillä olevan aikahidastuksen muuttamista. I_r ja I_m välisellä alueella nähdään, että kuvaajan suora on aleneva (kuva 2). Tällöin virran arvon kasvaessa kohti I_m :ää laukaisuun kuluva aika pienenee. Virran arvon ollessa I_m ja I_i välisellä alueella laukaisu

tapahtuu samalla ajan hetkellä. Vaakasuorat nuolet kuvaavat mahdollista laukaisuvirran säätömahdollisuutta.

IDMTL-kuvaajat päättyvät virran arvoon, jossa virranrajoitus alkaa. Tämä piste on I_i tai I_m :n jälkeen ja siinä on merkintä " <10 ms". Kuvasta 6 huolimatta ei I_{cu} :n arvoa IDMTL-kuvaajissa näytetä, koska se on katkaisijan rungon suurin katkaisukyky ja samaa suojarelettä voidaan käyttää saman katkaisijan kuudella eri rungolla, jolloin I_{cu} :n arvo muuttuu.

IDMTL-kuvaajien merkitys suunnittelun yhteydessä korostuu, kun tarkastellaan kytkennän selektiivisyyttä. Hakemalla kahdelle suojareleelle sopivat asettelu arvot niin, etteivät IDMTL-kuvaajien viivat mene toistensa päälle saadaan aikaan selektiivisyys. Tällöin sen suojan kuvaaja, joka on lähempänä akseleita, toimii ennen toista. Kuvaajien mennessä toistensa päälle kahden suojan IDMTL-kuvaajien leikkauspisteen I_B virtakoordinaatissa selektiivisyys menetetään ja molemmat suojat laukeavat. (Kuva 3.)



Kuva 3. IDMTL-kuvaajien avulla tarkasteltu selektiivisyys /3, s. 14/

Selektiivisyyden tarkastelu IDMTL-kuvaajilla pätee vain suojareleen laukaisun alueella. Pikalaukaisussa selektiivisyys ei välttämättä enää toimi ja tällöin joudutaan vertailemaan katkaisijoiden runkokokoja. Helpointen selektiivisyys on NSX:iien kohdalla todennettavissa suojareleiden asetteluarvoilla ja katkaisijoiden runkoko'oilla. Peräkkäisten suojiin asetteluarvojen ja runkojen suhteiden tulee täyttää selektiivisyys ehdot, jolloin selektiivisyyden raja-arvot ovat varmistettavissa Schneiderin taulukoista (ks. 6.3). (Ks. tarkempi kuvaus selektiivisyydestä ja sen käyttämisestä suunnittelussa, 6 Selektiivisyys.)

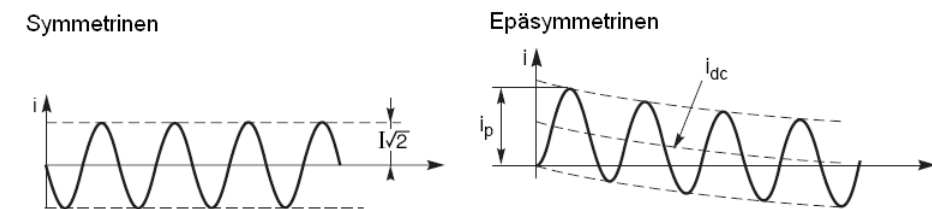
3.2.3 Ylivirran katkaisu

Suojareleet katkaisevat piirin oikosulkuvirran kohdalla, kun virta kasvaa $\pm 20\%$:n alueelle asetetusta katkaisuvirrasta. Ylikuormitussuojaus toimii noin $\pm 10\%$:n tarkkuudella asetusarvosta. Prosentit ovat IEC:n määrittämiä tarkkuusrajoja, joiden sisällä katkaisijan vaaditaan toimivan osoitetulla tavalla. /6, s. 28 - 29./

Alle 25 kertaa katkaisijan runkoon nimellisvirran olevilla oikosulkuvirran arvoilla hoitaa katkaisut suojariele. Yli 25 kertaa katkaisijan runkoon nimellisvirran ylittävillä oikosulkuvirroilla hoitaa oikosulkuvirran katkaisun katkaisijan runko. Rungon suorittamassa katkaisussa alkaa katkaisija rajoittaa oikosulkuvirtaa, ja katkaisut tapahtuvat alle kymmenessä millisekunnissa.

3.3 Oikosulun luonne

Sinimuotoisen vaihtovirran arvo vaihtelee jatkuvuustilassa $\pm\sqrt{2}$ kertaa vaihtovirran tehollisarvoon, r.m.s, nähden. Oikosulun alkutilanteessa virran huippuarvo voi käytännössä ensimmäisen aallon aikana nousta 2,3 kertaa suuremmaksi oikosulun jatkuvan tilan virran tehollisarvoon nähden, johtuen tasavirtakomponentin aiheuttamasta epäsymmetrisyydestä. /7, s. 11./



Kuva 4. Oikosulkuvirran kuvaaja

Symmetristen ja epäsymmetristen oikosulkuvirtojen kuvaajat poikkeavat toisistaan tasavirtakomponentin i_{dc} osalta, joka on epäsymmetrian aiheuttaja ja joka aikaansaa siinä ilmenevän huippuarvon i_p . Tasavirtakomponentti vaimenee oikosulun jatkuessa, jolloin epäsymmetrinen virta alkaa laskea kohti symmetrisen tilan virran arvoa. (Kuva 4.)

Epäsymmetria tilanteen huippuarvo i_p on suuruudeltaan teoriassa $\sqrt{2} - 2\sqrt{2}$ kertaa jatkuvan tilan oikosulkuvirta. Tilanne, jossa saavutettaisiin suurin $2\sqrt{2}$ huippuarvo, vaatisi oikosulun piirissä, jossa ei olisi laisinkaan resistanssia. $\sqrt{2}$ huippuarvoon eli symmetriseen huippuarvoon päästäisiin tilanteessa,

jossa piirissä olevien resistanssien ja reaktanssien suhde olisi noin 1. (Ks. 3.4.2)

Komponenttivalmistajat yleensä ilmoittavat kuvaajissaan oikosulkukertoimen muuttuvan välillä $1,06 - 1,63 * \sqrt{2} * I_k''$ (ks. liite 1). Ferraz Shawmutin mukaan suurin kerroin on

$$1,63 * \sqrt{2} * I_k'' = 2,3 * I_k''.$$

Schneiderin suurimpana kertoimena yli 50 kA oikosuluissa käytetään arvoa

$$1,619 * \sqrt{2} * I_k'' = 2,29 * I_k''.$$

Huippuarvon laskeminen on tärkeä osa mitoitusta. Sen avulla määritetään kojeistolle kohdistuvat sähködynaamiset voimat, joita tarvitaan mekaanisten rasituksien laskuja varten. (Ks. 3.4.2 ja 3.5.1)

3.4 Oikosulkuvirtojen laskeminen

Oikosulkuvirran arvo lasketaan oikosulkupisteen jännitteen ja impedanssien avulla. Oikosulut erotetaan kolmivaihe-, kaksivaihe-, maayhteydellä ja ilman, ja yksivaiheisiin maasulkuihin. Laskennassa otetaan myös generaattorit huomioon, mikäli oikosulku tapahtuu niiden läheisyydessä. Seuraavaksi on esitetty oikosulkujen kaavat tilanteisiin, joissa oikosulku on kaukana generaattoreista ja maayhteys tapahtuu vain yksivaiheisella oikosululla:

kolmivaiheoikosulku

$$I_{k3}'' = \frac{cU_N}{\sqrt{3} * |Z_1|} \quad (1)$$

kaksivaiheoikosulku

$$I_{k2}'' = \frac{cU_N}{|2Z_1|} \quad (2)$$

maasulku

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} * cU_N}{|2Z_1 + Z_0|} \quad (3)$$

joissa I_{kX}'' = X-vaiheinen oikosulku (A), U_N = nimellisjännite (V), Z_1 = impedanssin myötäkomponentti (Ω), Z_0 = impedanssin nollakomponentti (Ω).

Kaavoilla 1, 2 ja 3 saadaan symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo lasketua. Symmetristä oikosulkuvirtaa voidaan myös kutsua jatkuvan tilan oikosulkuvirraksi /9, s. 134/. Epäsymmetrisen oikosulkuvirran laskemiseen käytetään jatkuvan tilan virtaa (ks. 3.4.2).

Kaavoissa esiintyvä kirjain c on jännitekerroin, jonka avulla selvitetään oikosulun minimi- ja maksimiarvot (ks. 3.4.1). Syy, miksi minimi- ja maksimiarvoja etsitään oikosulkutilanteista, on saada tietoa kojeiston eri osien suunnittelua varten. Minimi oikosulkuvirran arvoa tarvitaan suojauksien suunnittelua varten. Tällä varmistetaan, että oikosulussa suojat toimivat eikä oikosulku jää päälle piiriin. Liian pienellä oikosulkuvirran arvolla suojaukset reagoivat hitaasti, jolloin suojaus ei toimi halutulla tavalla. Virran maksimiarvoa tarvitaan kojeistoon kohdistuvien rasitusten laskemista varten (ks. 3.5).

3.4.1 Jännitekerroin c

IEC 60909-0 määrittelee standardoidut jännitekertoimet c_{\min} ja c_{\max} , joiden avulla lasketaan oikosulun minimi ja maksimi virrat. Minimien ja maksimien kertoimet perustuvat mahdollisiin jännitteiden heilahteluihin verkossa ja niitä käytetään kaavojen 1, 2 ja 3 osoittamalla tavalla.

Taulukko 4. c_{\min} ja c_{\max} /10, s. 27./

Jännite U_N [V]	Jännitekerroin c	
	maksimi c_{\max}	minimi c_{\min}
Pienjännite $100 \text{ V} \leq U_N \leq 1000 \text{ V}$		
toleranssi $\pm 6 \%$	1,05	0,95
toleranssi $\pm 10 \%$	1,10	0,95
Keskijännite $1000 \text{ V} < U_N \leq 35 \text{ kV}$	1,10	1,00
Suurjännite $35 \text{ kV} < U_N$	1,10	1,00

Pienjänniteverkoissa käytetään kahta eri toleranssia, mutta keski- ja suurjänniteverkoissa vain 10 %:n toleranssia. IEC:n taulukko pätee 50 ja 60 Hz:n järjestelmissä.

3.4.2 Oikosulun huippuarvo

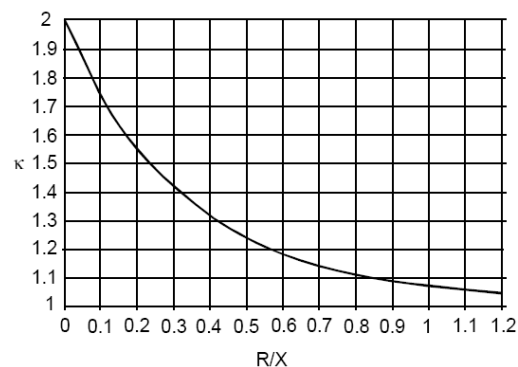
Oikosulun huippuarvolla tarkoitetaan alkutilanteen ensimmäisen huipun suuruutta, jossa epäsymmetria tapauksessa on mukana myös tasavirtakomponentti i_{dc} (kuva 4). Oikosulun alkutilanteessa virran huippuarvo voi olla huomattavasti suurempi kuin jatkuvan tilan oikosulkuvirta, ja teoriassa

huippuvirran suuruus riippuu oikosulkupisteessä olevan resistanssin ja reaktanssin suhteesta. Huippuarvo lasketaan kaavan 4 avulla.

$$i_p = \kappa * \sqrt{2} * I_k'' \quad (4)$$

jossa i_p = oikosulkuvirran huippuarvo (A), κ = kappa-kerroin, "sysäyskerroin", I_k'' = oikosulkuvirran jatkuvantilan tehollisarvo.

Suurjänniteverkossa κ on yleensä alle 1,8 ($R/X < 0,1$) ja pienjänniteverkoissa yleensä alle 1,44. κ -kertoimen arvo voidaan katsoa kuvan 5 tapaisesta kuvaajasta, mikäli tiedetään oikosulkupiirin R/X -suhde.



Kuva 5. κ -kertoimen määrittäminen /11, s. 8/

Vaihtoehtoisesti κ voidaan laskea myös kaavan 5 avulla. Siitä nähdään myös R/X -suhteen vaikutus huippuvirran suuruuteen.

$$\kappa = 1,02 + 0,98 * e^{-3\frac{R}{X}} \quad (5)$$

jossa e = neperin luku (paljas luku, 2,718281828459045), R = oikosulkupisteen resistanssi (Ω), X = oikosulkupisteen reaktanssi (Ω).

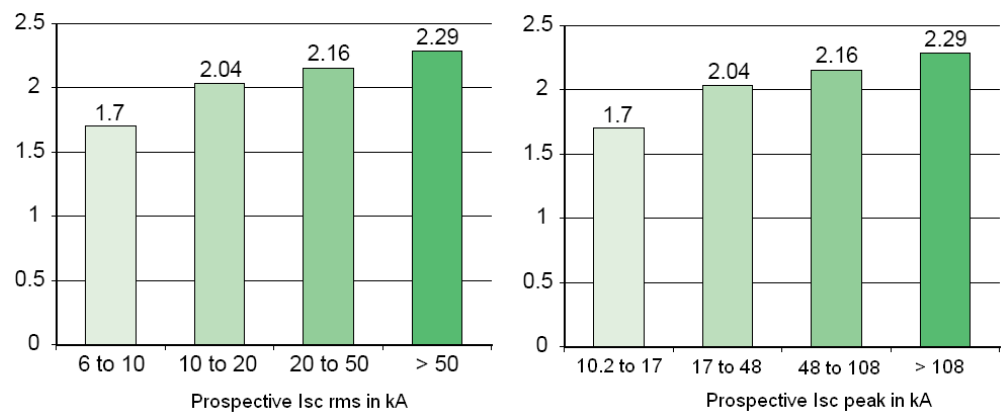
Mikäli oikosulkupiirin laskenta tehdään silmukoidussa verkossa, laskennassa tulee ottaa huomioon, että silloin on useita aikavakioita. Nosturin tilanteessa silmukointia ei tarvitse ottaa huomioon, koska nosturin sähköverkko ei ole silmukoitu, vaan sähkö syötetään yhdestä pisteestä nosturiin. Silmukoidun verkon laskentaan liittyviä ohjeita on esimerkiksi ABB:n TTT-käsikirjassa luku 12 /11, s. 7 - 8/.

IEC 60947-2:n määrittäminen huippuarvosta

IEC 60947-2:n taulukossa 2 on vaatimus, kuinka suuren oikosulkuvirran huippuarvon on suojalaitteen pystyttävä sulkemaan tietyllä oikosulkuvirran tehollisarvolla. Taulukossa otetaan huomioon tehokertoimen muuttuminen

oikosulkuvirran kasvaessa. Komponenttivalmistajien kuvaajat perustuvat IEC:n virranrajoitus kuvaajapohjaan (ks. liite 1). Virranrajoituksen kuvaajissa oikosulun tehollisarvon muuntokerroin rajoittamattoman huippuarvon laske- miseksi vaihtelee 1,5 - 2,2, jotka ovat IEC 60947-2 taulukossa 2 ilmenevät arvot. Laskemalla κ -kerroin virranrajoitus kuvaajasta tai valitsemalla arvon IEC:n taulukosta ja laskemalla niistä R_x -suhteen kaavoilla 4 ja 5, voidaan to- deta R_x -suhteen muuttavan 0,16 - 1,06. /6, s. 20/

Schneider on myös julkaissut Cahier techniques -infoissaan kuvan mukaillen IEC:n taulukoimia arvoja, jossa esitetään muuntokertoimet tehollisarvoille (kuva 6). Schneiderin arvoissa $\kappa\sqrt{2}$ -kertoimeen on lisätty vielä varmuusker- roin, jolloin muunnoksessa huippuarvoon saadaan suurempi virta kuin IEC:n vastaavilla arvoilla. Kuvaa on muokattu lisäämällä huippuarvon virtoja vas- taavat kertoimet muunnokseen takaisin tehollisarvoksi.



Kuva 6. Oikosulkuvirran huippuarvon kerroin /7, s. 11 mukaillen./

Kuvan 4 kertoimista ja liitteen 1 kuvaajasta huomataan huippuarvon kasva- van prospektiivisen oikosulkuvirran kasvaessa. Tällöin kaavan 4 perusteella κ kasvaa. κ :n kasvaessa tärkein muuttuja on R_x , jonka suhde tällöin piene- nee (kuva 5). Tästä nähdään, että mitä isompi oikosulkuvirta, sitä induktiivi- sempi on kyseessä oleva oikosulkuvirta. Induktiivisessa virrassa vaihesiirto kasvaa, ja tästä syystä oikosulkuvirran katkaisu vaikeutuu /12, s. 673/.

3.5 Oikosulun vaikutukset

Oikosulkuvirran laskennassa tarkastellaan sekä tehollis- että huippuarvoa, koska ne aiheuttavat piireissä erilaisia vaikutuksia. Vaikutukset voidaan ja- kaa huippuarvon aiheuttamiin sähködynaamisiin vaikutuksiin ja tehollisarvon aiheuttamiin termisiin vaikutuksiin /7, s. 8/.

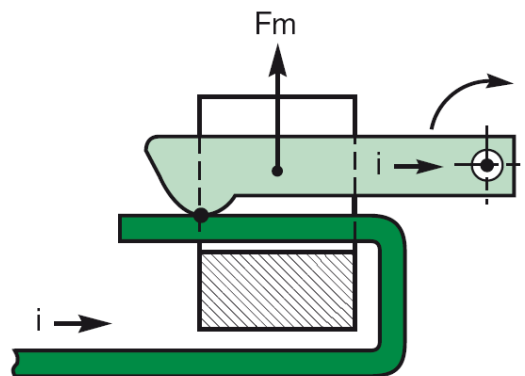
3.5.1 Sähködynaamiset vaikutukset

Sähködynaamiset vaikutukset ovat suurimmillaan oikosulkuvirran huippuarvon hetkellä. Oikosulun aiheuttamat sähködynaamiset vaikutukset voidaan jakaa mekaanisiin ja elektromagneettisiin vaikutuksiin.

Elektromagneettiset häiriöt näkyvät toisissa laitteissa. Oikosulkuvirta aiheuttaa piirissä normaalia voimakkaamman sähkömagneettisen kentän, joka saattaa häiritä herkkiä mittalaitteita oikosulkupiirin alueella.

Mekaanisia vaikutuksia aiheuttavat sähködynaamiset voimat ilmenevät välittömästi oikosulkutilanteen alettua ja vaimenevat oikosulun jatkuessa tasavirtakomponentin pienentyessä (kuva 4). Tästä syystä katkaisijoiden sähködynaamisen kestävyuden luokitus ilmoitetaan oikosulkuvirran huippuarvosta laskettuna. Datalehdillä ilmoitetun arvon mahdollisesti ylittävät oikosulkuvirrat aiheuttavat pysyviä muutoksia katkaisijan rakenteeseen tai katkaisijassa syntyvä valokaari saattaa vaurioittaa katkaisijan virran katkaisun osia. /7, s. 9./

Sähködynaamisia voimia kuitenkin myös hyödynnetään katkaisijoissa. Katkaisijan rungon nopea pikalaukaisu perustuu katkaisijan rakenteeseen, jossa oikosulun aikana ilmenevät sähködynaamiset voimat aiheuttavat hylkimisreaktion



Kuva 7. Virran aiheuttaman voiman suunta katkaisijassa /3, s. 5/

Virrat kulkevat katkaisijan virran katkaisun osien kohdalla eri suuntiin (kuva 7), jolloin syntyvät voimavaikutukset ovat toisiaan vastaan. Tällöin vastakkaiset voimavaikutukset työntävät katkaisijan koskettimet auki aiheuttaen nopean katkaisun.

Kojeistoissa sähködynaamisten voimien aiheuttamat rasitukset voivat olla niin hylkiviä kuin puoleensa vetäviä voimia, jotka aiheuttavat mekaanista rasitusta kojeistoihin, niiden johtimiin ja kiinnityksiin. Virtojen kulkiessa eri suuntiin vierekkäisissä johtimissa syntyy oikosulussa äkillinen voima, joka työntää johtimia äkisti erilleen. Vastaavasti virran kulkiessa samaan suuntaan pyrkivät johtimet vetämään toisiaan puoleensa. Yksinäinenkin kaapeli saattaa kohdistaa itseensä rasituksia. Esimerkiksi kohdassa, jossa kaapeli tekee mutkan, kohdistuu mutkan sisäpinnalla voimavektorit toisiaan vastaan ja pyrkivät suoristamaan johtoa

Kolmi- ja kaksivaiheisissa oikosuluissa syntyvien sähködynaamisten voimien maksimiarvot voidaan laskea käyttäen kaavoja 6 ja 7:

$$F_{k3max} = \frac{\mu_0}{2\pi} * \frac{l}{a/k_{12}} * \frac{\sqrt{3}}{2} * i_{p3}^2 \quad (6)$$

$$F_{k2max} = \frac{\mu_0}{2\pi} * \frac{l}{a/k_{12}} * i_{p2}^2 \quad (7)$$

joissa μ_0 = tyhjiön permeabiliteetti (1,2566371 $\mu\text{H/m}$), l = johtimien pituus (m), a = johtimien välinen etäisyys (m), k_{12} = korjauskerroin, i_{px} = x vaiheisen oikosulkuvirran huippuarvo (A).

Syntyvä voiman tärkein muuttaja on oikosulkuvirran huippuarvo, joka kasvaa neliöllisesti (kaavat 6 ja 7). Suurin kojeistolle kohdistuva voima syntyy kolmi-vaiheisesta oikosulusta. /9, s. 202./

3.5.2 Termiset vaikutukset

Toisin kuin sähködynaamisissa vaikutuksissa, termiset vaikutukset eivät liity oikosulkuvirran huippuarvoon vaan sen tehollisarvoon ja keston. Kesto ilmoitetaan ampeerin neliössä ja sekunneissa eli I^2t -arvona. I^2t :stä käytetään myös nimitystä joule-integraali.

$$I^2t = \int_0^t I^2 dt \quad (8)$$

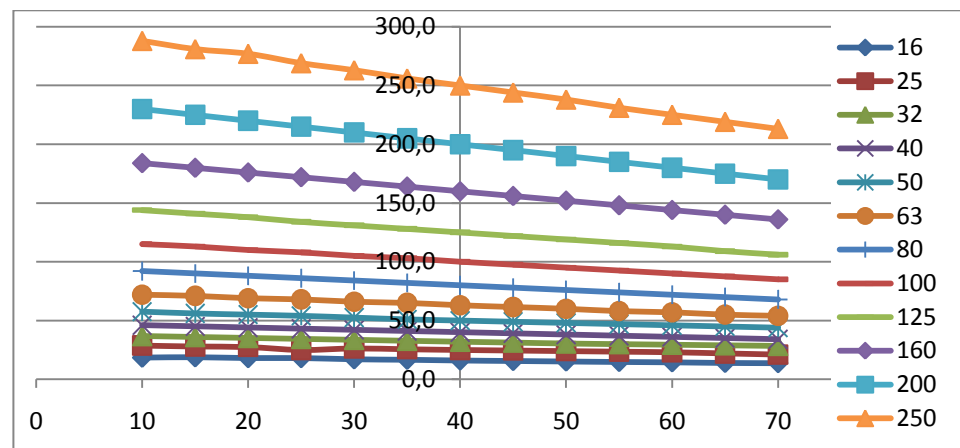
joissa I = virran tehollisarvo (A), t = oikosulun kesto aika (s).

I^2t -arvoa käytetään mitoituksissa kaapelointien ja kiskostojen mitoituksien yhteydessä, joille valmistajat ilmoittavat vastaavaan termisen rasituksen maksimiarvon. Suojalaitteiden kohdalla toisin kuin sulakkeille IEC ei vaadi ilmoittamaan I^2t -kestoisuuksia katkaisijoille.

3.5.3 Lämpötilan vaikutus katkaisijan nimellisvirtaan

Ympäristön lämpötila ei suoranaisesti vaikuta oikosulkuvirran suuruuteen, vaan katkaisijan läpi kulkevan sallitun nimellisvirran suuruuteen (ks. 3.1.1). Esimerkiksi Schneiderin Compact NSX katalogissa ilmoitetaan nimellisvirtojen suuruudet kokoluokalle NSX100 - 630 40 °C:n ympäristön lämpötilassa /4, s. A-6 - A-7/. Kyseisessä lämpötilassa katkaisijoiden nimellisvirta on yhtä suuri kuin niiden tyyppikoodissa ilmenevä nimellisarvo (ks. 3.2.1).

Schneiderin sähköasennus oppaasta löytyy taulukoituna arvoja C60a/H/N ja NSX100 - 250 katkaisijoille, joissa nähdään nimellisvirta eri lämpötilojen arvoilla. Taulukoiden perusteella voidaan päätellä, että lämpötilan muuttuessa NSX-sarjan 100 - 250 A:n N/H/L-runkoisilla katkaisijoilla nimellisvirran arvo muuttuu lineaarisesti tietyllä testi lämpötila välillä. Tällöin katkaisijan suojaralle on termo-magneettinen.



Kuva 8. NSX-katkaisijoiden I_N lämpötilariippuvuus.

Nosturikäytössä lämpötila vaihtelut eivät sähköisillä komponenteilla ole suuria. Katkaisijat ja moottorisuojakytkimet sijaitsevat sähkökaapeissa yhdessä taajuusmuuttajien kanssa. Sähkökaapit ovat tuuletettuja, ettei taajuusmuuttajien lämpötila nousisi yli 55 °C:n, joka on niiden maksimi toimintalämpötila.

4 STANDARDIEN VAATIMUKSET

Standardien tarkoitus on määrittellä vaatimuksia ja ohjeistuksia eri tahoille. Näin pyritään samaan yhteneväisyyttä eri maanosien välille. Esimerkiksi komponenttien ominaisuuksien vertaileminen on helpompaa eri valmistajien kesken, kun niille tehdyt testit perustuvat samoihin standardeihin. Tämän työn standardit keskittyvät IEC:n ja SFS-EN:n standardeihin 60947-1, 60947-2, 60269-1 ja 60204-32.

4.1 Laitteiston suojaaminen

Nostokoneiden koneturvallisuus standardi SFS-EN 60204-32 sisältää yleiset vaatimukset nostokoneiden sähkölaitteiston turvallisuudesta. Suojien mitoituksista SFS-EN 60204-32:ssa ohjeistetaan:

Nosturin virtapiirit, joissa virta voi ylittää joko komponentin mitoitusvirran tai johtimen kuormituskyvyn on varustettava ylivirtasuojalla.

Ylivirtasuojan mitoituskatkaisukyky tulee olla vähintään asennuspaikalla esiintyvän oikosulkuvirran suuruinen. Vikatilanteessa tulee myös huomioida mahdolliset paluu oikosulkuvirrat esimerkiksi kompensointikondensaattoreilta tulevat virrat. /5, s. 86, 88./

Edellisistä siteerauksista huolimatta, SFS-EN 60204-32 antaa mahdollisuuden käyttää prospektiivista oikosulkuvirtaa pienemmän katkaisukyvyn omaavia katkaisijoita. Tällöin viitataan varasuojaukseen (ks. 5).

Alhaisempi katkaisukyky ylivirtasuojalta sallitaan tapauksissa, jossa syötön puolella on toinen suoja, jonka katkaisukyky on suuruudeltaan oikosulkuvirran suuruinen. Tällöin niiden ominaisuudet mitoitetaan niin, ettei piirissä kulkeva energia I^2t vahingoita ensimmäisen suojan jälkeistä suojaa ja niiden välistä johtoa. /5, s. 88./

Tällöin edellisen siteerauksen ensimmäinen suoja toimii virtaa rajoittavana komponenttina, jolloin ensimmäisen siteerauksen vaatimus täyttyy. Tällöin oikosulkuvirta ei pääse koskaan nousemaan liian suureksi. (Ks. tarkempi kuvaus varasuojauksesta, 5.)

Erillisenä huomautuksena jos suojauksessa käytetään sulakkeita:

Jos suojaamisessa käytetään sulakkeita, niin tulee sulaketyyppien olla tyyppisiä, jotka ovat helposti saatavilla käyttömaassaan tai muussa tilanteessa varaosatoimituksista on sovittava /5, s. 88/.

SFS-EN 60204-32:n mitoitusohjeita

Sulakkeella mitoitusvirta ja katkaisijalla asetteluarvo tulee valita mahdollisimman alhaiseksi kuitenkin huomioiden mahdolliset hetkellisesti aiheutuvat ylivirrat kuten muuntajan kytkentävirtasysäys. Ohjauspiirien kohdalla tulee huomioida kytkinlaitteiden vaurioiden estäminen. Johtimia suojattaessa asetteluarvo määritellään johtimen kuormitettavuuden perusteella. Kun kyseessä

on vielä pidempi katkaisuaika, koordinaatio tulee ottaa huomioon piirin muiden laitteiden kanssa.

Monimoottorisissa käytöissä ylivirtasuojaus ei välttämättä suojaa yksittäistä yksijohdinkaapelia oikosululta. Tällöin vaaditaan lisäsuojaustoimenpiteitä tai yksijohdinkaapeleiden mitoitusta maksimi oikosulkuvirralla.

4.2 Nosturin katkaisija

Nosturin katkaisija määritellään SFS-EN 60204-32:ssa seuraavasti:

Nostokoneessa on oltava vähintään yksi ohjauspaikalta ohjattava katkaisija kaikkien liikkeiden käyttöjen hätäpysäytystä ja tarvittaessa muun laitteiston sähkötehon syötön katkaisua varten /5, s. 70/.

Vaatimuksissa nosturin katkaisijan tulee täyttää IEC 60947-3 asetetut vaatimukset kytkimille, jotka voidaan täyttää jollakin seuraavista ehdoista:

- 60947-3 käyttöluokan AC-23B tai DC-23B mukainen sulakkeellinen tai sulakkeeton kuormaerotin
- katkaisija, joka soveltuu erottamiseen IEC 60947-2:n mukaisesti
- pääpiirin oikosulkusuojan kanssa luokan 2 suojakoordinoitua kontaktoria yhdessä erotuslaitteiden kanssa voidaan myös käyttää. /5, s. 62, 70./

Tällöin toisen ehdon nojalla ylivirtasuojina toimivat kompaktikatkaisijat voivat toimia myös nosturin katkaisijoina, mikäli valmistaja ilmoittaa datalehdillä IEC 60947-2 -standardin mukaiseen erottamiseen soveltuvuuden, jonka Compact NSX -mallit täyttävät. Virran kytkennässä ja hätäpysäytyksissä käytetään kuitenkin kolmannen ehdon mukaista kytkentää kontaktorin avulla.

Nostureihin vaaditaan myös vähintään yksi erotuskytkin, jonka avulla voidaan nosturin sähkölaitteisto erottaa verkosta sähkölaitteiden huolto ja kunnossapitoa varten. Tarkoitus on myös estää nosturin odottamaton käynnistyminen mekaanisten töiden aikana.

Erotuskytkimen kohdalla on SFS-EN 60204-32:n kohdalla maininta

Erotuskytkintä ei vaadita, jos kytkimen sijoituspaikan ja kohdan 5.3.7 tarkoittaman katkaisijan välisessä johdotuksessa ei ole liitoksia tai haaroituksia ja katkaisija toteuttaa erotuskytkimen toiminnon sekä täyttää kohdan 5.6 vaatimukset /5, s. 68/.

SFS-EN 60204:n kohta 5.6 sisältää ohjeistukset, joilla pyritään estämään odottamattomat kytkennät. Compact NSX:ssä on nähtävissä asennonosoitus ja katkaisija on mahdollista lukita auki-asentoon erillisellä lukolla, jotka ovat esimerkkivaatimuksia katkaisijalle odottamattoman käynnistyksen estämiseksi. Nosturissa ei tarvitse olla erillistä erotuskytkintä vaan se voidaan korvata kompaktikatkaisijalla, joka soveltuu kyseiseen erottamiseen.

Erotuskytkimen ja katkaisijan toiminnot voidaan siis molemmat hoitaa kompaktikatkaisijan avulla, lukuun ottamatta hätäpysäytyksessä ja pääpiirien virrankytkennässä olevaa katkaisijaa, joka onkin ylivirtasuojan kanssa luokan 2 suojakoordinoitu kontaktori.

4.3 Laitteiston oikosulkuvirran merkintä

Laitteisto käsittää nosturissa koko nosturin kokonaisuutena; sillan koneisto, vaunun koneisto ja sähkökaapin sisältö. SFS-EN 60204-32:ssa vaaditaan laitteistoon nimikilpi, jolla voidaan tunnistaa laitteiston ominaisuuksia. Seuraava kohta on oltava nähtävissä nimikilvestä *laitteiston nimellinen oikosulkuvirta /5, s. 180/*.

Laitteisto alkaa nostureissa sähkökaapista ja käsittää koko nosturin. Nimellisoikosulkuvirraksi leimataan nosturin prospektiivinen oikosulkuvirta sen syöttöliittimissä.

5 VARASUOJAUKSEN KOORDINAATIO

Yksi ylivirtasuojien ylivirtasuojauskoordinaation toteutusmahdollisuuksista on varasuojaus. Varasuojauksen tarkoitus on koordinoida suojien yhteinen virran katkaisu, jossa ensimmäinen suoja toimii avustajana jälkimmäiselle suojalle.

5.1 Varasuojauksen periaate

Oikosulkuvirran huippuarvon ja läpi pääsevän energian rajoitukset ovat katkaisijan ominaisuuksia, joiden tarkoitus on rajoittaa oikosulkuvirran vaikutuksia kuorman puolella prospektiivista oikosulkuvirtaa pienemmäksi. Koordinaation avulla otetaan nämä ominaisuudet käyttöön ja näin autetaan jälkimmäisiä suojalaitteita virran katkaisussa. Jälkimmäisen suojan avustamisesta

käytetään SFS-EN 60947-1 standardissa nimitystä varasuojaus eli *back-up protection*.

SFS-EN 60947-1:n kuvaus varasuojauksesta

Kahden sarjaan kytketyn ylivirtasuojan ylivirtakoordinaatio, jossa se suojalaite, joka on tavallisesti mutta ei välttämättä syöttöverkon puolella, vaikuttaa ylivirtasuojaukseen toisen suojalaitteen avustuksella tai ilman sitä ja estää liiallisen rasituksen kohdistumisen jälkimmäiseen. /2, s. 42./

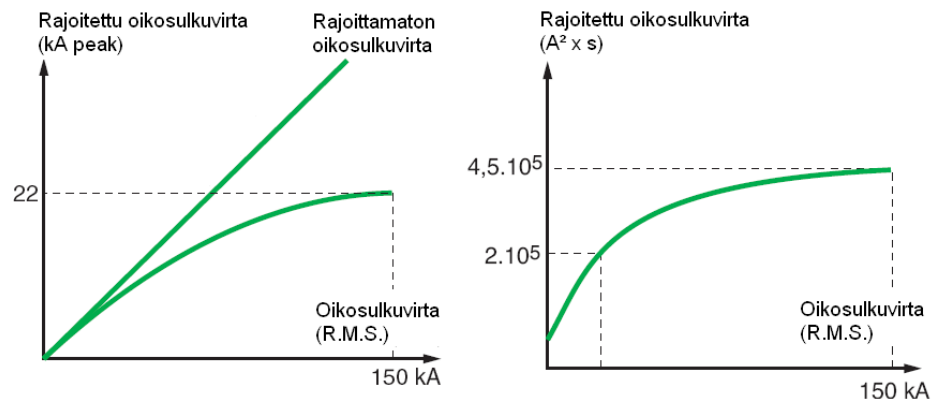
Kyseisellä siteerauksella annetaan mahdollisuus käyttää prospektiivista oikosulkua pienemmän oikosulkukestoisuuden omaavia, ja siten halvempia komponentteja ensimmäisen suojan jälkeen. Huomioiden, että suojien välisen koordinaation on toimittava. Varasuojauksen avulla voidaan mitoittaa kojeiston oikosulkukestoisuus, jonka tulee näkyä nosturin nimikilvessä kohdassa *laitteiston nimellinen oikosulkuvirta* (ks. 4.3). Tällöin vaikka osa komponenteista olisi heikomman oikosulkukestoisuuden omaavia, voidaan varasuojauksen avulla perustella nimellisen oikosulkuvirran leimausarvoa.

Ensimmäisen suojan toimintaa voitaisiin varasuojauksen tilanteessa kutsua muuriksi oikosulkuvirtoja vastaan, jossa ensimmäinen suoja vahvistaa jälkimmäisen suojan oikosulkukestoisuutta omalla toiminnallaan. Ensimmäinen suoja rajoittaa oikosulkuvirran huippuarvoa ja läpi pääsevää energiaa, etteivät ne pääsisi vahingoittamaan jälkimmäistä suojaa tai suoja. Tällöin varasuojauksesta voidaan myös puhua vahvistetusta katkaisukyvyistä jälkimmäisellä katkaisijalla.

Varasuojauksesta käytetään myös nimitystä kaskadikytkentä eli *cascading*. Tästä eteenpäin työssä käytetään kaskadikytkentä termiä, koska se on yleisemmin käytetty valmistajien ohjelmistoissa ja katalogeissa.

Virranrajoitus

Jos piirin pääsuoja on oikosulkuvirtaa rajoittava katkaisija, niin virranrajoitus pätee kaikkiin kojeistoihin, suojiin, kytkimiin ja releisiin, jotka ovat suojan jälkeen eikä vain peräkkäisiin komponentteihin /4, s. E-13/. Tämän ansiosta terminen rasitus I^2t ja sähködynaamiset iskut kaikille komponenteille laskevat huomattavasti.



Kuva 9. Oikosulkuvirran rajoitus /8, s. H17 mukailleen/

Rajoitettua huippu oikosulkuvirtaa ja termistä rasitusta piirille oikosulkuvirran tehollisarvon kasvaessa voidaan helpointen esittää kuvan avulla. Suojalaitteiden oikosulkuvirran huippuarvon ja termisen rasituksen rajoitukset kasvavat sitä nopeammin, mitä suurempi on tehollinen oikosulkuvirta. Käytännössä suurempi hyöty saadaankin oikosulkuvirran rajoituksesta silloin kun oikosulkuvirrat ovat suuria. (Kuva 9.)

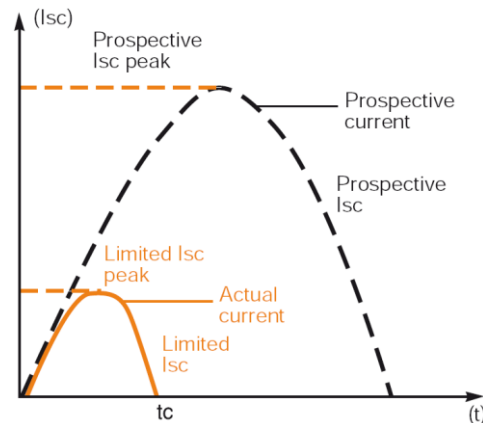
Suurilla yli 1000 A:n suojilla ja pienillä oikosulkuvirran arvoilla virranrajoitusta ei välttämättä ilmene lainkaan huippuarvossa, eikä läpi pääsevässä energiassa. Kokonaisuudessaankin virranrajoitus tapahtuu hyvin pienellä oikosulkuvirran alueella. Pienemmillä suojilla tilanne on päinvastainen. Esimerkiksi Schneiderin GV2-moottorisuojakytkimillä virranrajoitusta voi ilmetä pienemmilläkin arvoilla kuin kuvaajat näyttävät ja NSX:lläkin virranrajoitusta ilmenee neljästä kA:sta 150:een kA:iin (ks. liite 1 ja liite 2).

Virranrajoituksesta saavutettavaa hyötyä voidaan tarkastella vertailemalla rajoittamattoman ja rajoitetun huippuvirran neliöitä, koska sähködynaamiset voimavaikutukset muuttuvat virran neliössä (ks. 3.2.1). Tällöin esimerkiksi NSX400 suojalla 400 voltin verkossa 24 kA_{rms} oikosulussa syntyisi 50 kA rajoittamaton huippuoikosulkuvirta, mutta rajoitustilanteessa se rajoittuu 22 kA:iin (liite 1). Syntyvä rajoitettu sähködynaaminen voima onkin enää vain 19,4 % alkuperäisestä voiman suuruudesta.

$$\frac{I_{\text{rajoitettu}}^2}{I_{\text{rajoittamaton}}^2} * 100\% = \frac{22^2}{50^2} * 100\% = 19,4$$

Teoreettinen rajoitetun ja rajoittamattoman virran ero voidaan esittää myös kuvaajien avulla. Kuvaajasta saadaan käsitys millainen virran kuvaaja on

virran rajoituksessa ja paljonko rajoitetut arvot ovat pienempiä nähden rajoittamattomaan. (Kuva 10.)



Kuva 10. Rajoitetun ja rajoittamattoman virran kuvaajat /4, s. E-13/

5.2 Valmistajien ohjeistukset

Komponenttien valmistajilta on mahdollista saada taulukoita, kuvaajia ja ohjelmistoja liittyen oikosulkuvirran huippuarvon ja energian rajoituksiin ja kaskadikytkentöjen tutkimiseen. Taulukot ja kuvaajat on tehty laboratoriokokeiden tulosten perusteilla ja mahdolliset komponenttien koordinaatit voidaan varmistaa vain valmistajan ohjeiden avulla.

Testaamisessa käytetyt jännitteet ovat kuvaajien kohdalla 380/415, 400/415 ja 660/690 voltia. Taulukoissa jännitteet ovat 220/240, 400/415 ja 440 voltia. IEC 60947-2-standardi määrittelee suojille tehtävät kokeet, sekä miten niiden ominaisuuksia tulee dokumentoida kuvaajissa ja taulukoissa.

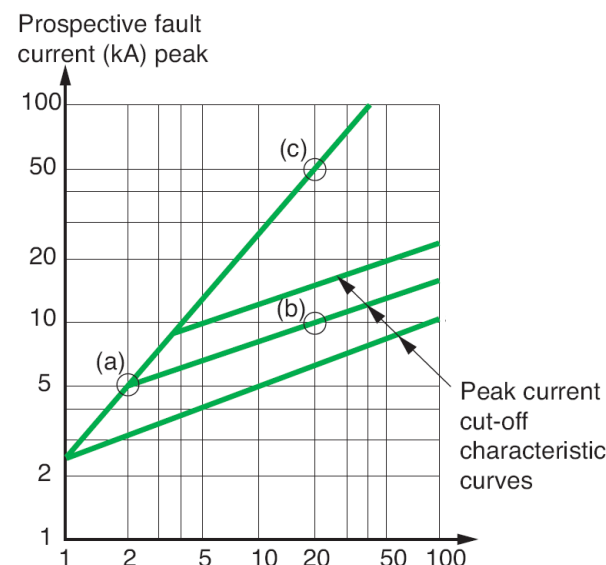
5.2.1 Taulukoiden tulkinta

Taulukot perustuvat laboratoriotesteihin, joissa tutkitaan prospektiivisen oikosulkuvirran suurinta arvoa kaskadikytkennässä. Taulukoiden ilmoittamalla prospektiivisellä virralla ensimmäinen suoja rajoittaa läpi pääsevää energiaa I^2t ja huippuarvoa niin, ettei jälkimmäisen suojan suurimpia sallittuja rasituksen arvoja ylitettäisi ja suoja pystyisi vielä katkaisemaan näkemänsä oikosulun vaurioitumatta /13, s. 85; 14/. Esimerkiksi liitteen 3 (s. 1) Schneiderin NSX250L-katkaisija 150 kA:n katkaisukyvyllä avustaa NSX100N:n, alkuperäinen katkaisukyky 50 kA, katkaisukykyä 150 kA:iin asti. Kaskadikytkennästä käytetään myös nimitystä oikosulkukatkaisukyvyyn vahvistus.

Jos taulukot todentavat kaskadikytkennän mahdollisuuden, seuraavaksi voidaan tarkastella rajoitettuja energian ja huippuvirran arvoja. Niiden avulla tarkastellaan huippuvirran ja energian aiheuttamia rasituksia muille kojeistoille. (Ks. kuvaajien tulkintaa 5.2.2.)

5.2.2 Kuvaajien tulkinta

IEC 60947-2:ssa sanotaan, että kuvaajien akselien on kuvattava suojan läpi päässeeseen virran huippuarvon funktio piiriltä odotetun prospektiivisen symmetriseen oikosulkuvirran tehollisarvoon nähden /6, s. 164 - 169/. Toisin sanoen kuvaajien avulla on luettavissa suojan jälkeen ilmenevän oikosulkuvirran huippuarvo ja läpi pääsevä rajoitettu energia vastaavalla prospektiivisellä oikosulkuvirralla. (Yksinkertaistetun huippuvirran rajoitus -kuvaajan tärkeimmät kohdat, ks kuva 11.)

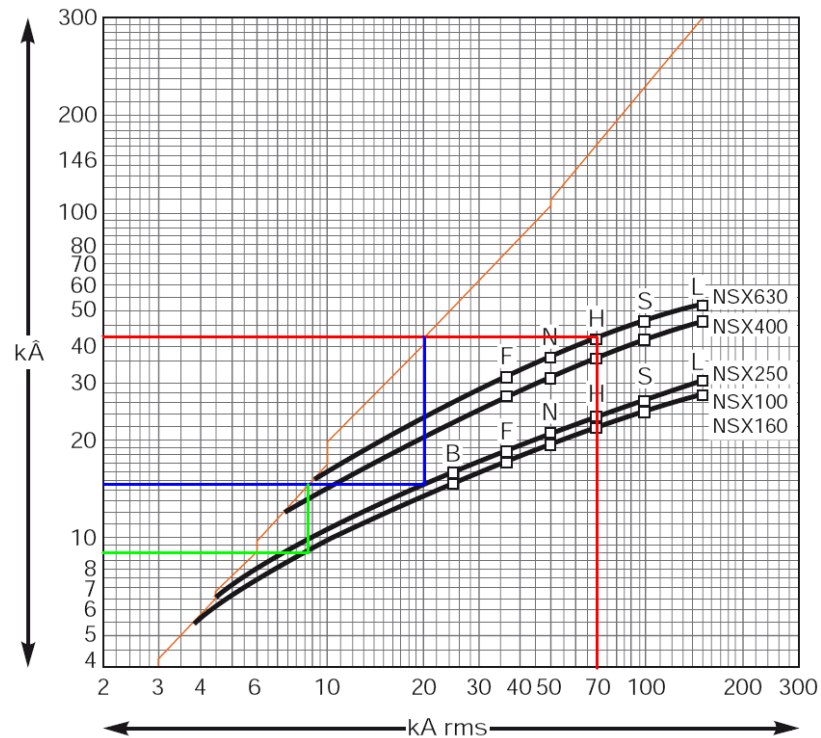


Kuva 11. Yksinkertaistettu kuvaaja /8, s. H9 mukailleen/.

- (a) kohdassa tullaan pisteeseen, jossa oikosulkuvirran huipun rajoitus alkaa (noin 2 kA:ssa)
- (b) kohdassa oikosulkuvirraksi oletetaan $20 \text{ kA}_{\text{rms}}$, jolloin oikosulkuvirta rajoitetaan 10 kA:n huippuvirtaan
- (c) kohta merkitsee oikosulkuvirran huippuarvoa, jos virranrajoitusta ei B:ssä tapahtuisi (eli $50 \text{ kA}_{\text{peak}}$).

Tarkasteltaessa peräkkäisiä kytkentöjä rajoituksia tulee huippuarvo muuttaa oikosulun suuruutta vastaavan kertoimen avulla takaisin tehollisarvoksi suojan jälkeen (kuva 6). Uudella tehollisarvolla voidaan katsoa jälkimmäisen suojan rajoitetut arvot ja tarvittaessa toistaa tarkastelu seuraavalle suojalle.

Limited short-circuit current (kA peak)



Kuva 12. Kuvaajan lukeminen (liitettä 1 mukailten)

Toinen mahdollisuus on käyttää rajoittamattoman virran suoraa kuvan 12 osoittamalla tavalla. Tällöin aloitetaan katsomalla ensimmäisen suojan rajoitetut arvot, minkä jälkeen palataan rajoittamattoman virran suoran kohdalle. Tästä pisteestä alaspäin nähdään tehollinen oikosulkuvirta rajoitetulle huippuvirralla ja voidaan suoraan laskeutua seuraavan suojan kuvaajalle. Seuraavan katkaisijan suorasta nähdään kyseisen suojan jälkeinen rajoitettu huippuarvo ja tehollinen virta sekä mahdollisuus jatkaa kolmannen suojan rajoituksiin.

Tehollisen virran arvoa tarvitaan läpi pääsevän energian tarkasteluun, joille on eri kuvaajat (Ks. oikeat kuvaajat huippuvirran ja energian rajoituksista, liitteet 1 ja 2).

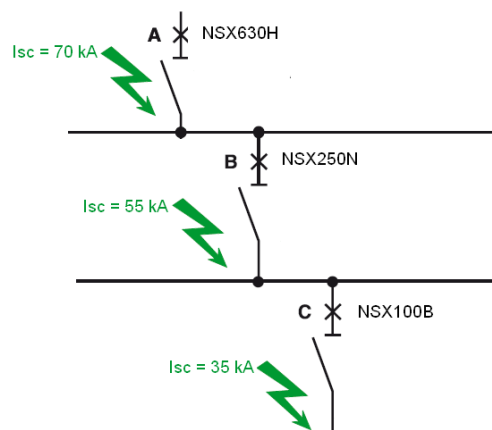
Uusissa kuvaajissa huippuvirran rajoituksen kuvaajat perustuvat IEC 60947-2:n julkaisemaan pohjaan, jossa rajoittamattoman oikosulkuvirran kuvaaja muuttuu oikosulkuvirran kasvaessa ottaen huomioon epäsymmetrian. Suorasta laskettavat kertoimet rajoittamattoman ja rajoitetun oikosulkuvirran suhteesta vastaavat IEC 60947-2 taulukon 2 kertoimia. Vanhemmissa kuvaajissa esitetään symmetrinen rajoittamaton virta. (Ks. Schneiderin uuden ja vanhanmalliset kuvaajat, liite 1.)

5.3 Kaskadikytkentä mitoituksessa

Kaskadinkytkennän muodostamisessa tarkistellaan aluksi prospektiivista oikosulkuvirtaa, joka määrää ensimmäisen suojan runkokoon. Valitulle rungolle tarkistellaan mahdollisia kaskadikytkentöjä jälkimmäisten suojien kanssa taulukoiden avulla. Mikäli kaskadikytkennät kaikille suojoille löydetään prospektiivisella oikosulkuvirralla, tarkastelua jatketaan virranrajoituksen kuvaajien avulla piirille kohdistuvien termisten ja sähködynaamisten rasituksien laskeksi.

5.3.1 Kaskadikytkennän muodostaminen

Kaskadikytkennän ehdot voidaan täyttää kahdella eri tavalla kytkennässä. Oletetaan, että kytkennässä on 3 katkaisijaa sarjassa kuvan 13 mukaisesti.



Kuva 13. Kaskadikytkentä

NSX250N ei pysty katkaisemaan takanaan esiintyvää 55 kA:n oikosulkuvirtaa, eikä NSX100B pysty myöskään katkaisemaan takanaan esiintyvää 35 kA:n oikosulkuvirtaa (taulukko 1). Tehdään tarkastelut kaskadikytkentöjen ehdoista ja tarkastellaan mitoituksen toimivuutta kahdella eri kaskadikytkennän perusteella.

1. tapa

- Tehdään kaskadikytkentä suojan A kanssa niin, että se koordinoidaan toimimaan sekä B:n kanssa, että C:n kanssa (A+B ja A+C), mutta B:n ja C:n välinen koordinaation ei tarvitse toimia. Tällöin liitteen 3 avulla nähdään NSX250N:n katkaisukyvyyn nousevan 70 kA:iin ja NSX100B:n 50 kA:iin.

2. tapa

- Koordinoidaan suojat sarjassa niin, että A on koordinoitu B:n kanssa ja B on koordinoitu C:n kanssa (A+B ja B+C), mutta A:n ja C:n välisen koordinaation ei tarvitse toteutua. Tällöin NSX250N:n vahvistuu samalla tavalla, kuin ensimmäisessä kohdassa, mutta C suojan vahvistuminen liitteen 3 mukaan onkin 36 kA vaikka 1. tavalla saatiin 50 kA:in vahvistus.

Molemmissa tilanteissa liian pienen oikosulkukatkaisukyvyyn omaavat katkaisijat selviävät tilanteesta kaskadikytkennän avulla. Ainoa ehto kaskadikytkennälle on, että tavoiteltava yhdistelmä löytyy taulukoituna. Esimerkiksi NSX630:lle ja GV2:lle ei voida tehdä kaskadikytkentää, koska niiden yhdistelmää ei ole taulukoitu.

Virranrajoituskuvaajat

Tarkastellaan rajoitettuja arvoja piirille kuvaajan avulla käyttäen kuvan 10 esimerkki lukutapaa apuna (liite 1). Tarkastelut tehdään sarjassa, kuten kaskadikytkentä ehdossa 2. Ensimmäisen kaskadikytkennän mukaan tarkastelua ei voida tehdä, koska tällöin ei oteta huomioon B:n rajoituksia C:n kohdalla. Rajoitetut arvot ovat

- suojalla A 70 kA prospektiivinen oikosulkuvirta, jonka rajoitetut arvot ovat
 - $41 \text{ kA}_{\text{peak}}$ ja $3,4 * 10^6 \text{ A}^2\text{s}$
- suojalla B 55 kA prospektiivinen oikosulkuvirta, jonka rajoitetut arvot ovat
 - $15 \text{ kA}_{\text{peak}}$ ja $7 * 10^5 \text{ A}^2\text{s}$
- suojalla C 35 kA prospektiivinen oikosulkuvirta, jonka rajoitetut arvot ovat
 - $9 \text{ kA}_{\text{peak}}$ ja $3,1 * 10^5 \text{ A}^2\text{s}$.

5.3.2 *Katkaisukyvyyn valitseminen kaskadikytkennällä*

Kaskadikytkentöjen suunnitteleminen on helppoa, jos tiedetään millaisia oikosulkuvirtoja nosturin syötössä ilmenee. Ongelmaksi voi kuitenkin muodostua mitoituksessa oikosulkuvirran arvo, jota ei välttämättä tiedetä, ja tällöin voidaan sortua niin yli- kuin alimitoituksiin, jotka ovat kustannuksien kannalta huonoja asioita. Ylimitoittaminen on kallista, mutta alimitoituksessa voi kojeisto kärsiä vahinkoja, joka saattaa tulla tästä syystä huomattavasti kalliimmaksi kuin ylimitoitettut komponentit. Alimitoitustilanteessa saatetaan myös joutua tilanteeseen, jossa määräykset eivät toteudu, jolloin mahdolliset seuraukset pahenevat.

Minkälaisia oikosulkuvirtoja on odotettavissa, voidaan usein päätellä. Vertailukohtana oikosulkuvirtojen suuruudelle voidaan etsiä esimerkiksi ABB:n TTT-käsikirjan luvusta 11, jossa on listattuna ABB:n normaalikokoiset jakelumuuntajat. Osa jakelumuuntajista osa on listattu taulukkoon 5 jossa on myös laskettuna muuntajan oikosulkuvirran I_k arvo kaavan 9 avulla.

$$I_k = \frac{c \cdot S_N \cdot 10^3}{\frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{\frac{z_k}{100}}} \quad (9)$$

jossa c = jännitekerroin (ks. 3.4.1), S_N = nimellisteho (kVA), U_N = toisiosion nimellisjännite (V), z_k = suhteellinen oikosulkuimpedanssi (%).

Taulukko 5. TTT-käsikirjan standardi muuntaja koot.

S_N [kVA]	U_{N1} / U_{N2} [kV]	z_k [%]	Laskettu		
			$I_{k,min}$ [kA]	I_k [kA]	$I_{k,max}$ [kA]
315	20±2*2,5% / 0,41	4,5	9,4	9,9	10,8
1000	20±2*2,5% / 0,41	5,5	24,3	25,6	28,2
1250	20±2*2,5% / 0,41	5,5	30,4	32,0	35,2
1600	20±2*2,5% / 0,41	5,5	38,9	41,0	45,1
2000	20±2*2,5% / 0,41	6,0	44,6	46,9	51,6
2600	20±2*2,5% / 0,69	6,0	34,4	36,3	39,9

Tarkastellaan mitoitusperusteita taulukon 3 oikosulkuvirtojen perusteella. Jaetaan tilanteet tuntemattomiin ja tunnettuihin oikosulkuvirtoihin.

Mitoitus tuntemattomalla oikosulkuvirralla

Oikosulkuvirrat ovat 9,4 - 51,6 kA taulukon 5 jakelumuuntajilla, kun muuntajien toisiosion nimellisjännite on 410 V. Yleiseksi oikosulkuvirran katkaisukykyksi voidaan valita 50 kA, tällöin katkaisukyky olisi aina riittävä normaaleilla muuntajako'oilla. Laskettu virta ylittää 50 kA, mutta kyseinen virran arvo on laskettu tapahtuvaksi suoraan muuntajan toisiossa 10 %:n ylijännitteellä. Muuntajan ja nosturin välisen kaapeloinnin voidaan olettaa rajoittavan nosturin oikosulkuvirran alle 50 kA:n suuruiseksi.

Nosturin kaikkien katkaisijoiden katkaisukyvyyn vahvistaminen 50 kA:iin on helposti saavutettavissa, kun ensimmäinen katkaisija on H-rungollinen. Tällöin B-rungolliset suojat vahvistuvat 50 kA:iin ja sitä suuremmat, F- ja N-rungot, 70 kA:iin. Toinen mahdollisuus 50 kA:n saavuttamiseen olisi käyttää N-runkoa ensimmäisenä suoja ja F-runkoa jälkimmäisinä. Vaikka yhdistelmä olisi halvempi kuin H:n ja B:n yhdistelmä, tulee lisämitoituksia ja

–kustannuksia GV2-tuoteperheen kanssa, jolloin N-rungon kanssa jouduttaisiin käyttämään GV2-P-suojaa. H-rungolla halvemman GV2ME:n kestoisuus 14 A:n ja suurempien nimellisvirtojen kohdalla saadaan nostettua 50 kA:iin ja tästä syystä H-rungon etusuoja ratkaisu on parempi vaihtoehto 380 - 415 V:lla. (Liite 3.)

Liitetään tarkasteluun vielä 440 V, joka on kaskaditaulukoiden kohdalla suurin mahdollinen jännite. Katkaisijoiden katkaisukyvyt muuttuvat 380 - 440 V:n jännitteillä, mutta kaskadikytkennän tilanteessa ei välttämättä ole näin. H ja B yhdistelmän hyvänä puolena on, ettei sen kaskadikytkennän arvo muutu 380 - 440 V:n jännitteillä käytettäessä erikokoisia NSX:iä. Tästä syystä vain H ja B yhdistelmän taulukointi on helppoa 380 - 440 V:lla ja sopii käytettäväksi yleispäteväksi yhdistelmäksi. (Liite 3.)

Yli 440 V:n jännitteillä joudutaan tilannetta katsomaan joka kerta tapauskohtaisesti. Tämä johtuu siitä, ettei taulukoita ole suuremmille jännitteille. GV2:n tilanteessa tulee huomioida, että taulukot riittävät vain 415 V:lle.

Mitoitus tunnetulla oikosulkuvirralla

Tilanne jossa syöttömuuntaja tiedetäänkin ja oikosulkuimpedanssien arvot ovat samansuuruisia kuin taulukon 5 vastaavat, voidaan mitoitukset tehdä liitteen 3 kaskaditaulukoilla. Nimellisenä oikosulkuvirtana käytetään seuraavassa suojien mitoitukseen liittyvässä esimerkissä muuntajasta saatavaa suurinta oikosulkuvirtaa 10 %:n ylijännitteellä:

- 315 ... 1 250 kVA, $I_k = 9,4 - 35,2$ kA
 - Turvallisin kytkentä olisi käyttää F-rungon katkaisijaa ensimmäisenä suojana, jonka I_{cu} -arvo on 36 kA, vahvistaa jälkimmäiset B-rungon ja GV2ME:n suojat 36 kA:iin.
 - Pienemmillä alle 1 000 kVA:n muuntajilla voidaan myös harkita pelkkien B-runkojen käyttämistä. Huomioitavaa on kuitenkin 1 000 kVA:n muuntajan 10 %:n ylijännitteen aikana oleva 28,2 kA:n oikosulkuvirta, joka voi hajottaa suojan riippuen johtimien pituudesta.
- 1 600 kVA, I_k vaihtelee 38,9 - 45,1 kA, I_k nimellisjännitteellä on 41 kA.
 - Jos ylijännitteellä laskettua I_k :ta ei oteta huomioon, pääsuojana voidaan käyttää N-runkoa, jonka jälkeen F-runkoa ja GV2-ME:tä, joka vahvistuu 40 kA:iin.

- Turvallisin vaihtoehto on kuitenkin käyttää H-runkoa pääsuojana, jolloin saadaan B-rungon ja GV2-ME:n katkaisukyky vahvistettua 50 kA:iin.
- 2 000 kVA, I_k vaihtelee 44,6 - 51,6 kA, I_k nimellijännitteellä on 46,9 kA
 - Oikosulkuvirran arvo ylittää 10 %:n ylijännitteellä 2 000 kVA:n muuntajalla yli 50 kA:n arvon. Turvallisinta olisi käyttää H-rungon katkaisijaa pääsuojana, jonka jälkeen riittää F-runko. Tällöin katkaisukyky nousee 70 kA:iin asti.
 - Toinen vaihtoehto on käyttää edellä mainittua oletusta johtimien impedanssien vaikutuksesta. Tällöin B-rungot ja GV2-ME-suojat riittävät takaamaan suojauksen 10 %:n ylijännitteelläkin.

Taulukossa 6 on yhteenveto katkaisukykyjen valinnasta. Suojien kombinaatiot ovat valittu parhaaksi katsotun suojauksen mukaisesti.

Taulukko 6. Yhteenveto suojien kombinaatioista tunnetuilla oikosulkuvirroilla

Muuntajakoot [kVA]	Oikosulkuvirta [kA]	Suojat [Etu/taka]
315...1 250	9,4 - 35,2	F/B
1600	38,9 - 45,1	H/B
2000	44,6 - 51,6	H/B

Taulukon 5 suurinta jakelumuuntajaa ei oteta huomioon, koska kaskaditaulukot riittävät vain 440 V:n jännitteille asti. Suuremmilla jännitteillä tuleekin jokaisen suojan mitoitus katsoa tapauskohtaisesti.

Katkaisijoiden katkaisukykyjen pieneneminen on myös suurta suuremmilla jännitteillä, tämän huomaa jo 2 500 kVA:n muuntajan 690 V:lla tapahtuvalla oikosulkuvirralla (taulukko 5), joka on jo niin suuri, ettei L-rungon katkaisija enää riitä. Vaikka L-rungolla on 380 V:lla 150 kA:n katkaisukyky, niin 690 V:lla katkaisukyky on enää vain 35 kA. Tässäkin tilanteessa tulisi huomioida johtimien pituudet ja niiden aiheuttamat alenemat, jos kyseessä olisi oikea mitoitus.

6 SELEKTIIVISYYS

Ylivirtasuojien ylivirtasuojauskoordinaation toisena toteutus vaihtoehtona on ylivirtaselektiivisyys. Toisin kuin varasuojauksen kohdalla, pyrkii selektiivisyys päin vastaiseen tilanteeseen eli suojat pyrkivät toimimaan oikeiden mitoitusperiaatteiden avulla yksin niiden suojausalueella.

Selektiivisyys voidaan toteuttaa käyttämällä IDMTL-kuvaajia niin, etteivät niiden kuvaajat mene peräkkäisillä suojilla toistensa päälle (ks. 3.2.2). IDMTL-kuvaajien kohdalla selektiivisyys on todennettavissa vain suojareleen aiheuttamien laukaisujen alueella eli täydellistä selektiivisyyttä ei saada välttämättä niiden avulla aikaiseksi. Vertailemalla katkaisijoiden ominaisuuksia komponenttivalmistajan ohjeiden mukaisesti voidaan päästä tilanteeseen, jossa selektiivisyys toimii myös suojareleen laukaisun ulkopuolella (ks. 6.2).

6.1 Selektiivisyyden periaate

Jos monimutkaisessa piirissä tapahtuu oikosulku, piirin toiminnan kannalta paras tilanne on, kun vain vikapaikka kytketään irti verkosta lähimmän suojan avustuksella. Suojauksen selektiivisyydellä pyritään vikatilanteissa kytkemään mahdollisimman pieni osa piiriä pois virran syötöstä ja näin katkaisemaan vikatilanne, mutta kuitenkin jättäen piirin muut osat toimintakykyisiksi.

SFS-EN 60947-1 standardin kuvaus ylivirtaselektiivisyydelle:

Kahden tai useamman ylivirtasuojan toimintaominaisuuksien koordinointi siten, että ylivirtojen ollessa tiettyjen rajojen sisällä se suojalaite toimii, jonka tulisi toimia tällä alueella ja muut suojalaitteet eivät toimi /2, s. 41/.

Huomautus:

Toisistaan erotetaan sarjaselektiivisyys, jossa ylivirtasuojien läpi kulkee käytännöllisesti katsoen sama ylivirta, sekä verkoselektiivisyys, jossa identtisten suojalaitteiden läpi kulkee erisuuret osat ylivirrasta /2, s. 41/.

SFS-EN 60204-32:n katkaisijaan liittyvässä kohdassa on tärkeä kohta liittyen nosturin selektiivisyyteen:

Kuorman kannatuselimet, jotka eivät kykene kantamaan kuormaa ilman energiaa (esim. magneetit tai pneumaattiset kannatusvälineet), on syötettävä katkaisijan etupuolelta /5, s. 70/.

Tässä tilanteessa katkaisija on nosturin pääsuoja (vrt. 4.2), jonka etupuolelta otetaan syöttö kuorman kannatuselimelle. Tällöin nosturin pääsuojan laukeaminen ei aiheuta kuorman putoamista. Sähköt kannatuselimeltä katoavat vain, jos oikosulku tapahtuu esimerkiksi virtaradalla, joka aiheuttaa nosturia syöttävän keskuksen tai muuntajan suojan toimimisen. Kannatuselimen piiriä

voi ajatella samanlaisena kuin valaistuksen ja lämmityksen piiriä, joka on erikoispiirin tavoin otettu pääsuojan etupuolelta.

6.2 Selektiivisyys mitoituksessa

Varmin tapa todeta suojien selektiivinen toiminta on käyttää komponentti-valmistajan antamia taulukoita. Schneiderin Complementary technical informationissa olevan ohjeen avulla pystytään toteamaan Schneiderin suojien selektiivisen toiminnan 220, 380, 415 ja 440 V:n jännitteillä. Taulukoista nähdään suurin vikavirran arvo, jolla suojat toimivat selektiivisesti. Mikäli prospektiivinen oikosulkuvirta on suurempi kuin taulukoissa oleva, toimivat molemmat suojat vikatilanteessa. (Ks. selektiivisyystaulukot liite 4.)

Taulukoita käytettäessä vaaditaan selektiivisyyden varmistamiseksi NSX:n, NS:n ja GV2:n suojareleiden asetteluarvojen ja runkokokojen suhteiden muuttamista taulukoiden 7 ja 8 ehtojen mukaisesti. Selektiivisyyssehdoissa vertaillaan etummaisena ja jälkimmäisenä suojan ylikuormituksen, oikosulkusuojauksen ja NSX:n tilanteessa myös runkokokojen suhteita. Ehtojen täyttäminen antaa suojille mahdollisuuden toimia luonnollisesti selektiivisinä. Kun suojareleiden asetuksien ja runkokokojen suhteet ovat ehtojen mukaiset, eivät IDMTL-kuvaajien kuvaajat (ks. 3.2.2) mene toistensa päälle ja pikalaukaisussa jälkimmäinen suoja toimii ensimmäisenä taulukoiden antamaan virran arvoon asti.

Ehtojen avulla hyödynnetään katkaisijan virta-, aika- ja energiaselektiivisyyksien ominaisuudet. Virtaselektiivisyydellä tarkoitetaan ylikuormitussuojauksen asetusta, ajalla oikosulkusuojauksen asetusta ja energialla virranrajoitukseen liittyvää pikakatkaisun hyödyntämistä.

Taulukko 7. NS(X):n selektiivisyyden ehtoja /13, s. 7/

1. suoja	2. suoja	1./2. Suhde		
		Runkokoko	I_r	I_m
TM	TM tai Multi 9	$\geq 2,5$	$\geq 1,6$	$\geq 2,0$
	Micrologic	$\geq 2,5$	$\geq 1,6$	$\geq 1,5$
Micrologic	TM tai Multi 9	$\geq 2,5$	$\geq 1,6$	$\geq 1,5$
	Micrologic	$\geq 2,5$	$\geq 1,3$	$\geq 1,5$

Vastaavasti GV2:lle selektiivisyys ehdot NSX:n kanssa ovat taulukon 8 mukaiset. GV2:n kohdalla vertailu on yksinkertaisempi, koska runkokokojen vertailua ei ole.

Taulukko 8. GV2:n selektiivisyys ehtoja /13, s. 115/

NSX	GV	NSX/GV suhde	
		I_r	I_m
TM	MA+lämpörele	≥ 3	$\geq 2,0$
	Termo-magneetti	≥ 3	$\geq 2,0$
Micrologic	MA+lämpörele	≥ 3	$\geq 1,5$
	Termo-magneetti	≥ 3	$\geq 1,5$

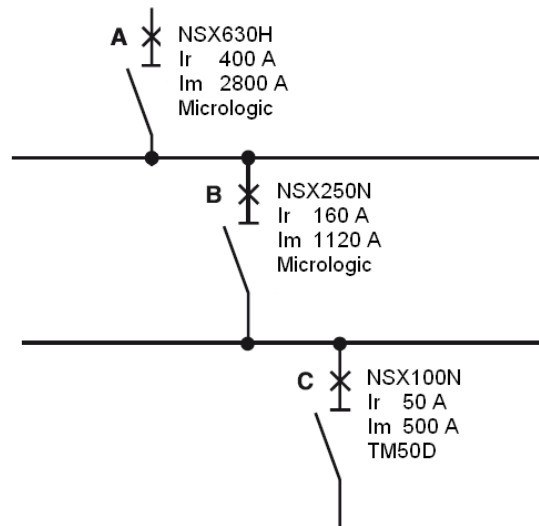
Taulukot eivät huomioi hidastuksia, kuten I^2t . Mikäli sitä käytetään kytkennässä, tulee ottaa huomioon suojan jälkeiset kojeistot, joiden on kestävä läpi pääsevän energian arvo.

6.2.1 Vahvistettu selektiivisyys

Selektiivisyys taulukoiden lisäksi on myös taulukoita, joista nähdään selektiivisyyden lisäksi suojien kaskadikytkennän vahvistettu oikosulkukatkaisukyvyn arvo. Tässä työssä käytetään kyseisistä taulukoista nimitystä vahvistettu selektiivisyys. Arvot vahvistetun selektiivisyyden taulukoissa ilmoitetaan kiloampeereina esimerkiksi 30/50. 30 tarkoittaa tässä tapauksessa selektiivisyyden raja-arvoa eli oikosulkuvirran ylittäessä 30 kA molemmat suojat toimivat, mutta alle 30 kA vain jälkimmäinen suoja toimii. 50 kA tarkoittaa jälkimmäisen suojan kaskadikytkennän arvoa. (Ks. vahvistetun selektiivisyyden taulukot liite 5.)

6.2.2 Selektiivisyyden esimerkki

Tarkastellaan suojareiden mitoitusavulla selektiivisyyden ehtoja. Oletetaan kytkennän olevan kuvan 14 mukainen (ks. seuraava sivu).



Kuva 14. Selektiivisyys esimerkki

Vertailaan suojaireiden ja runkokokojen eroja selektiivisyyden todentamiseksi. Taulukkoon 9 on taulukoitu tarvittavat arvot selektiivisyysehtojen täyttymisen tutkimiseen.

Taulukko 9. Selektiivisyyden esimerkki

Etusuoja		Jälkimmäinen suoja		Suojaus		Runko NSX ylä / ala	Selektiivinen
Katkaisija	Asettelu	Katkaisija	Asettelu	I_r ylä / ala	I_m ylä / ala		
NSX630H Microl. 630	I_r 400 I_{sd} 2800	NSX250N Microl. 250	I_r 160 I_{sd} 1120	3	2,50	2,52	KYLLÄ
NSX630N Microl. 630	I_r 400 I_{sd} 2800	NSX100N TM50D	I_r 50 I_m 500	8	5,60	6,3	KYLLÄ
NSX250N Microl. 250	I_r 160 I_{sd} 1120	NSX100N TM50D	I_r 50 I_m 500	3	2,24	2,5	KYLLÄ

Kaikki kytkennän kombinaatiot toteuttavat selektiivisyys ehdot eli niiden selektiivisyyden virtarajoja voidaan tarkastella taulukoista (taulukko 9). Liitteestä 4 (s. 1) nähdään NSX250:n ja NSX100:n välisen selektiivisyyden toteutuvan 36 kA:iin asti. NSX630:llä molemmat jälkimmäisistä suojusta toimivat selektiivisesti niiden äärimmäiseen katkaisukykyyn I_{cu} :hun asti. Tuloksista voidaan päätellä, että alle 36 kA:n oikosuluilla toimii vain NSX100N. 36 kA suuremmilla oikosuluilla toimivat NSX100N ja NSX250N 50 kA:iin asti, joka on niiden suurin katkaisukyky.

Tarkastellaan kytkentää vielä vahvistetun selektiivisyyden kannalta (ks. liite 5). NSX100 ja NSX250 ovat molemmat N-rungollisia, joten niille ei ole kyseisiä taulukoita. NSX630H:n ollessa etusuojana on molempien jälkimmäisten suojiin kohdalla merkintänä 70/70. Tästä johtuen toisin kuin pelkkien selektiivisyystaulukoiden mukaan selektiivisyys onkin taattu yli 36 kA:n oikosuluilla 70 kA:iin asti NSX100:lla ja NSX250:llä NSX630:n suhteen. Alle 36 kA:n oikosuluissa ei kuitenkaan tapahdu muutoksia laukeamisjärjestyksessä.

7 SUUNNITTELUESIMERKKI

Seuraavaksi esimerkki koordinaatioiden käyttämisestä suunnittelussa, käyttäen apuna kuvaajia ja taulukoita. Liitteen 6 sivut 1 ja 2 ovat nosturin 1-tiekaavio, jonka sähköiset mitoitusarvot kuuluvat oikealle nosturille. Esimerkissä käytetyt suojat ovat NSX-katkaisijoita ja GV-moottorisuojakytkimiä. 1-tiekaaviosta erotellaan seuraavat piirit mitoituksiin:

- valaistus- ja lämmityspiiri
- nostoelimen piiri
- pääpiiri.

Nosturin jännite on 415 V ja taajuus 50 Hz, mutta nosturin syötössä olevaa prospektiivisesta oikosulkuvirtaa I_{sc} ei tunneta. Tehdään mitoitus tuntemattomalla oikosulkuvirralla (ks. 5.3.2), tällöin oletetaan prospektiivinen oikosulkuvirta nosturin syötössä olevan maksimissaan 50 kA:n suuruinen. Tehdään suojiin mitoitus tämän oletuksen perusteella. Liitteen 6 1-tiekaavioissa on nähtävissä rajoitetut arvot ja valitut suojiin runkokoot. Toisin kuin 5.3.1 esimerkissä, tehdään muunnokset huippuarvojen ja tehollisarvojen välillä kuvan 6 mukaisten kertoimien avulla. Kaskadikytkennät esimerkissä tehdään 5.1 tavan 1. mukaan.

7.1 Valaistus- ja lämmityspiirin mitoitus

Valaistus- ja lämmityspiirille laskettu jatkuvan virran arvo on 63 A ja oikosulkuvirran arvo edellä mainittu 50 kA. Piiriin pääsuojan NSX100:n rungoksi valitaan H- tai N-runko, varustettuna 63 A:n nimellisvirralla toimivalla TM63D suojarahleella. H- ja N-rungot toimivat molemmat kyseisellä oikosulkuvirran arvolla (ks. taulukko 1).

Ratkaiseva tekijä ensimmäisen suojan rungon valinnan kannalta ovat jälkimmäiset suojat piirissä, jotka ovat GV2-ME-moottorisuojakytкимиä. Yli 10 A:n GV2-ME:llä oikosulkukatkaisukyky on 15 kA 400 V:lla, joten näille on löydettävä kaskadikytkentä /15, s. 10/. Vaihtoehtoisesti on mahdollista korvata suojat esimerkiksi suuremmalla katkaisukyvyllä varustetulla GV2-P:llä, jotta suojat kestäisivät piiriltä odotetun prospektiivisen oikosulkuvirran.

NSX100 - 250 H-rungot vahvistavat yli 10 A:n GV2-ME:t 50 kA:n ja N-rungot 40 kA:n oikosulkukatkaisukykyyn (ks. liite 3). Tästä johtuen ensimmäisen suojan rungoksi valitaan H, jonka ansiosta kytkennässä olevat GV2-ME32, -ME21 ja -ME16 toimivat oikein omasta katkaisukyvystään huolimatta.

Kaskadikytkentä on nyt toimiva ja tiedetään, että suojat kestävätkin nosturin syötössä olevan 50 kA:n oikosulkuvirran. Tarkastellaan seuraavaksi kojeiston mitoitus oikosulkuvirtojen rajoituskäyrien perusteella. Liitteistä 1 ja 2 nähdään minkälaiset rajoitetut arvot suojat päästävät lävitseen, jonka perusteella voidaan tehdä haarojen kojeistojen mitoituksia.

Sähködynaamiset voimavaikutukset kasvavat virran neliön mukaan (ks. 3.5.1), jolloin voimien vertailua ennen ja jälkeen katkaisijan voidaan tehdä virran huippuarvoja vertaamalla. Taulukossa 10 on oikosulkuvirtojen tehollisarvot ja rajoittamattomat huippuarvot, joita verrataan suojien jälkeisiin rajoitettuihin huippuarvoihin. *Jäljellä*-sarake kuvaa huippuvirtojen neliöiden prosentuaalista eroa eli voimavaikutuksien eroa. Viimeinen sarake on läpi pääsevän energian arvo.

NSX100H:n kohdalla käytetään tehollisarvona nosturin syöttöliittimien prospektiivista oikosulkuvirtaa, ja tästä syystä se on erotettu muista kaksoisvirralla. Muiden suojien kohdalla NSX100H:n rajoittaman virran tehollisarvoa.

Taulukko 10. Valaistus- ja lämmityspiirin dynaamisten vaikutusten pieneneminen

Suoja	I_{sc} [kA]	I_{peak} [kA]	$I_{peak,rajoitettu}$ [kA]	Jäljellä [%]	I^2t [kA ² s]
NSX100H	50,0	114,5	19,5	2,9	600
GV2-ME32	11,5	19,5	6	9,5	70
GV2-ME21	11,5	19,5	5,5	8,0	63
GV2-ME16	11,5	19,5	4,6	5,6	35
GV2-ME07	11,5	19,5	1	0,3	1,6

Suuri ero sähködynaamisissa voimissa nähdään jo ensimmäisellä suojalla, jossa NSX100H pudottaa sähködynaamiset rasitukset 2,9 %:iin alkuperäisestä voimasta. Verrattaessa pienintä rajoitettua arvoa NSX100H:n rajoitettuun arvoon on alkuperäisestä voimasta jäljellä vain prosentin kymmenesosa. Mikäli vertailu tehtäisiin prospektiiviseen oikosulkuvirtaan, olisi kysymyksessä enää promillen luokkaa oleva voimavaikutus. (Taulukko 10.)

Tarkastellaan lopuksi täyttävätkö piirissä olevat NSX ja GV2:t selektiivisyyden ehdot (ks. taulukko 8). Taulukosta 11 nähdään asetteluarvot, niiden suhteet kytkennässä ja selektiivisyysehtojen toteutuminen.

Taulukko 11. Valaistus- ja lämmityspiirin selektiivisyys

Etusuoja		Jälkimmäinen suoja		Suojaus		Runko NSX ylä / ala	Selektiivinen
Katkaisija	Asettelu	Katkaisija	Asettelu	I_r ylä/ala	I_m ylä/ala		
NSX100N TM63D	I_r 63 I_m 500	GV2 ME-21	I_r 23 I_m 327	2,74	1,53		EI
NSX100N TM63D	I_r 63 I_m 500	GV2 -ME32	I_r 28 I_m 416	2,25	1,20		EI
NSX100N TM63D	I_r 63 I_m 500	GV2 -ME16	I_r 14 I_m 170	4,50	2,94		KYLLÄ
NSX100N TM63D	I_r 63 I_m 500	GV2 -ME07	I_r 2 I_m 33,5	31,50	14,93		KYLLÄ

I_r asettelut perustuvat kunkin haaran laitteiden tarvitsemaan virtaan (ks. suoja-areleiden säätömahdollisuudet NSX:llä, 3.2.2). GV2:lla I_r :n asetteluarvo on noin $0,6 - 1,0 * I_N$ suojasta riippuen ja I_m :n arvo on maksimissaan $13 * I_r$. /15, s. 8./

Verrattaessa suojiin asetteluarvoja huomataan, että vain osa piiristä toteuttaa selektiivisyyden ehdot (taulukko 11). Liitteestä 4 (s. 2) nähdään ehdot täyttävien kytkentöjen selektiivisyyksien rajat. GV2-ME16:n ja NSX100H:n kohdalla selektiivisyys toteutuu vain 0,5 kA:iin asti ja tätä suuremmilla vikavirran arvoilla toimii molemmat suojat. GV2-ME07 ja NSX100H toimivat selektiivisesti 50 kA:iin asti. Vahvistetun selektiivisyyden taulukoita ei ole ollenkaan NSX100H:lle, joten tarkastelua ei voida suorittaa tältä osin.

Selektiivisyysehtojen täyttäminen koko piirissä olisi hyvin vaikeata kyseisellä piirillä, koska tällöin jouduttaisiin nostamaan ensimmäisen suojan kokoa. Liitteen 4 (s. 2) mukaan ensimmäinen kombinaatio, jolla saataisiin selektiivisyys aikaiseksi GV2-ME32:n kanssa, olisi NSX100H ja TM100D -yhdistelmä.

Kaskadikytkennöissä ei olisi muutoksia, eikä myöskään rajoitusarvoissa, koska katkaisijan runko on sama. Suojareleen vaihdosta huolimatta selektiivisyys olisi taattu vain suojareleen oikosulkusuojaukseen asti.

Selektiivisyyden hakeminen kyseisellä tavalla ei kuitenkaan ole suositeltavaa, koska tällöin ensimmäisenä suojana toimiva NSX ei suojaisi lievää ylikuormitusta vastaan. Tämä johtuu suuremmasta I_n:n asetteluarvosta, jota jouduttaisiin nostamaan suhteiden toteutumiseksi. Jos selektiivisyys toteutettaisiin kyseisellä tavalla, olisi selektiivisyyden raja osalla kytkennästä niin alhainen, että se toimisi vain ylikuormitustilanteissa. Oikosulkutilanteissa selektiivisyys ei enää toimisi suurempien GV2:n kohdalla.

7.2 Magneetin mitoitus

Kuormaelimen eli magneetin kohdalla mitoituksessa tarkasteltaisiin magneetin valmistajan antamien ohjearvojen täyttymistä. Tässä työssä ei kuitenkaan ole magneetin oikosulkukestoisuuksia tai tietoa, miten magneetin valmistajan omat suojalaitteet toimivat. Tästä johtuen esimerkin suoja magneetille valitaankin vain nimellisvirran ja prospektiivisen oikosulkuvirran perusteella.

Magneetti tarvitsee 35 A:n nimellisvirran, ja tällöin suojaksi valitaan NSX100 TM40D-suojareleellä, jolle asetetaan oikea nimellisvirran arvo suojareleen asetuksilla. Kuten valaistus- ja lämmityspiirin tilanteessa voidaan tässäkin tilanteessa harkita H- tai N-rungon käyttämistä. Magneetti on kuitenkin yksin piirissä suojan jälkeen, joten H-runkoa ei käytetä.

Kaskadikytkentää ei tarvita, joten N-runko 50 kA:n katkaisukyvyllä riittää tässä tilanteessa. Kustannusten kannalta N-rungon käyttö on myös parempi vaihtoehto tässä piirissä. Eri runkokooilla ei ole omia rajoitustaulukoita (ks. liite 1), joten rajoitetut arvot suojan jälkeen ovat samat kuin edellä olevan valaistus- ja lämmityspiirin ensimmäisen suojan rajoitetut arvot (taulukko 10). Kyseisiä arvoja tulee verrata magneetin valmistajan ilmoittamiin arvoihin.

7.3 Pääpiirin mitoitus

Pääpiirin kojeistojen jatkuvan virran arvoksi on laskettu 500 A. Sopiva pääsuoja on NSX600 Micrologic 2.2.630 suojareleellä, jolla nimellisvirta saadaan säädettyä 500 A:iin. Katkaisukyvyyn tarkistelussa tilanne on samanlainen, kuin valaistus- ja lämmityspiirien kohdalla.

Pääsuojan jälkeen on kolme NSX:ää ja kolme GV2:ta. NSX:t ovat kooltaan kaksi 100 A:n ja yksi 400 A:n. NSX630 toimiessa ensimmäisenä suojana löytyvät kaskaditaulukot kaikille NSX:lle, mutta GV2:lle kaskaditaulukot löytyvät vain etusuojan ollessa NSX100 - 250. Tästä johtuen joudutaan yli 10 A:n asetteluarvolla olevat suojat valitsemaan GV2-P-sarjasta GV2-ME:n sijaan. 10 A ja pienemmällä GV2-ME:llä katkaisukyky on yli 100 kA 400 V:n jännitteellä ja GV2-P:llä on 400/315 V:n jännitteillä kaikilla koko luokilla vähintään 50 kA, joten GV2-P:tä voidaan käyttää tässä esimerkissä /15, s. 10/.

Kaskadikytkentää tarkastellaan vain NSX:ien osalta. Pääpiiriin voidaan tehdä samanlainen valinta, kuin valaistus- ja lämmityspiiriin, jolloin ensimmäiseksi suojaksi valitaan H-runko. Tällöin liitteen 3 (s. 1) taulukon mukaan NSX100:t valitaan B-rungoksi ja NSX400 F-rungoksi. NSX400:aa ei ole saatavilla B-rungolla (taulukko 1), joten tässä tilanteessa H:n ja F:n väliseksi kaskadikytkennäksi saadaan 70 kA, mutta H:n ja B:n välillä se on 50 kA.

Vaihtoehtoisesti voitaisiin valita NSX630:n rungoksi N, jolloin NSX400 pysyy edelleen pienimmässä rungossaan, mutta NSX100:lla B-rungot korvataan F-rungolla. Tälläkin kytkennällä saavutetaan 50 kA. N:n ja F:n yhdistelmää voitaisiin tässä tilanteessa käyttää, koska kaskadikytkentöjä ei tarvita GV2-ME:n kanssa, toisin kuin valaistus- ja lämmityspiirissä. Liitteen 6 (s. 1 ja 2) 1-tiekaavioissa rungoiksi valittiin NSX630H, NSX400F ja NSX100B:t.

Tarkastellaan seuraavaksi liitteiden 1 ja 2 avulla rajoitettuja arvoja, jotka on taulukoitu taulukkoon 12. Kuten valaistus- ja lämmityspiirissä käytetään NSX630H:lle nosturin prospektiivista oikosulkuvirtaa ja tästä syystä se on erotettu muista kaksoisviivalla. Muiden suojien rajoituksia tarkastellaan pääsuojan rajoitettujen arvojen perusteella.

Taulukko 12. Pääpiirin rajoitetut arvot ja vertailu

Suoja	I_{sc} [kA]	I_{peak} [kA]	$I_{peak,rajoitettu}$ [kA]	Jäljellä [%]	I^2t [kA ² s]
NSX630H	50	114,5	36	9,9	3100
NSX400F	17,65	36	19	27,9	1800
NSX100B	17,65	36	13	13,0	500
GV2-P32	17,65	36	7	3,8	63
GV2-P16	17,65	36	5,7	2,5	30
GV2-ME07	17,65	36	0,46	0,0	0,31

Taulukot 10 ja 12 ovat hyviä esimerkkejä virranrajoituksen pienenemisestä kun katkaisijan koko kasvaa. Vaikka NSX630:tä rajoittaa voimavaikutuksen 10 %:iin alkuperäisesti ei se pääse yhtä voimakkaaseen rajoitukseen, kuin vastaavassa tilanteessa oleva NSX100. Pääpiirissäkin nähdään pienen GV2-ME07:n erittäin voimakas virranrajoitus, jossa huippuvirta ja läpipääsevä energia ovat alle prosentin kymmenyksen vertailtaessa pääsuojan rajoitettuihin arvoihin.

Tarkastellaan, toteutuvatko selektiivisyys ehdot (ks. taulukot 7 ja 8). Taulukoon 13 on kerätty pääpiirin selektiivisyyden todentamiseen tarvittavat asetteluarvot, runkokoot ja niiden suhteet.

Taulukko 13. Pääpiirin selektiivisyys

Etusuoja		Jälkimmäinen suoja		Suojaus		Runko NSX ylä / ala	Selektiivinen
Katkaisija	Asettelu	Runko	Asettelu	I_r ylä / ala	I_m ylä / ala		
NSX630N Microl.630	I_r 500 I_m 3000	GV2 -ME07	I_r 1,5 I_m 33,5	333	89,55		KYLLÄ
NSX630N Microl.630	I_r 500 I_m 3000	GV2 -P16	I_r 12 I_m 170	41,67	17,65		KYLLÄ
NSX630N Microl.630	I_r 500 I_m 3000	GV2 -ME32	I_r 32 I_m 416	15,63	7,21		KYLLÄ
NSX630N Microl.630	I_r 500 I_m 3000	NSX100F TM80D	I_r 80 I_m 640	6,25	4,69	6,3	KYLLÄ
NSX630N Microl.630	I_r 500 I_m 3000	NSX400F Microl.400	I_r 286 I_m 1716	1,75	1,75	1,575	EI

Pääpiiri toimii selektiivisesti muissa tilanteissa paitsi nostomoottorin taajuusmuuttajan suojan osalta. Selektiivisyys taajuusmuuttajien suojauksien osalta toteutuukin vain harvoin, kun nosturilla on vain yksi nostomoottori. Esimerkin tilanteessa nostomoottorin taajuusmuuttaja ottaa yli 50 %

pääpiirin tarvitsemasta virrasta, jolloin taajuusmuuttajan suojan ja pääsuojan koko ero on liian pieni selektiivisyyden toteuttamiseksi.

NSX630H:n ollessa hyvin suuri verrattuna muihin paitsi NSX400F:ään, päästään tilanteeseen missä selektiivisyys on taattu 50 kA:iin asti jokaisella suojalaitteella, jotka täyttävät selektiivisyys ehdot. NSX630:n ja NSX100B:n välinen vahvistettu selektiivisyys on mahdollista nähdä taulukosta (ks. liite 4). Taulukosta voidaan todeta samat arvot mitä pelkistä kaskadikytkennän ja selektiivisyyden taulukoista nähtiin eli 50 kA:iin asti toimiva selektiivisyys ja katkaisukyvyyn vahvistus 50 kA:iin.

8 SULAKE VIRRAN RAJOITUKSESSA

Pienjännitesulakkeita ovat esimerkiksi kahva- ja tulppasulakkeet. Teollisuuskäytöissä ja sähköjakelussa käytetään usein kahvasulakkeita, koska katkaisukyky ja nimellisjännitteet ja -virrat on suurempia kuin tulppasulakkeilla. Tulppasulakkeilla pääasiassa katkaisukyky rajoittaa niiden käyttöä. Kahvasulakkeilla on erittäin hyvät katkaisuominaisuudet. Vielä 690 V:n jännitteellä niiden katkaisukyky voi olla 80 kA kun vastaavilla kompaktikatkaisijoilla jäädään suurimmillaan vain 36 kA:n katkaisukykyyn.

Sulakkeiden soveltuvuutta eri toimintoihin kuvataan kirjainyhdistelmillä. Näin erotetaan eri suojaustarkoituksiin tarkoitetut sulakkeet. Ensimmäisellä kirjaimella ilmaistaan katkaisualuetta, jotka ovat:

- g-sulake on sulake, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen
- a-sulake on sulake, jonka katkaisukyky käsittää vain tietyn osa-alueen esimerkiksi oikosulkusuojauksen. /16, s. 24./

Toinen kirjain ilmaisee käyttöluokkaa, joka määrittelee esimerkiksi virta-aikaominaisuudet /16, s. 24/. Sulakkeiden käyttötarkoitukseen soveltuvuuksia määritellään standardissa SFS-EN 60269-1, joita on esimerkiksi:

- gG = yleiskäyttöön tarkoitettu sulake, jonka katkaisukyky käsittää koko virta-alueen, käytetään esimerkiksi johdonsuojaukseen
- aM = moottoripiirin suojasulake, jonka katkaisukyky käsittää virran tietyn osa-alueen
- gM = moottoripiirin suojasulake, katkaisukyky käsittää koko virta-alueen. /16, s. 24./

Teollisuuskäytöissä gG sulakkeesta käytetään myös kirjain yhdistelmää gL, joka ominaisuuksiltaan on samanlainen kuin gG. Nykyään gG-sulakkeita käytetään usein moottoripiirin suojaukseen. SFS-EN 60269-1 mainitaan vielä huomautuksena gG:n käyttömahdollisuuksista moottorien kohdalla:

Tämä on mahdollista, kun sulakkeet ovat ominaisuuksiltaan sellaisia, että ne kestävät käynnistysvirran /16, s. 24/.

8.1 Sulakkeen toiminta

Kahvasulakkeella ja tulppasulakkeella virrankatkaisuun kuluva aika voidaan jakaa sulakeliuskan sulamisaikaan ja tämän jälkeen katkaisun päättymiseen kuluvaan aikaan eli valokaariaikaan. Oikosulkuutilanteen alettua tarvitsee sulakkeen läpi kulkea tietty energia niin, että saavutetaan sulakkeelle ominainen I^2t -arvo, jolloin sulakelanka tai -nauha sulaa, ja johdin tästä johtuen katkeaa. Johtimen katkeamisessa johdin höyrystyy. Syntynyt metallihöyry on käytännössä ionisoimatonta ja hyvä eriste. Yhdessä kasvavan valokaariresistanssin ja valokaaren sammutusaineen kanssa resistanssi kasvaa nopeasti ja oikosulkuvirta laskee nolnaan.

Sulakkeen palettua toimintaindikaattori ilmoittaa käyttäjälle, että sulake on toiminut. Sulakkeet sijoitetaan esimerkiksi kolmivaiheiseen varokekytkimeen, joka syöttää esimerkiksi moottoria. Varokekytkin ei kuitenkaan huomaa mikäli yksivaiheinen oikosulku aiheuttaa sulakkeen palamisen ja moottori jatkaa toimintaansa kahden vaiheen avulla. Tällöin varokekytkimen rinnalle asennetaan sulakevahti, joka valvoo sulakkeiden toimivuutta.

Sulakevahti

Sulakevahti asennetaan varokekytkimessä olevien sulakkeiden rinnalle. Esimerkki asennuksesta kuvan 15 osoittamalla tavalla.



Kuva 15. ABB:n OS-kytkinvaroke ja sulakevahti /17, s. 2./

Sulakevahdin sisäinen vastus on suurehko, verrattuna sulakkeen sisäiseen vastukseen. Rinnankytkennässä virranjako yhtälön perusteella suurin osa virrasta kulkee sulakkeen läpi ja vain murto-osa sulakevahdissa.

$$I_s = \frac{R_s}{R_s + R_{sv}} * I \quad (10)$$

$$I_{sv} = \frac{R_s}{R_s + R_{sv}} * I \quad (11)$$

joissa I = piirin kokonaisvirta (A), I_s = sulakkeen virta (A), I_{sv} = sulakevahdin virta (A), R_s = sulakkeen sisäinen resistanssi (Ω), R_{sv} = sulakevahdin sisäinen resistanssi (Ω).

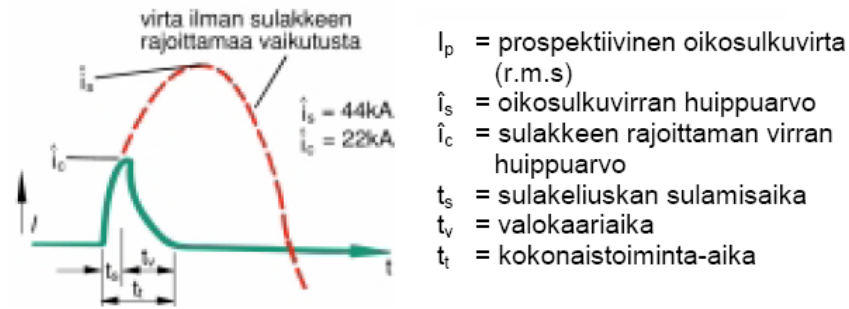
Oikosulkutilanteessa valokaariajan aikana alkaa sulakkeen vastus kasvaa, jonka seurauksena virtaa alkaa kulkea enemmän sulakevahdin lävitse. Tällöin sulakevahti havahtuu avaa esimerkiksi pääkontaktorin ja estää näin esimerkiksi moottorin käymisen vain kahdella vaiheella /18, s. 2/.

Sulakevahdin toiminta ja käyttötapa on hyvin samanlainen kuin moottorilähtöihin tarkoitetuilla suojarleillä. Moottorilähtöjen suojarleet reagoivat, jos yhden vaiheen virta laskee 40 % vaiheiden virtojen keskiarvosta, tällöin oletetaan vaiheessa olevan jotain vikaa ja estetään käyminen kahdella vaiheella. Normaalisissa sähköjakeissa ei katkaista kaikkia sähköjä, mikäli yksi vaihe vikaantuu. Tästä johtuen sulakevahteja käytetäänkin vain esimerkiksi moottorien suojausten yhteydessä, jossa epäsymmetriaa ei saa ilmetä.

8.2 Virranrajoitus

Sulakkeen virranrajoituskyky perustuu oikosulkutilanteen sulamisajan jälkeen syntyvään valokaariresistanssin ja valokaaren sammuttamisen edistävän aineen aiheuttamaan nopeaan resistanssin kasvuun. Kuten katkaisijoiden kohdalla, myös sulakkeille on tehty virranrajoituskäyrästöt, joista nähdään rajoitetun oikosulkuvirran huippuarvo tietyllä oikosulkuvirran tehollisarvolla /18, s. 18/.

Rajoitetun oikosulkuvirran käyrämuoto on hyvin samanlainen kuin katkaisijoiden, mutta jyrkempi sulamisajan jälkeisessä oikosulun sammutuksessa.



Kuva 16. Sulakkeen virranrajoitus ABB:n TTT-käsikirjasta /18, s. 18./

Oikosulkuvirran katkaisu sulakkeella poikkeaa katkaisijasta (vrt kuvat 10 ja 16). Katkaisijalla vastaava virran käyttäytyminen muistuttaa enemmän sini-aaltoa. Katkaisijalla avautuminen alkaa aikaisemmin ja siinä impedanssi kasvaa tasaisemmin. Sulakkeella virran katkaisu perustuu läpi kulkevan energian määrään. Ennen kuin katkaisu tapahtuu, tarvitaan tietty määrä energiaa I^2t , että sulakelanka sulaisi poikki. Tästä johtuen sulakkeen oikosulkuvirran kuvaajassa oikosulkuvirta seuraa kuvaajaa siihen pisteeseen asti, jossa sulakelanka sulaa poikki (kuva 16). Tämän jälkeen syntyy valokaari, jossa valokaariresistanssi, valokaaren sammutuksen kvartsihiekkä ja ionisoimaton metallihöyry hoitavat nopean katkaisun.

Sulakkeille julkaistaan samanlaisia kuvaajia huippuarvon rajoituksesta kuin katkaisijoillekin. Niissä tarkastelu tehdään katkaisijoiden kanssa samalla tavalla kuvaamalla läpi pääsevää huippuarvoa eri oikosulun tehollisarvoilla. (Ks. esimerkki huippuvirran rajoituksesta, liite 7.)

Oikosulkutilanteessa läpi pääsevän energian I^2t -rajoituskäyrät poikkeavat kuitenkin toisistaan. Sulakkeiden kohdalla I^2t -sulamiskäyristä SFS-EN 60269-1:ssä sanotaan

Sulamisaajoista, jotka ovat 0,1 s lyhyempiä ja vähintään nimelliskatkaisukykyä vastaavan ajan pituisia, valmistaja esittää I^2t -sulamisominaiskäyrät. Ne edustavat prospektiivisen virran funktiona alhaisimpia arvoja, joita todennäköisesti esiintyy käytön aikana.

Valmistaja esittää 0,1 s lyhyempien sulamisaikojen I^2t -toimintominaiskäyrät, joissa tietyt jännitteet ovat parametreinä. Ne edustavat prospektiivisen virran funktiona suurimpia arvoja, joita todennäköisesti esiintyy käytön aikana. /16, s. 25./

Siteerauksilla tarkoitetaan, että sulakkeiden kohdalla esitetään vain huonoin mahdollinen tilanne oikosulkutilanteen kokonaisenergiassa. I^2t :n tarkastelu

tehdään siis vain suurimmalla mahdollisella prospektiivisellä oikosulkuvirralla eikä useilla tehollisarvoilla kuten katkaisijoiden kuvaajissa.

8.3 Sulake ja katkaisija

Sulakkeiden ja katkaisijoiden yhteiskäytölle kytkennöissä ei NSX:ien tilanteessa löydy koordinaatiotaulukoita. GV2:lle on ilmoitettu datalehdillä katkaisukyvyyn muuttumiset, mikäli niiden edessä käytetään gG- tai aM-sulaketta. Tarkasteltaessa katkaisijoiden ja sulakkeiden yhdistelmiä, joille ei ole vastaavaa tietoa, voidaan vertailua tehdä vain datalehdiltä saaduilla teknisillä tiedoilla ja vertailla suojiin ominaisuuksia niiden avulla.

Vertaillaan katkaisijaa ja sulaketta kuvaajien avulla. Liitteessä 8 on ABB:n OFAA GG -kahvasulakkeiden ja Schneiderin Compact NSX -katkaisijoiden virranrajoituksen taulukot 690 V:n jännitteellä, joissa on valittuna 160 A:n ja 630 A:n kuvaajat. Koska sulakkeiden kohdalla energian rajoituksen kuvaajat ovat huonoimman mahdollisen tilanteen energia, on sen vertailua helppoa katkaisijaan nähden. Tästä syystä sulakkeiden arvo on piirretty vaaleanpunaisena katkaisijan kuvaajaan.

Energianrajoituksesta nähdään katkaisijan päästävän aina suuremman energian lävitseen, jos verrataan katkaisijan I_{cu} :n kohdalla olevaa läpi päässyttä energiaa sulakkeeseen. 630 A:n katkaisijalla 20 kA:n kohdalla katkaisija rajoittaa yhtä suuren energian kuin sulake 80 kA:lla. 160 A:n katkaisijalla läpi päässyt energia on taas aina suurempi kuin sulakkeella. (Liite 8.)

Huippuvirran katkaisun kohdalla päästääkin tilanteeseen, jossa sulakkeen kohdalla on aina suurempi läpi pääsevä huippuarvo. Tämä johtuu suojiin erilaisesta katkaisutavasta, joka katkaisijalla perustuu virran huippuarvoon ja sulakkeella energiaan (ks. 3.2.3 ja 8.2). 630 A:n sulake päästää lävitseen 60 kA huippuvirran, joka tehollisena oikosulkuvirtana olisi 25 kA (liite 8). Vastavasti NSX630L:llä katkaisukyky 690 V:n on 36 kA (taulukko 1). Vastavasti energian kohdalla NSX630 päästää jo 36 kA:lla suuremman energian lävitseen kuin sulake 80 kA:lla, joten se ei voi rikkoutua energian takia. Samaa tulokseen päästään 160 A:n suojiin kohdalla.

Tällöin voitaisiin rajoitusarvoista päätellä, että katkaisija kestäisi sulakkeen avulla 80 kA:n tehollisen oikosulkuvirran. Kysymykseksi nousee tällaisessa tilanteessa kuinka suurelle oikosulkukestoisuuden arvolle kyseinen

yhdistelmä voitaisiin leimata. 80 kA:n leimaus voisi teoriassa toimia, mutta tällaiselle yhdistelmälle eivät ole todennettavissa laboratoriotestein varmistettua koordinaatiota eli leimaus olisi allekirjoittajan vastuulla. Mahdolliset vahingot olisivat tällöin suunnittelijan harteilla, toisin kuin normaalissa ylivirtakoordinaatiossa, mikäli se toteuttaisi koordinaation ehdot (ks. 5.3).

8.4 Sulake suojiin valinnassa

Edu

Suurin etu sulakkeella suojana on sen suuri katkaisukyky suuremmilla jännitteillä. Vielä 690 V:n jännitteillä päästään 80 kA:n katkaisukykyyn niin pienillä kuin suurilla kahvasulakkeilla.

Virranrajoituksen puolella käyrästöt vastaavat katkaisijoiden tyypillisiä kuvaajia, mutta taulukoituna sulakkeille ei ole niin helposti saatavilla oikosulkukyvyn vahvistettuja arvoja. Tämä ei kuitenkaan sulakkeen tilanteessa ole välttämätöntä, koska kahvasulakkeet ovat katkaisukyvyiltään samansuuruisia, eikä koordinaatioita varasuojauksen muodossa tarvitse muodostaa.

Sulakkeiden selektiivisyys on helposti todennettavissa yksinkertaisten kuvaajien avulla. Asetteluarvoja ei sulakkeilla ole, joten tarkastelu tapahtuu suoraan sulakkeiden koon perusteella. Selektiivisyysehto sulakkeiden osalta täyttyy jos alemman sulakkeen kokonais- I^2t aika on pienempi kuin edessä olevan sulakkeen sulamis- I^2t . Perus I^2t -omaisuuksiltaan sulake on erittäin hyvä suoja katkaisutekniikkansa ansiosta.

Haitat

Vaikka sulakkeiden kiinteiden arvojen avulla saadaan helposti selektiivisyys aikaiseksi, voidaan kiinteät arvot tulkita myös huonoksi asiaksi. Suunnittelussa voidaan tulla tilanteisiin, joissa nimellisvirtojen arvot voivat osua hieman yli sulakkeen nimellisarvojen. Esimerkiksi 530 A:n nimellisvirralla virta on 30 A yli 500 A:n standardikoon, ja seuraava sulakekoko on jo 630 A, tällöin edellä mainituissa tilanteissa lievät ylikuormitukset ovat ongelmallisia. Oikosulkuvirtojen katkaisemisessa ei kuitenkaan ole suurta muutosta.

Katkaisutapansa ansiosta sulakkeen rajoittama energia on erittäin hyvä nähden katkaisijaan suuremmilla jännitteillä. Huippuarvon rajoituksen kohdalla ei kuitenkaan saada niin hyvää hyötyä aikaiseksi, kuin katkaisijalla.

Yleensä päädytäänkin pienemmillä oikosulkuvirroilla tilanteeseen, jossa katkaisija jo rajoittaa oikosulkuvirtaa, mutta sulake ei vielä rajoita. Tämä johtuu tilanteesta, jossa sulake tarvitsee tietyn energia määrän sulamiseen, ja tähän ei aina päästä ennen kuin huippuarvo on jo ohitettu.

Sulakkeita käytettäessä tulee suunnittelussa ottaa huomioon SFS-EN 60204-32 standardin maininta sulakkeiden saatavuudesta nosturin kohdemaassa (ks. 4.1), joka nostaa sulakkeiden käytön kynnyistä. Varaosien toimitus tai vastaavien sulakkeiden löytyminen toimitusmaasta voi jossain tilanteissa olla vaikeata ja kallista. Vaikkakin sulakkeet olisivat lähes vastaavat, mitä kohdemaasta on saatavilla tulisi ottaa huomioon vielä uudet tarkastelut oikosuluille ja ylikuormituksille uuden sulakkeen kannalta.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä insinööriyössä tutkittiin oikosulkusuojien ylivirtasuojauskoordinaatiota ja mitoituksia tunnetuilla ja tuntemattomilla oikosulkuvirroilla. Yleisesti katsoen varasuojaus ja selektiivisyys toimivat päinvastaisilla tavoilla. Varasuojauksessa vähintään kaksi suojaa toimii yhdessä ja selektiivisyydessä pyritään vain yhden suojan toimintaan. Kompaktikatkaisijat antavat mahdollisuuden toteuttaa sekä varasuojauksen, että selektiivisyyden. Tästä johtuen molempiin koordinaatioihin voidaan pyrkiä.

Vertailtaessa selektiivisyyttä ja varasuojasta suunnitteluesimerkin pohjalta voidaan todeta varasuojauksen olevan nosturisuunnittelussa helpommin toteutettava vaihtoehto ylivirtasuojauskoordinaatioista. Molempien kohdalla esiintyy suunnittelussa ongelmia, mutta varasuojauksen kannalta ongelmat ovat helpommin korjattavissa. Suunnittelu kannattaa tästä syystä pohjustaa varasuojauksen pohjalle. Varasuojauksen toimiessa voidaan vielä tarkastella selektiivisyyttä ja mahdollisia raja-arvoja, millä selektiivisyydet toteutuvat. Selektiivisyyden täydellinen toteuttaminen on kuitenkin vaikeata. Tämä johtuu siitä, etteivät mitoitusarvot aina mene selektiivisyysehtojen mukaisesti, ja selektiivisyyden rajatkin voivat olla erittäin pienet esimerkiksi vain ylikuormituksilla toimivat.

Mitoitukset tuntemattomilla ja tunnetuilla oikosulkuvirroilla osoittivat myös varasuojauksen paremmuuden mitoituksessa. Varasuojaus antaa paremmat valmiudet tehdä kytkentöjä, ja sen avulla voidaan helposti määritellä

kaikkien katkaisijoiden oikosulkukatkaisukyky. Tällöin kojeiston nimellisen oikosulkuvirran leimausarvokin on helpommin todennettavissa.

Työn aikana ilmeni asioita, joiden tarkastelua tulisi jatkaa. Ensimmäinen lisätarkastelun kohde on kontaktorin ja katkaisijan välinen koordinaatio, joka vaaditaan pääpiirissä olevan luokan 2 suojakoordinaatio (ks. 4.2). Toinen lisätarkastelun kohde on valaistus- ja lämmityspiirin muuntajan etusuojaukset ja niiden jälkeisten suojien toiminnat. Kolmantena esille tulleen asiana, voitaisiin lisätarkastelua vielä suorittaa taajuusmuuttajan jälkeisille suojuille.

Seuraavassa yhteenvedot varasuojauksesta, selektiivisyydestä ja sulakkeista:

Varasuojaus

Varasuojauksen suurin heikkous on, etteivät yli 250 A:n kompaktikatkaisijat pysty suojaamaan kaikkia moottorisuojakytкимиä. Tällaiset ongelmat ovat kuitenkin helposti kierrettävissä käyttämällä suuremman katkaisukyvyn omaavia moottorisuojakytкимиä, kuten suunnitteluesimerkin pääpiirissä on tehty (ks. 7.3). Toinen mahdollisuus tulee tilanteissa, joissa moottorisuojakytkin on kolmas suoja ja sen edessä on B-runkoinen NSX100 - 250. Tällaisissa tilanteissa päästäisiin 50 kA:iin vaihtamalla B-runko H-rungoksi.

Suurin etu varasuojauksen toteuttamisessa suunnittelussa ovat yksinkertaiset taulukot. Pyrittäessä tiettyyn oikosulkukestoisuuteen kuten 50 kA:ia voidaan valmiiksi todeta mitä suoja tilanteissa käytetään. 50 kA:n kohdalla käytetään pääasiassa H-runkoa etusuojana, jolloin NSX- ja NS-kompaktikatkaisijoiden ja GV2-moottorisuojakytkimien katkaisukykyjen vahvistusten arvot ovat helppo muistaa.

Sääntönä voidaan pitää H-runkoa etusuojana, jolloin B-rungot ja F-rungot ja GV-ME-moottorisuojakytkimet yli 10 A:n nimellisvirralla riittävät jälkimmäisillä suojuilla. NSX- ja NS-kompaktikatkaisijoiden kohdalla tämä pätee myös 440 V:lla, GV2-ME/P:llä joudutaan turvautumaan datalehdissä ilmoitettuihin katkaisukykyihin.

Selektiivisyys

Selektiivisyydessä esiintyvää ongelmaa on kenties vaikeampaa korjata. Suojat mitoitetaan kojeistojen nimellisvirtojen mukaan, etteivät ne vikatilanteissa vaurioidu. Tällöin voidaan ajautua tilanteisiin, joissa yhden haaran mitoitussarvot ovat liian suuret nähden pääsuojan arvoihin ja selektiivisyys ehdot jäävät toteutumatta osassa virtapiiriä. Tämä on huomattavissa myös suunnitteluesimerkin kohdalla pääpiirissä nostokoneistolla, jossa selektiivisyyden aikaansaaminen on käytännössä erittäin vaikeaa. Kuormaelinten kohdalla syöttö määrätään pääsuojan etupuolella, joka helpottaa selektiivisyyden suunnittelua (ks. 6.1).

Selektiivisyyden raja-arvotkin voivat usein olla hyvin pieniä. Pienillä virroilla saavutetaan paikoin vain ylikuormitustilanteissa selektiivisyys ja oikosulkusuojauksen kohdalla useampi suoja laukeaa. Tämä on huomattavissa valaistus- ja lämmityspiirin suojuissa.

On kuitenkin tilanteita, joissa selektiivisyyttä voitaisiin tarkistella. Esimerkiksi tilanteet, joissa inverttereillä on yhteinen tasajännitepuoli, on selektiivisyys hyvä huomioida. Tällaisissa tilanteissa inverttereiden suojat ovat yhtä suuria ja yhden invertterin vikaantuminen ei tiputtaisi pääsuojaa vaan muut voisivat jatkaa toimintaansa. Tällöin voitaisiin nosturi ajaa paikkaan, jossa vahinkoja voidaan tutkia rauhassa.

Sulake ja katkaisija

Verrattuna kompaktikatkaisijoihin sulakkeiden etuna ovat yksinkertaisemmat koordinaation mahdollisuudet. Selektiivisyys on helposti todennettavissa yksinkertaisten taulukoiden avulla, eikä asetteluarvojen suunnittelua tarvita. Vahvistusta ei tarvita, koska kahvasulakkeet ovat katkaisukyvyltään yhtä suuria. Tutkittaessa virran rajoituksia käyrästöt vastaavat katkaisijoiden tyyppillisiä kuvaajia.

Katkaisijan ja sulakkeen väliseen koordinaatioon ei ole kaikille yhdistelmille löydettävissä taulukoina katkaisukykyjä. GV2:n tilanteessa mahdolliset yhdistelmät löytyvät, mutta NSX:n tilanteessa ei. Sulakkeen ja katkaisijan välistä koordinaatiota voisi tarkastella kuvaajien avulla, mutta tässä törmätään tilanteeseen, jossa ei pystytä toteamaan toimiiko koordinaatio standardin

mukaisesti. Minkä oikosulkukatkaisukyvyyn leimausarvon koordinaatiolle annetaan suunnittelussa, on tällöin suunnittelijan vastuulla.

LÄHTEET

- /1/ Konecranes, vuosikertomus 2009 [verkkodokumentti]. 2010 [viitattu: 2.5.2010]. Saatavissa:

http://www.konecranes.fi/files/attachments/com/investor/reports_and_presentations/annual_report_2009/konecranes_vuosikertomus2009.pdf
- /2/ SFS-EN 60947-1 viides painos, PIENJÄNNITEKYTKINLAITTEET. OSA 1: PIENJÄNNITEKYTKINLAITTEET. YLEISET VAATIMUKSET. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2008
- /3/ Schneider electric, Low voltage expert guides: Coordination of LV protection devices [verkkodokumentti]. 02.2008 [viitattu: 2.5.2010]. Saatavissa:

http://www.engineering.schneider-electric.dk/Attachments/ed/guide/guide_coordination_of_lv_protection_devices.pdf
- /4/ Schneider electric, Compact NSX 100 to 630 A catalogue 2009 [verkkodokumentti]. 2009 [viitattu: 2.5.2010]. Saatavissa:

<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/GroupList.aspx?navoption=1&navid=24195> Luettelot -> Compact NSX 100 to 630 A catalogue 2009
- /5/ SFS-EN 60204-32 toinen painos, KONETURVALLISUUS. KONEIDEN SÄHKÖLAITTEISTO. OSA 32: VAATIMUKSET NOSTOKONEILLE. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2008.
- /6/ IEC 60947-2 Edition 4.1 Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers, International Electrotechnical Commission. 2009.
- /7/ Schneider electric, author Nereau Jean-Pierre, Cahier technique no. 201: Discrimination with LV power circuit-breakers [verkkodokumentti]. 1.4.2001 [viitattu: 2.5.2010]. Saatavissa:

<http://www.schneider-electric.com/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/dependability-availability-safety/low-voltage-minus-1kv/ect201.pdf>
- /8/ Schneider electric, Electrical installation guide 2009, LV switchgear: functions & selection [verkkodokumentti]. 2009 [viitattu: 2.5.2010]. Saatavissa:

http://www.electrical-installation.schneider-electric.com/ei-guide/pdf_files/EIG-H-LV-switchgear.pdf
- /9/ Schlabbach Jürgen, Short-circuit Currents. London, UK: The Institution of Electrical Engineers. 2005.
- /10/ IEC 909 First edition Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems. International Electrotechnical Commission. 1988.

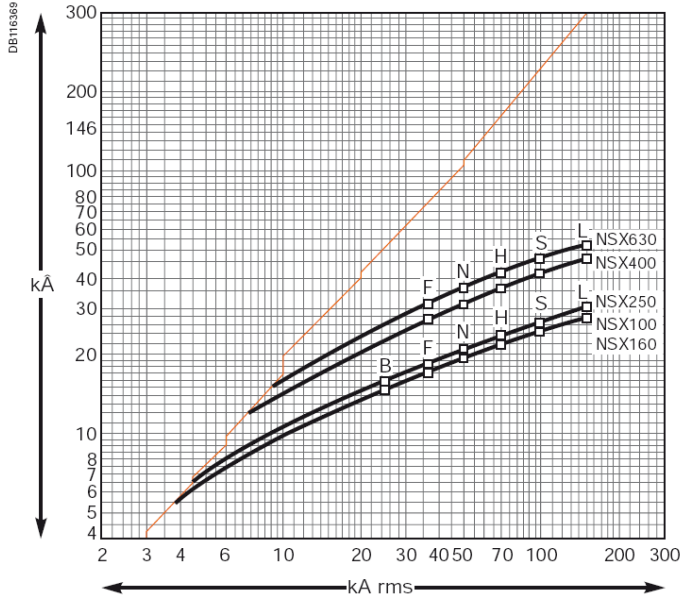
- /11/ ABB, TTT-käsikirja luku 7 Oikosulkusuojaus [verkkodokumentti]. 07/2000 [viitattu: 2.5.2010]. Saatavissa:
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/bf177942f19f4a98c1257148003b7a0a/c46d5509d325d21ac225695b002fb07b/\\$FILE/071_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/bf177942f19f4a98c1257148003b7a0a/c46d5509d325d21ac225695b002fb07b/$FILE/071_0007.pdf)
- /12/ Simola Perttu, Reinikainen Aimo, Järvinen Kauko, Niemi Arvo, Timonen Esko, Sähkötekniikan käsikirja 1 kolmas painos. Helsinki: Tammi, toimittanut Saari Rauno. 1971.
- /13/ Schneider electric, Complementary technical information guide 2010 [verkkodokumentti]. 2010 [viitattu 2.5.2010]. Saatavissa:
<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/GroupList.aspx?navoption=1&navid=24195> Teknisiä tietoja -> Complementary technical information guide 2010.
- /14/ Grönholm, Jyrki. Schneider electric. Sähköpostikeskustelu.
- /15/ Telemecanique, TeSys GV2, GV3 and GV7 Catalogue September 2006 [verkkodokumentti]. 10.2006 [viitattu: 2.5.2010]. Saatavissa:
<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/GroupList.aspx?navid=24951&navoption=1>
Luettelot -> TeSys Gv2, GV3 and GV7 catalogue, September 2006
- /16/ SFS-EN 60269-1, PIENJÄNNITEVAROKKEET. OSA 1: YLEISET VAATIMUKSET. Suomen standardisoimisliitto SFS. 2008.
- /17/ ABB, Pienjännitekojeet. Sulakevahti, OFM ja OFS -esite [verkkodokumentti]. Viitattu: 2.5.2010. Saatavissa:
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d7841de0e6b88ac465257115002fd0c2/\\$File/1SCC314002C0201.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d7841de0e6b88ac465257115002fd0c2/$File/1SCC314002C0201.pdf)
- /18/ ABB, TTT-käsikirja luku 11 Tehomuuntajat [verkkodokumentti]. 07/2000 [viitattu: 2.5.2010]. Saatavissa:
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/120_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/120_0007.pdf)
- /19/ ABB, Pienjännitekojeet. Kahvasulakkeet, 2...1600 A gG- ja AM- tyypit [verkkodokumentti]. Viitattu: 2.5.2010. Saatavissa:
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/30e8c69535adcee1c12575a5001528d1/\\$File/1SCC317002C1801.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/30e8c69535adcee1c12575a5001528d1/$File/1SCC317002C1801.pdf)

400/440 V:n NSX- ja NS-rajoituskäyrät /4, s. E-14/

Current-limiting curves

Voltage 400/440 V AC

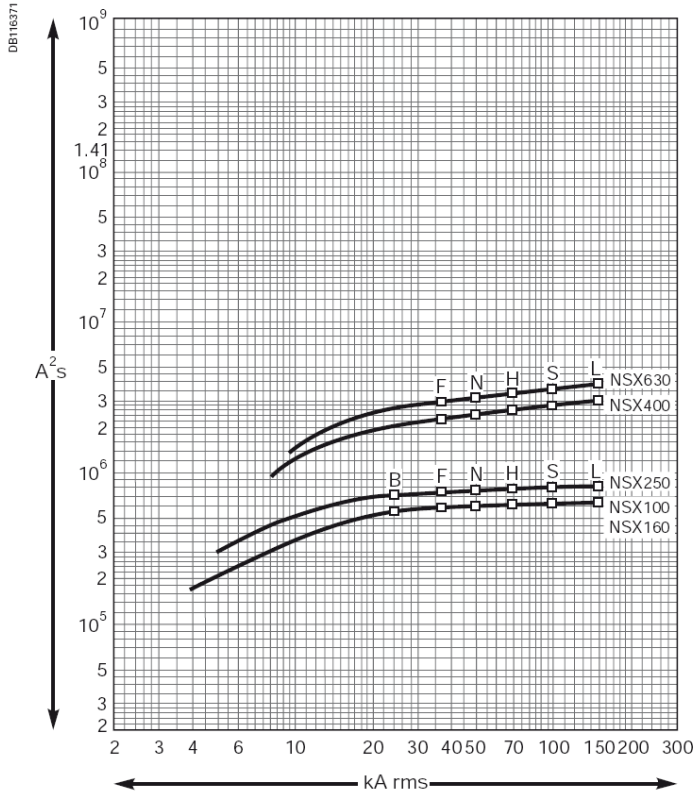
Limited short-circuit current (kA peak)



Energy-limiting curves

Voltage 400/440 V AC

Limited energy

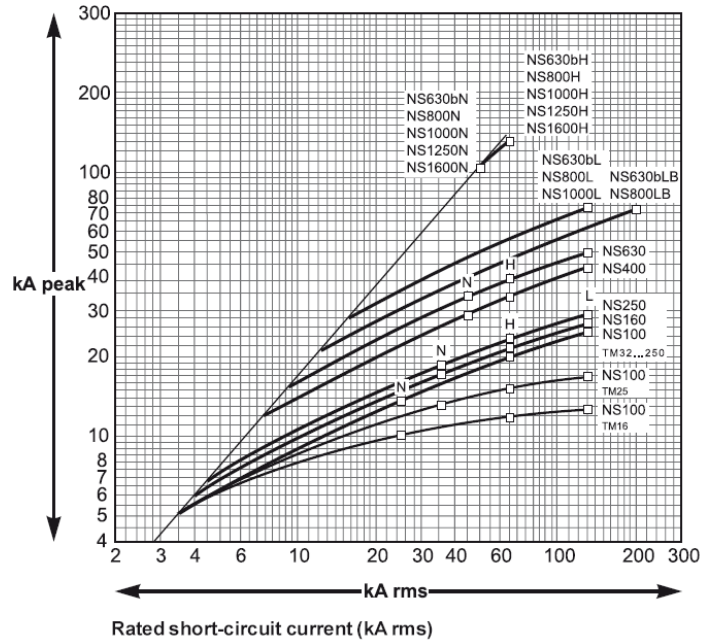


400/440 V:n NSX ja NS rajoituskäyrät /4, s. E-14/

Current-limiting curves

Voltage 400/440 V AC ⁽¹⁾

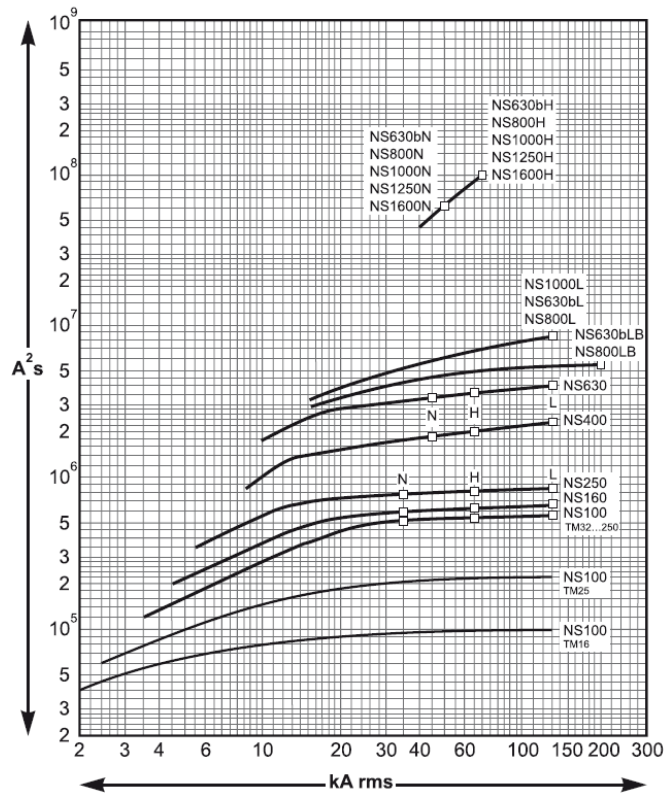
Limited short-circuit current (kA peak)



Thermal-stress curves

Voltage 400/440 V AC ⁽¹⁾

Limited energy

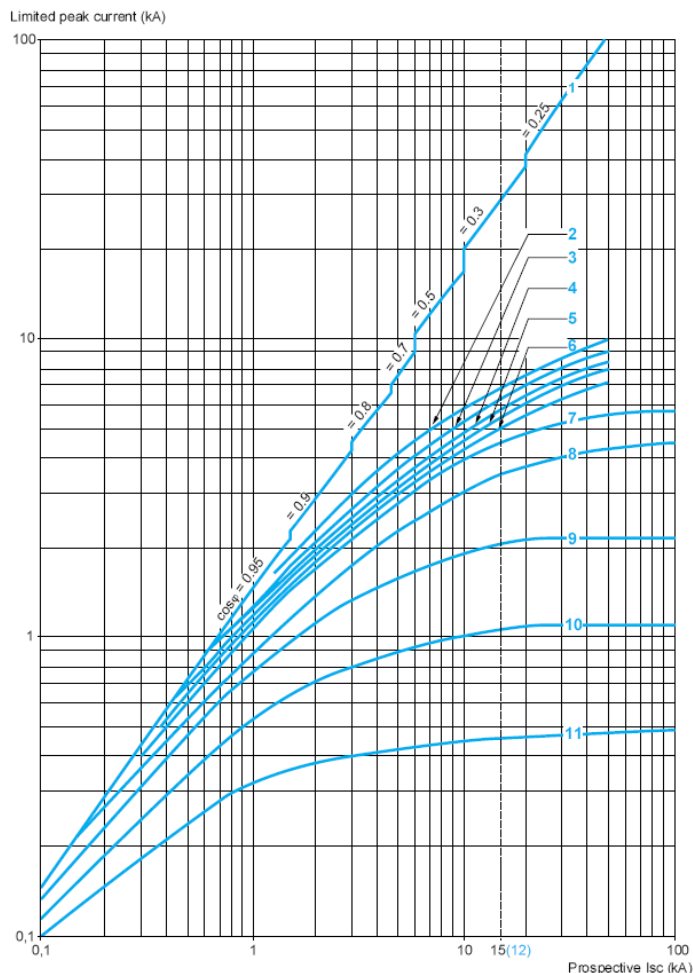


400/415 V:n GV2-ME/P rajoituskäyrät /15, s 25/

Current limitation on short-circuit for GV2 ME and GV2 P (3-phase 400/415 V)

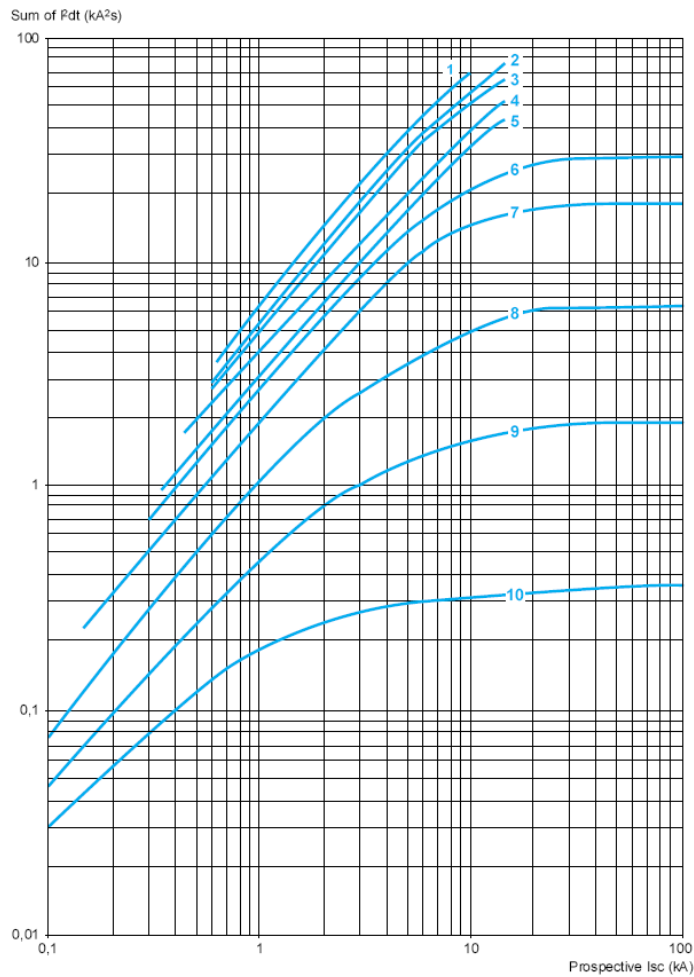
Dynamic stress

$I_{peak} = f(\text{prospective } I_{sc}) \text{ at } 1.05 U_e = 435 \text{ V}$



- 1 Maximum peak current
- 2 24 -32 A
- 3 20 -25 A
- 4 17 -23 A
- 5 13 -18 A
- 6 9 -14 A
- 7 6 -10 A
- 8 4 -6.3 A
- 9 2.5 -4 A
- 10 1.6 -2.5 A
- 11 1 -1.6 A
- 12 Limit of rated ultimate breaking capacity on short-circuit of GV2 ME (14, 18, 23 and 25 A ratings)

400/415 V:n GV2-ME/P rajoituskäyrät /15, s. 26/

Thermal limit on short-circuit for GV2 METhermal limit in kA²s in the magnetic operating zoneSum of $I^2dt = f$ (prospective Isc) at 1.05 Ue = 435 V

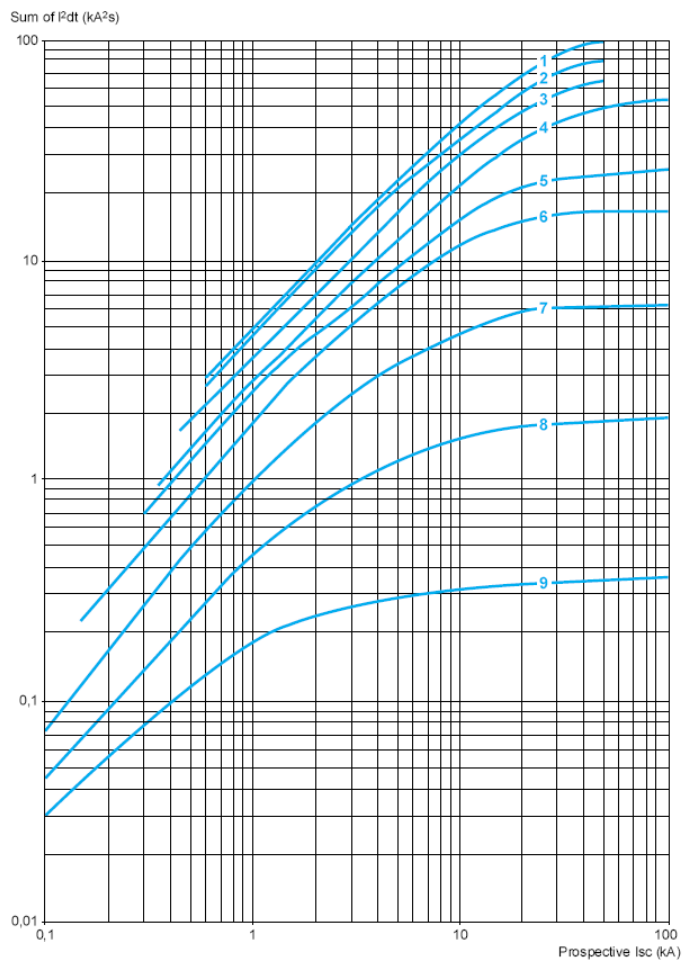
- 1 24 -32 A
- 2 20 -25 A
- 3 17 -23 A
- 4 13 -18 A
- 5 9 -14 A
- 6 6 -10 A
- 7 4 -6.3 A
- 8 2.5 -4 A
- 9 1.6 -2.5 A
- 10 1 -1.6 A

400/415 V:n GV2-ME/P rajoituskäyrät /15, s. 27/

Thermal limit on short-circuit for GV2 P

Thermal limit in kA²s in the magnetic operating zone

Sum of I²dt = f (prospective I_{sc}) at 1.05 U_e = 435 V



- 1 24 -32 A
- 1 20 -25 A
- 2 17 -23 A
- 3 13 -18 A
- 4 9 -14 A
- 5 6 -10 A
- 6 4 -6.3 A
- 7 2.5 -4 A
- 8 1.6 -2.5 A
- 9 1 -1.6 A

References:
pages 47 and 48

Dimensions:
pages 66 to 68

Schemes:
page 72

Kaskaditaulukot NSX ja GV /13, s. 94/

Complementary
technical information**Cascading, network 380/4 15 V**

Upstream: Compact NSX250-630

Downstream: iDPN, Multi 9, C120, NG125-
160, NSC100N, Compact NSX100-630

Upstream Breaking capacity (kA rms)	NSX250B 25	NSX250F 36	NSX250N 50	NSX250H 70	NSX250S 100	NSX250L 150
Downstream	Reinforced breaking capacity (kA rms)					
iDPN (230 V between phase and neutral)	10	10	10	10	10	10
iDPNN (230 V between phase and neutral)	15	15	15	15	15	15
C60N ≤ 40 A	20	25	30	30	30	30
C60N 50 A and 63 A	20	25	25	25	25	25
C60H ≤ 40 A	25	30	30	30	30	30
C60H 50 A and 63 A	25	25	25	25	25	25
C60L ≤ 25 A	25	30	30	30	30	30
C60L 32 A and 40 A	25	30	30	30	30	30
C60L 50 A and 63 A	25	25	25	25	25	25
C120N	25	25	25	25	25	25
C120H	25	25	25	25	25	25
NG125N		36	36	36	50	70
NG125H			40	50	70	100
NG125L			50	70	100	150
NG160E	25	25	30	30	30	30
NG160N		36	36	50	50	50
NG160H			50	50	50	50
NSC100N	25	36	50	50	50	50
NSX100B		36	36	50	50	50
NSX100F			50	70	100	150
NSX100N				70	100	150
NSX100H					100	150
NSX100S						150
NSX160B		36	36	50	50	50
NSX160F			50	70	100	150
NSX160N				70	100	150
NSX160H					100	150
NSX160S						150
NSX250B		36	36	50	50	50
NSX250F			50	70	100	150
NSX250N				70	100	150
NSX250H					100	150
NSX250S						150

Upstream Breaking capacity (kA rms)	NSX400F 36	NSX400N 50	NSX400H 70	NSX400S 100	NSX400L 150	NSX630F 36	NSX630N 50	NSX630H 70	NSX630S 100	NSX630L 150
Downstream	Reinforced breaking capacity (kA rms)									
NG160E	25	25	30	30	30	25	25	30	30	30
NG160N		36	50	50	50		36	50	50	50
NG160H		50	50	50	50		50	50	50	50
NSC100N		50	50	50	50		50	50	50	50
NSX100B	36	36	50	50	50	36	36	50	50	50
NSX100F		50	70	100	150		50	70	100	150
NSX100N			70	100	150			70	100	150
NSX100H				100	150				100	150
NSX100S					150					150
NSX160B	36	36	50	50	50	36	36	50	50	50
NSX160F		50	70	100	150		50	70	100	150
NSX160N			70	100	150			70	100	150
NSX160H				100	150				100	150
NSX160S					150					150
NSX250B	36	36	50	50	50	36	36	50	50	50
NSX250F		50	70	100	150		50	70	100	150
NSX250N			70	100	150			70	100	150
NSX250H				100	150				100	150
NSX250S					150					150
NSX400F		50	70	100	150		50	70	100	150
NSX400N			70	100	150			70	100	150
NSX400H				100	150				100	150
NSX400S					150					150
NSX630F							50	70	100	150
NSX630N								70	100	150
NSX630H									100	150
NSX630S										150

Kaskaditaulukot NSX ja GV /13, s. 131/

Complementary
technical information**Motor protection cascading**

Upstream: Compact NSX

Downstream: Compact NS, LUB, GV,

Integral

Network 220/240 V											
Upstream	NSX100B NSX160B NSX250B	NSX100F NSX250F	NSX100N	NSX100H	NSX100S	NSX100L NSX160L	NSX160F	NSX160N	NSX160H	NSX160S	NSX160L
Breaking capacity (kA rms)	40	85	90	100	120	150	85	90	100	120	150

Downstream	Breaking capacity (kA rms)											
NS80H-MA						120	150				120	150
LUB12				100	120	150			100	120	150	
LUB22				100	120	150			100	120	150	
GV2M ≥ 23 A		85	90	100	120	100	85	90	100	100	100	
Integral 63 ≥ 32 A		85	90	100		150		85	90	100	150	

Upstream	NSX250N	NSX250H	NSX250S	NSX250L	NSX400F NSX630F	NSX400N NSX630N	NSX400H NSX630H	NSX400S	NSX400L	NSX630S	NSX630L
Breaking capacity (kA rms)	90	100	120	150	40	85	100	120	150	120	150

Downstream	Breaking capacity (kA rms)											
NS80H-MA			120	150					120	150		150
LUB12		100	120	150								
LUB22		100	120	150								
GV2M ≥ 23 A	90	100	100	100								
Integral 63 ≥ 32 A		90	100	150					150			

Network 380/415 V											
Upstream	NSX100B NSX160B NSX250B	NSX100F NSX160F NSX250F	NSX100N NSX160N NSX250N	NSX100H NSX160H NSX250H	NSX100S NSX160S NSX250S	NSX100L NSX160L NSX250L					
Breaking capacity (kA rms)	25	36	50	70	100	150					

Downstream	Breaking capacity (kA rms)											
NS80H-MA					100	150						
LUB12				70	100	150						
LUB22				70	100	150						
GV2M ≥ 14 A	25	36	40	50	50	50						
GV2L ≥ 18 A				70	100	150						
GV2P ≥ 18 A				70	100	150						
GV3M			50	70		150						
Integral 63 ≥ 32 A				70		150						

Upstream	NSX400F NSX630F	NSX400N NSX630N	NSX400H	NSX400S NSX630S	NSX400L	NSX630F	NSX630N	NSX630H	NSX630S	NSX630L	
Breaking capacity (kA rms)	36	50	70	100	150	36	50	70	100	150	

Downstream	Breaking capacity (kA rms)											
NS80H-MA				100	150					100	150	
Integral 63 ≥ 32 A			70		150							

Note: respect the basic rules of discrimination, in terms of overcurrent, short-circuit, see page 6, or check curves with curve direct software.

NSX ja GV selektiivisyys /13, s. 36/

Complementary technical information

Protection discrimination

Upstream: Compact NSX100-250

TM-D - Micrologic

Downstream: Compact NSX100-250

TM-D - Micrologic

Upstream		Compact NSX100B/F/NH/S/L TM-D								Compact NSX160B/F/NH/S/L TM-D				Compact NSX250B/F/NH/S/L TM-D			
Trip unit	Rating (A)	16	25	32	40	50	63	80	100	80	100	125	160	160	200	250	
Downstream	Rating (A)	16	25	32	40	50	63	80	100	80	100	125	160	160	200	250	
Discrimination limit (kA)																	
Compact NSX100 B/F	16				0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	T	T	
TM-D	25					0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	T	T	
	32						0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	T	T	
	40							0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	T	T	
	50							0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	T	T	
	63								0.8		0.8	1.25	1.25	1.25	T	T	
	80											1.25	1.25	1.25	T	T	
	100												1.25	1.25	T	T	
Compact NSX100 N/H/S/L	16				0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	T	T	
TM-D	25					0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	T	T	
	32						0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	36	36	
	40							0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	36	36	
	50							0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	36	36	
	63								0.8		0.8	1.25	1.25	1.25	36	36	
	80											1.25	1.25	1.25	36	36	
	100												1.25	1.25	36	36	
Compact NSX160 B/F/NH/S/L	≤ 63											1.25	1.25	1.25	4	5	
TM-D	80											1.25	1.25	1.25	4	5	
	100												1.25	1.25	4	5	
	160															5	
Compact NSX250 B/F/NH/S/L	≤ 100													1.25	2	2.5	
TM-D	125														2	2.5	
	160															2.5	
	200															2.5	
Compact NSX100 B/F/NH/S/L Micrologic	40						0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	2	2.5	
TM-D	100												1.25	1.25	2	2.5	
Compact NSX160 B/F/NH/S/L	40						0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1.25	1.25	1.25	2	2.5	
Micrologic	100												1.25	1.25	2	2.5	
TM-D	160															2.5	
Compact NSX250 B/F/NH/S/L	≤ 100													1.25	2	2.5	
Micrologic	160															2.5	
TM-D	250															2.5	

Upstream		Compact NSX100B/F/NH/S/L Micrologic								Compact NSX160B/F/NH/S/L Micrologic				Compact NSX250B/F/NH/S/L Micrologic			
Trip unit	Rating (A)	40	25	32	40	100	63	80	100	160	100	125	160	250	160	200	250
Downstream	Setting	16	25	32	40	40	63	80	100	80	100	125	160	160	200	250	
Discrimination limit (kA)																	
Compact NSX100 B/F	16					1.5	1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	T	T	T	
TM-D	25					1.5	1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	T	T	T	
	32						1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	T	T	T	
	40							1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	T	T	T	
	50								1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	T	T	T	
	63										2.4	2.4	2.4	T	T	T	
	80											2.4	2.4	T	T	T	
	100												2.4	T	T	T	
Compact NSX100 N/H/S/L	16					1.5	1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	T	T	T	
TM-D	25					1.5	1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	T	T	T	
	32						1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	36	36	36	
	40							1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	36	36	36	
	50								1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	36	36	36	
	63										2.4	2.4	2.4	36	36	36	
	80											2.4	2.4	36	36	36	
	100												2.4	36	36	36	
Compact NSX160 B/F/NH/S/L	≤ 63									2.4	2.4	2.4	3	3	3		
TM-D	80										2.4	2.4	3	3	3		
	100											2.4	3	3	3		
	160														3		
Compact NSX250 B/F/NH/S/L	≤ 100													3	3	3	
TM-D	125														3	3	
	160															3	
	200															3	
Compact NSX100 B/F/NH/S/L Micrologic	40						1.5	1.5	1.5	2.4	2.4	2.4	2.4	36	36	36	
TM-D	100												2.4	36	36	36	
Compact NSX160 B/F/NH/S/L	40									2.4	2.4	2.4	2.4	3	3	3	
Micrologic	100												2.4	3	3	3	
TM-D	160															3	
Compact NSX250 B/F/NH/S/L	≤ 100													3	3	3	
Micrologic	160															3	
TM-D	250															3	

T Total discrimination, up to the breaking capacity of the downstream circuit breaker.

4 Discrimination limit = 4 kA.

No discrimination.

Note: respect the basic rules of discrimination for overload and short-circuit, see page 6, or check curves with Curve Direct software. Particularly for D curves downstream.

NSX ja GV selektiivisyys /13, s. 37/

Complementary
technical information

Protection discrimination

Upstream: Compact NSX400-630 Micrologic
Downstream: iDPN, C60, C120, NG125-160,
NSC100N, Compact NSX100-400

Upstream Trip unit		Compact NS X400F/N/H/S/L Micrologic					Compact NS X630F/N/H/S/L Micrologic				
Downstream	Rating (A) Setting	400 160	200	250	320	400	630 250	320	400	500	630
Discrimination limit (kA)											
iDPN		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
iDPNN		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
C60N/H/L		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
C120N/H	≤ 80	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	100		T	T	T	T	T	T	T	T	T
	125			T	T	T	T	T	T	T	T
NG125N/H/L	≤ 80	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	100		T	T	T	T	T	T	T	T	T
	125			T	T	T	T	T	T	T	T
NG160E/N/H	≤ 80	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	100	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
NSC100N	125		T	T	T	T	T	T	T	T	T
	160			T	T	T	T	T	T	T	T
	160				T	T	T	T	T	T	T
Compact NSX100 B/F/N/H/S/L TM-D	≤ 80	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	100	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Compact NSX160 B/F/N/H/S/L TM-D	≤ 100	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	125		T	T	T	T	T	T	T	T	T
	160			T	T	T	T	T	T	T	T
Compact NSX250 B/F/N/H/S/L TM-D	≤ 100	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	T	T	T	T	T
	125		4.8	4.8	4.8	4.8	T	T	T	T	T
	160			4.8	4.8	4.8	T	T	T	T	T
	200				4.8	4.8		T	T	T	T
Compact NSX100 B/F/N/H/S/L Micrologic	40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	100	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	160			T	T	T	T	T	T	T	T
	160				T	T	T	T	T	T	T
Compact NSX250 B/F/N/H/S/L Micrologic	≤ 100	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	T	T	T	T	T
	160			4.8	4.8	4.8	T	T	T	T	T
	250					4.8		T	T	T	T
Compact NSX400 F/N/H/S/L Micrologic	160						6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
	200							6.9	6.9	6.9	6.9
	250								6.9	6.9	6.9
	320									6.9	6.9
400										6.9	

Total discrimination, up to the breaking capacity of the downstream circuit breaker.

Discrimination limit = 4 kA.

No discrimination.

Note: respect the basic rules of discrimination for overload and short-circuit, see page 6, or check curves with Curve Direct software. Particularly for D curves downstream.

NSX ja GV selektiivisyys /13, s. 117/

Complementary technical information

Motor protection discrimination

Upstream: NSX100 to 250

Downstream: GV2, GV3, LUB12, LUB32, Integral 63

Upstream			NSX 100B/F/N/H/S/L								NSX 160B/F/N/H/S/L				NSX 250B/F/N/H/S/L		
Trip unit			TM-D								TM-D				TM-D		
Downstream	Trip unit or th. relay	Rating (A) Setting Ir	16	25	32	40	50	63	80	100	80	100	125	160	160	200	250
Discrimination limit (kA)																	
GV2 M01	Integrated	0.1/0.16	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M02	Integrated	0.16/0.25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M03	Integrated	0.25/0.40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M04	Integrated	0.40/0.63	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M05	Integrated	0.63/1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M06	Integrated	1/1.6	0.19	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M07	Integrated	1.6/2.5	0.19	0.25	0.4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M08	Integrated	2.5/4	0.19	0.25	0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 M10	Integrated	4/6.3		0.25	0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 M14	Integrated	6/10			0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 M16	Integrated	9/14					0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 M20	Integrated	13/18							0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 M21	Integrated	17/23							0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 M22	Integrated	20/25							0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 M32	Integrated	24/32								0.8		0.8	T	T	T	T	T
GV2 P01	Integrated	0.1/0.16	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P02	Integrated	0.16/0.25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P03	Integrated	0.25/0.40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P04	Integrated	0.40/0.63	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P05	Integrated	0.63/1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P06	Integrated	1/1.6	0.19	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P07	Integrated	1.6/2.5	0.19	0.25	0.4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P08	Integrated	2.5/4	0.19	0.25	0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 P10	Integrated	4/6.3		0.25	0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 P14	Integrated	6/10			0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 P16	Integrated	9/14					0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 P20	Integrated	13/18							0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 P21	Integrated	17/23							0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 P22	Integrated	20/25							0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 P32	Integrated	24/32								0.8		0.8	T	T	T	T	T
GV2 L03	LRD 03	0.25/0.40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L04	LRD 04	0.40/0.63	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L05	LRD 05	0.63/1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L06	LRD 06	1/1.6	0.19	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L07	LRD 07	1.6/2.5	0.19	0.25	0.4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L08	LRD 08	2.5/4	0.19	0.25	0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 L10	LRD 10	4/6.3		0.25	0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 L14	LRD 14	7/10			0.4	0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 L16	LRD 16	9/13					0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 L20	LRD 21	12/18							0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 L22	LRD 22	17/25							0.63	0.8	0.63	0.8	T	T	T	T	T
GV2 L32	LRD 32	23/32								0.8		0.8	T	T	T	T	T
GV3 P13	Integrated	9/13														T	T
GV3 P18	Integrated	12/18														T	T
GV3 P25	Integrated	17/25														T	T
GV3 P32	Integrated	23/32														T	T
GV3 P40	Integrated															T	T
GV3 P50	Integrated															T	T
GV3 P65	Integrated															T	T
GV3 L25	LRD 22	20/25														T	T
GV3 L32	LRD 32	23/32														T	T
GV3 L40	LRD 33 55	30/40														T	T
GV3 L50	LRD 33 57	37/50														T	T
GV3 L65	LRD 33 59	48/65														T	T
LUB12	LUC*X6	0.15...0.6	0.19	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	T	T	T	T	T
	LUC*1X	0.35...1.4	0.19	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	T	T	T	T	T
	LUC*05	1.25...5	0.19	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	T	T	T	T	T
	LUC*12	3...12				0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	T	T	T	T	T
LUB32	LUC*X6	0.15...0.6	0.19	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	5	5	5	T	T
	LUC*1X	0.35...1.4	0.19	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	5	5	5	T	T
	LUC*05	1.25...5	0.19	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	5	5	5	T	T
	LUC*12	3...12				0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	5	5	5	T	T
	LUC*18	4.5...18						0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	5	5	5	T	T
	LUC*32	8...32								0.8		0.8	5	5	5	T	T
Integral 63	LB1-LD03M16	10/13				0.5	0.5	0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1	1	1	T	T
	LB1-LD03M21	13/18						0.5	0.63	0.8	0.63	0.8	1	1	1	T	T
	LB1-LD03M22	18/25							0.63	0.8	0.63	0.8	1	1	1	T	T
	LB1-LD03M53	23/32								0.8		0.8	1	1	1	T	T
	LB1-LD03M55	28/40											1	1	1	T	T
	LB1-LD03M57	35/50												1	1	T	T
	LB1-LD03M61														1	T	T

T Total discrimination, up to the breaking capacity of the downstream circuit breaker.

4 Discrimination limit = 4 kA.

No discrimination.

Note: respect the basic rules of discrimination, in terms of overcurrent, short-circuit, see page 6, or check curves with curve direct software.

NSX ja GV selektiivisyys /13, s. 119/

Complementary
technical information

Motor protection discrimination

Upstream: NSX250 to 630

Downstream: GV2, GV3, LUB12, LUB32,

Integral 63

Upstream Trip unit		NSX250B/F/NH/S/L Micrologic					NSX400F/NH/S/L Micrologic					NSX630F/NH/S/L Micrologic					
Downstream	Trip unit or th. relay	Rating (A) Setting Ir	250 100	125	160	200	250	400 160	200	250	320	400	630 250	320	400	500	630
Discrimination limit (kA)																	
GV2 M01	Integrated	0.1/0.16	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M02	Integrated	0.16/0.25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M03	Integrated	0.25/0.40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M04	Integrated	0.40/0.63	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M05	Integrated	0.63/1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M06	Integrated	1/1.6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M07	Integrated	1.6/2.5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M08	Integrated	2.5/4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M10	Integrated	4/6.3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M14	Integrated	6/10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M16	Integrated	9/14	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M20	Integrated	13/18	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M21	Integrated	17/23	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M22	Integrated	20/25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 M32	Integrated	24/32	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P01	Integrated	0.1/0.16	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P02	Integrated	0.16/0.25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P03	Integrated	0.25/0.40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P04	Integrated	0.40/0.63	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P05	Integrated	0.63/1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P06	Integrated	1/1.6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P07	Integrated	1.6/2.5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P08	Integrated	2.5/4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P10	Integrated	4/6.3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P14	Integrated	6/10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P16	Integrated	9/14	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P20	Integrated	13/18	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P21	Integrated	17/23	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P22	Integrated	20/25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 P32	Integrated	24/32	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L03	LRD 03	0.25/0.40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L04	LRD 04	0.40/0.63	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L05	LRD 05	0.63/1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L06	LRD 06	1/1.6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L07	LRD 07	1.6/2.5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L08	LRD 08	2.5/4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L10	LRD 10	4/6.3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L14	LRD 14	7/10	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L16	LRD 16	9/13	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L20	LRD 21	12/18	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L22	LRD 22	17/25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV2 L32	LRD 32	23/32	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 P13	Integrated	9/13	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 P18	Integrated	12/18	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 P25	Integrated	17/25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 P32	Integrated	23/32	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 P40	Integrated	30/40	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 P50	Integrated	37/50			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 P65	Integrated	48/65			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 L25	LRD 22	20/25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 L32	LRD 32	23/32	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 L40	LRD 33 55	30/40			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 L50	LRD 33 57	37/50			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
GV3 L65	LRD 33 59	48/65			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
LUB12	LUC*X6	0.15...0.6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LUC*1X	0.35...1.4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LUC*05	1.25...5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LUC*12	3...12	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
LUB32	LUC*X6	0.15...0.6	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LUC*1X	0.35...1.4	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LUC*05	1.25...5	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LUC*12	3...12	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LUC*18	4.5...18	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LUC*32	8...32	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
Integral 63	LB1-LD03M16	10/13	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LB1-LD03M21	13/18	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LB1-LD03M22	18/25	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LB1-LD03M53	23/32	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LB1-LD03M55	28/40			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LB1-LD03M57	35/50			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	LB1-LD03M61	45/63			T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

T Total discrimination, up to the breaking capacity of the downstream circuit breaker.

4 Discrimination limit = 4 kA.

No discrimination.

Note: respect the basic rules of discrimination, in terms of overcurrent, short-circuit, see page 6, or check curves with curve direct software.

Vahvistettu selektiivisyys NSX630 /13, s. 110/

Complementary technical information

Cascading and enhanced discrimination 380/415 V

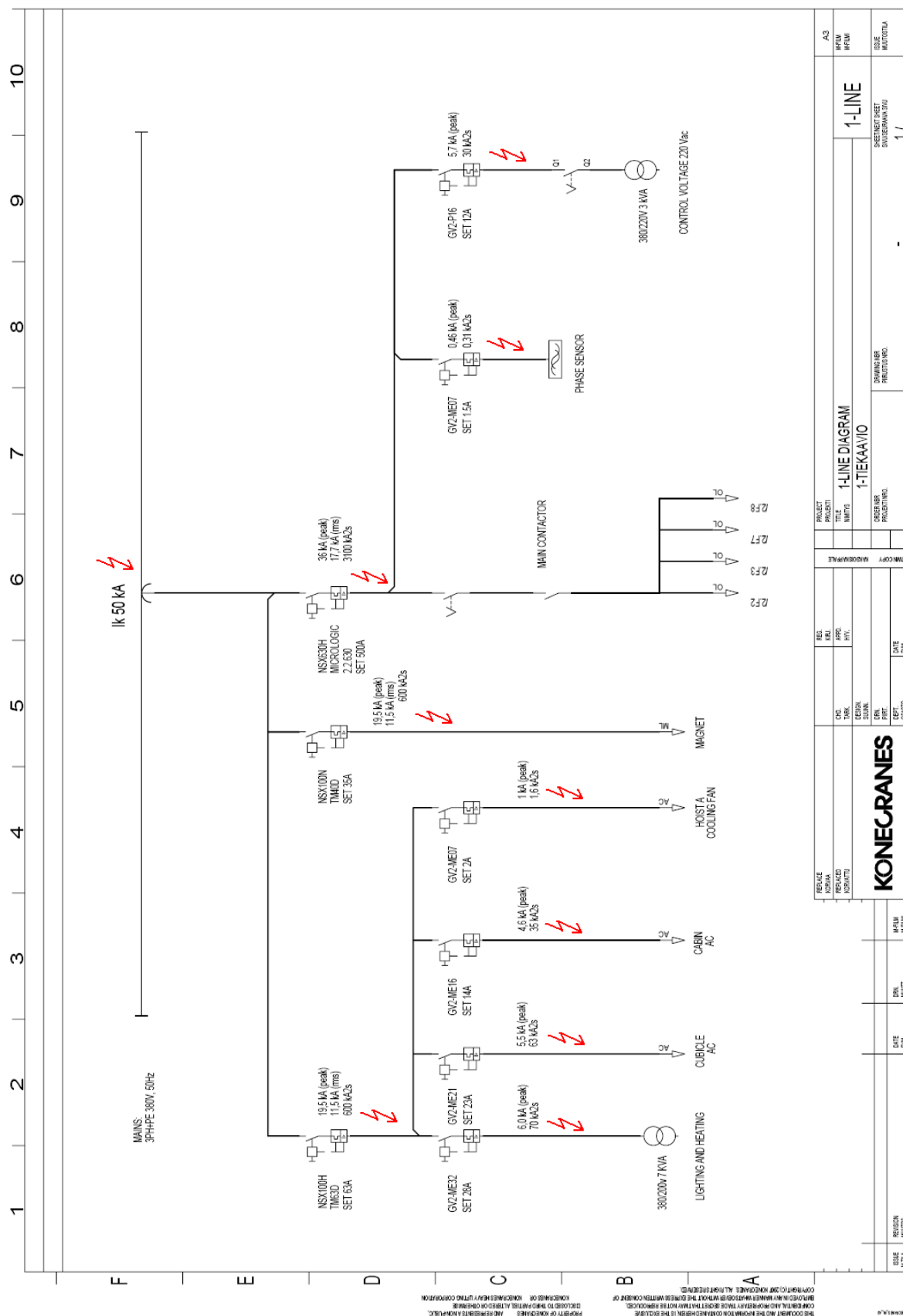
Upstream: Compact NSX250-630, TM-D, Micrologic
Downstream: NG160, NSC100N, Compact NSX100-630

Upstream		NSX250F	NSX250N	NSX250H	NSX250S	NSX250L	
Breaking capacity		36 kA	50 kA	70 kA	100 kA	150 kA	
Trip unit		TM-D	TM-D	TM-D	TM-D	TM-D	
Downstream	Rating	160	200-250	160	200-250	160	200-250
NG160E	16 kA		25/25		30/30		30/30
NG160N	25 kA		36/36		36/36		50/50
NG160H	36 kA				50/50		50/50
NSC100N	18 kA	16 - 100	36/36		50/50		50/50
NSX100B	25 kA	TM-D ≤ 25	36/36		36/36		50/50
		TM-D 40 - 100	36/36		36/36		36/50
NSX100F	36 kA	TM-D ≤ 25			50/50		70/70
		TM-D 40 - 100			36/50		36/70
NSX100N	50 kA	TM-D ≤ 25					70/70
		TM-D 40 - 100					36/70
NSX100H	70 kA	TM-D ≤ 25					
		TM-D 40 - 100					36/100
NSX100S	100 kA	TM-D ≤ 25					
		TM-D 40 - 100					36/100
NSX100B	25 kA	Micrologic	36/36		36/36		36/50
NSX100F	36 kA	Micrologic			36/50		36/70
NSX100N	50 kA	Micrologic					36/70
NSX100H	70 kA	Micrologic					36/100
NSX100S	100 kA	Micrologic					36/100

Upstream		NSX400F	NSX400N	NSX400H	NSX400S	NSX400L	NSX630F	NSX630N	NSX630H	NSX630S	NSX630L	
Breaking capacity		36 kA	50 kA	70 kA	100 kA	150 kA	36 kA	50 kA	70 kA	100 kA	150 kA	
Trip unit		Micrologic										
Downstream	Rating	400	400	400	400	400	630	630	630	630	630	
NG160E	16 kA	25/25	30/30	30/30	30/30	30/30	25/25	30/30	30/30	30/30	30/30	
NG160N	25 kA	36/36	36/36	50/50	50/50	50/50	36/36	36/36	50/50	50/50	50/50	
NG160H	36 kA		50/50	50/50	50/50	50/50		50/50	50/50	50/50	50/50	
NSC100N	18 kA	16 - 100	36/36	36/36	50/50	50/50	36/36	36/36	50/50	50/50	50/50	
NSX100B	25 kA	TM-D	36/36	36/36	50/50	50/50	36/36	36/36	50/50	50/50	50/50	
NSX100F	36 kA	TM-D		50/50	70/70	100/100	150/150		50/50	70/70	100/100	
NSX100N	50 kA	TM-D			70/70	100/100	150/150			70/70	100/100	
NSX100H	70 kA	TM-D				100/100	150/150				100/100	
NSX100S	100 kA	TM-D					150/150				150/150	
NSX160B	25 kA	TM-D	36/36	36/36	50/50	50/50	36/36	36/36	50/50	50/50	50/50	
NSX160F	36 kA	TM-D		50/50	70/70	100/100	150/150		50/50	70/70	100/100	
NSX160N	50 kA	TM-D			70/70	100/100	150/150			70/70	100/100	
NSX160H	70 kA	TM-D				100/100	150/150				100/100	
NSX160S	100 kA	TM-D					150/150				150/150	
NSX250B	25 kA	TM-D						36/36	36/36	50/50	50/50	
NSX250F	36 kA	TM-D							50/50	70/70	100/100	
NSX250N	50 kA	TM-D								70/70	100/100	
NSX250H	70 kA	TM-D									100/100	
NSX250S	100 kA	TM-D									150/150	
NSX100B	25 kA	Micrologic	36/36	50/50	50/50	50/50	50/50	36/36	50/50	50/50	50/50	
NSX100F	36 kA	Micrologic		50/50	70/70	100/100	150/150		50/50	70/70	100/100	
NSX100N	50 kA	Micrologic			70/70	100/100	150/150			70/70	100/100	
NSX100H	70 kA	Micrologic				100/100	150/150				100/100	
NSX100S	100 kA	Micrologic					150/150				150/150	
NSX160B	25 kA	Micrologic	36/36	50/50	50/50	50/50	50/50	36/36	50/50	50/50	50/50	
NSX160F	36 kA	Micrologic		50/50	70/70	100/100	150/150		50/50	70/70	100/100	
NSX160N	50 kA	Micrologic			70/70	100/100	150/150			70/70	100/100	
NSX160H	70 kA	Micrologic				100/100	150/150				100/100	
NSX160S	100 kA	Micrologic					150/150				150/150	
NSX250B	25 kA	Micrologic						36/36	50/50	50/50	50/50	
NSX250F	36 kA	Micrologic							50/50	70/70	100/100	
NSX250N	50 kA	Micrologic								70/70	100/100	
NSX250H	70 kA	Micrologic									100/100	
NSX250S	100 kA	Micrologic									150/150	
NSX400F	36 kA	Micrologic										
NSX400N	50 kA	Micrologic										
NSX400H	70 kA	Micrologic										
NSX400S	100 kA	Micrologic										
NSX630F	36 kA	Micrologic										
NSX630N	50 kA	Micrologic										
NSX630H	70 kA	Micrologic										
NSX630S	100 kA	Micrologic										

Note: respect the basic rules of discrimination, in terms of overload, short-circuit, see page 6, or check curves with Curve Direct software.

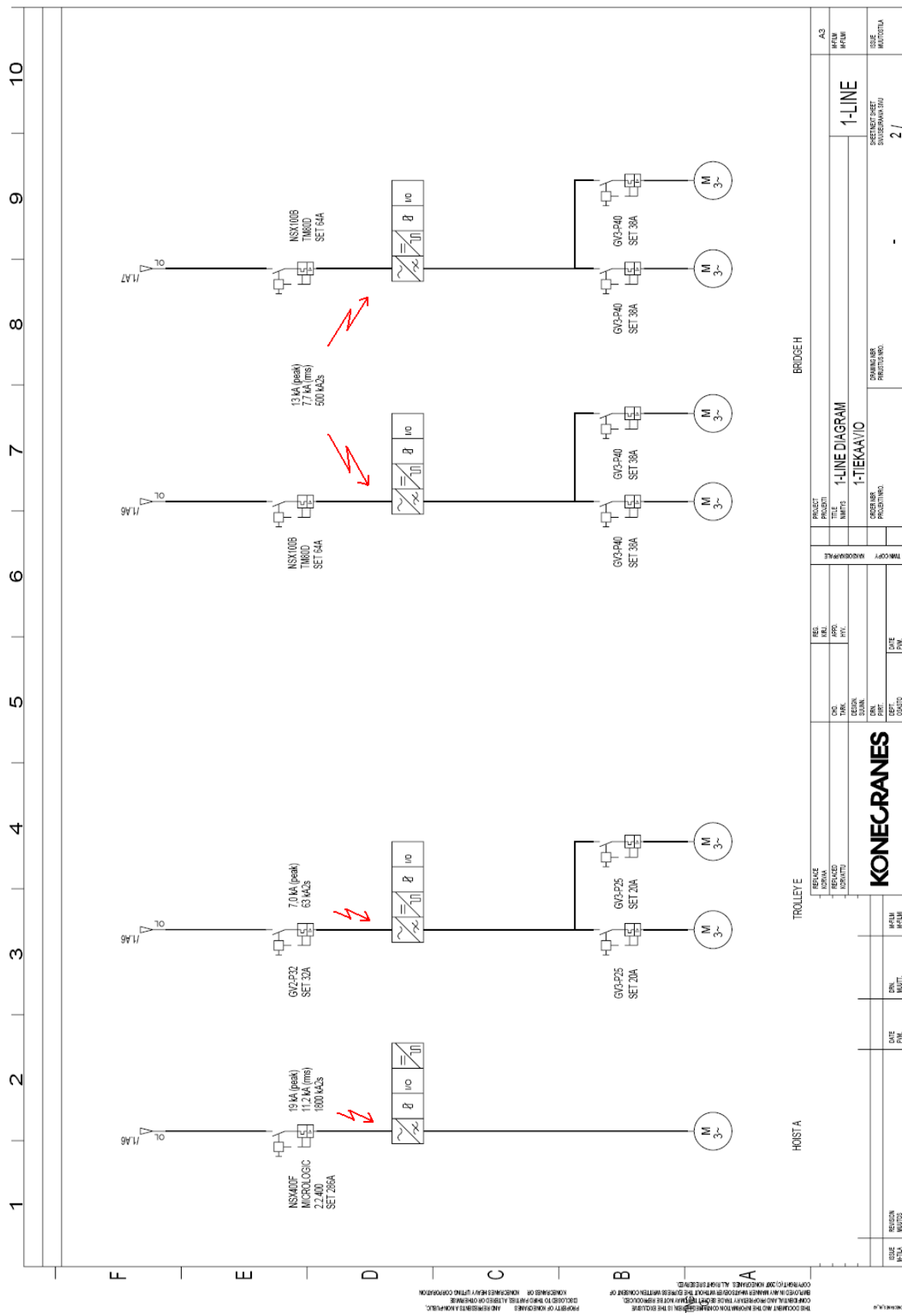
1-tiekaavio esimerkki



REVISION	DATE	BY	CHK.	APP.	REVISION	DATE	BY	CHK.	APP.
1/1									
KONECRANES REVISION: 1/1 DATE: 11/11/2011 BY: M. M. M. CHK.: M. M. M. APP.: M. M. M.					PROJECT: 1-LINE DIAGRAM DRAWING NO: 1-LINE SHEET NO: 1/1				

THIS DOCUMENT AND THE INFORMATION CONTAINED HEREIN IS THE EXCLUSIVE PROPERTY OF KONECRANES. NO REPRODUCTION OR TRANSMISSION OF ANY KIND IS PERMITTED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF KONECRANES. ALL RIGHTS RESERVED. COPYRIGHT © 2007 KONECRANES.

1-tiekaavion esimerkki



THE DOCUMENT AND THE INFORMATION CONTAINED HEREIN IS THE EXCLUSIVE PROPERTY OF KONECRANES AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM. WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF KONECRANES, NO PART OF THIS DOCUMENT IS TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM.

REVISION
MULTI

DATE
P.W.

DRN
MULTI

KONECRANES

DESIGN
SIGNAL
P.W.

DATE
P.W.

DESIGN
P.W.

1-LINE DIAGRAM
1-TIEKAAVIO

BRIDGE H

TRÖLLEY E

HOISTA A

1-LINE
MULTI

DATE
P.W.

DRN
MULTI

KONECRANES

DESIGN
P.W.

DATE
P.W.

DESIGN
P.W.

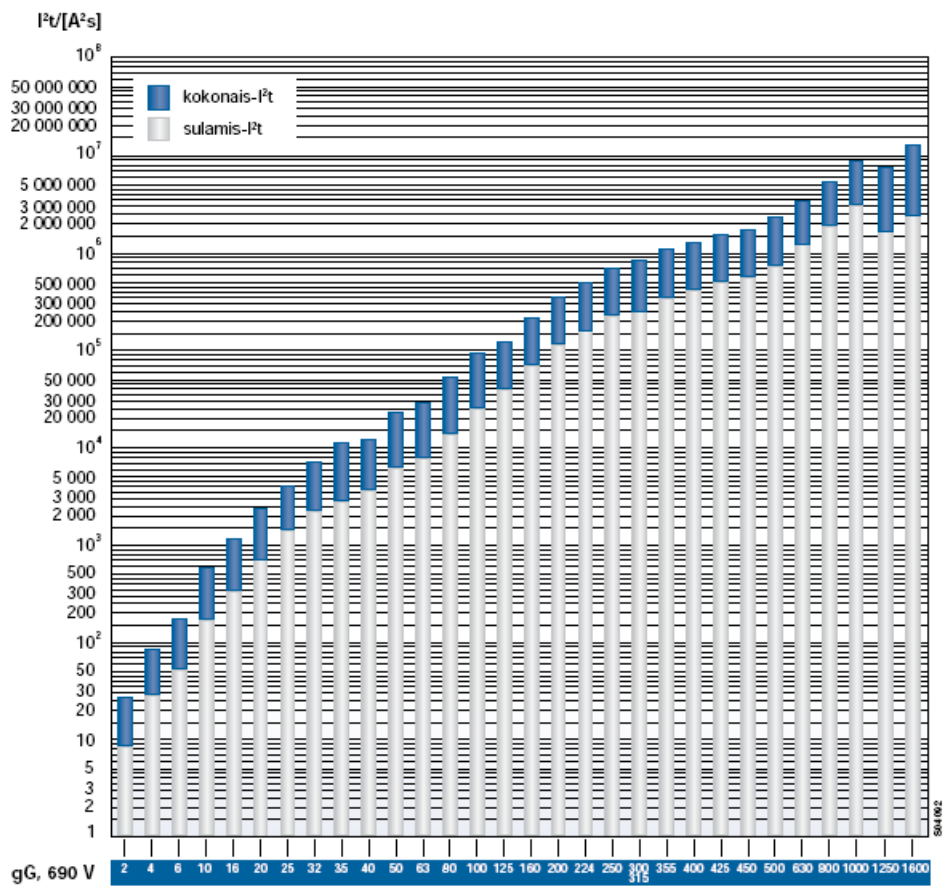
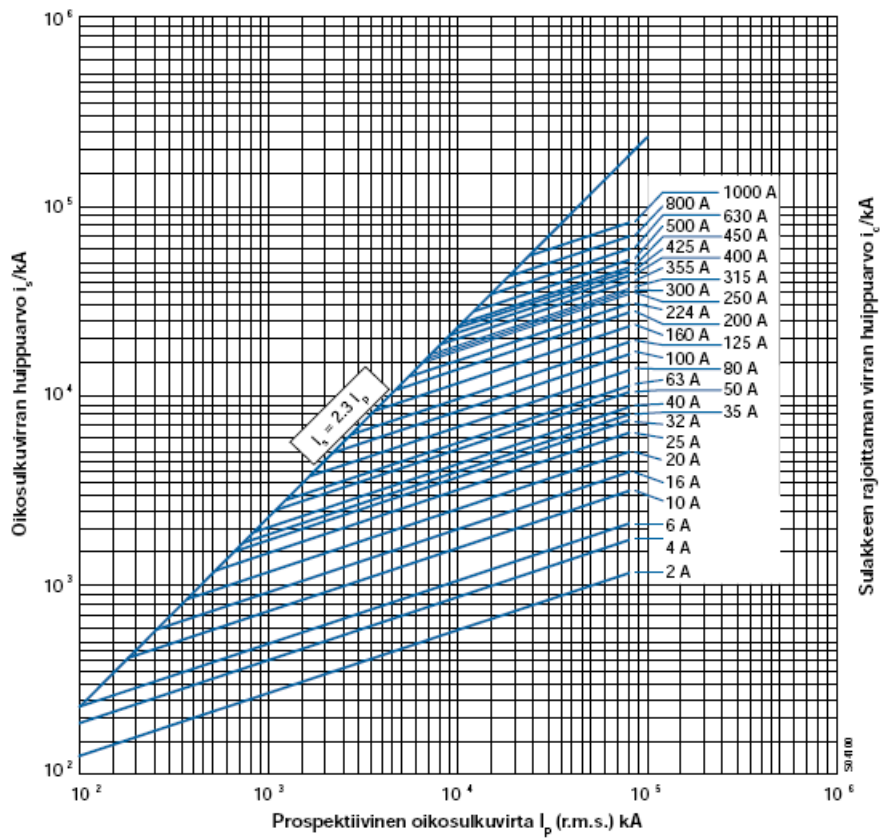
1-LINE
MULTI

BRIDGE H

TRÖLLEY E

HOISTA A

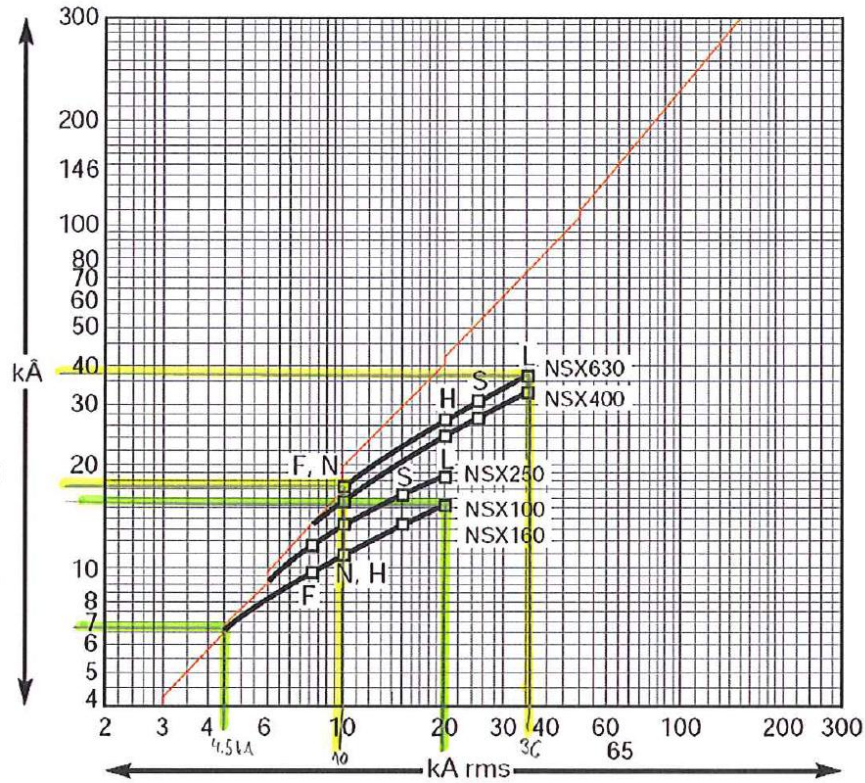
OFAA gG:n rajoituskäyrät /19, s. 28, 35/



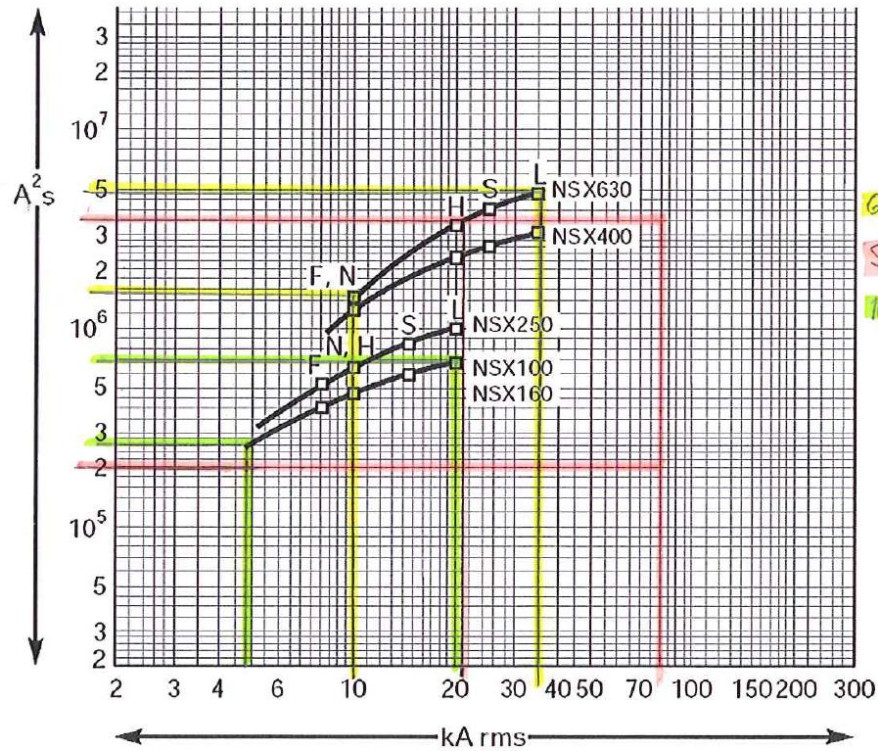
Katkaisijan ja sulakkeen vertailu /4, s. E-14 mukailten/

Voltage 660/690 V AC

Limited short-circuit current (kA peak)



Limited energy



Katkaisijan ja sulakkeen vertailu /19, s. 28, 35 mukailten/

OFAA gG:n rajoituskäyrät

