

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Talotekniikka

Tutkintotyö

Jukka Leppäkangas

## **KOSKETUSJÄNNITESUOJAUS UPS- JA VARAVOIMAVERKOISSA**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2005

Martti Honkiniemi  
AX-LVI Oy, valvojana Pertti Mikkonen

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikka

Talotekniikka

Jukka Leppäkangas

Laajuus:

Ohjaaja:

Työn teettäjä:

Toukokuu 2005

Kosketusjännitesuojaus UPS- ja varavoimaverkoissa

36 sivua + 6 liitesivua

Martti Honkiniemi

AX-LVI Oy, valvojana Pertti Mikkonen

Hakusanat: Kosketusjännite, kosketusjännitesuojaus, UPS, varavoima

## TIIVISTELMÄ

Tässä työssä käsiteltiin kosketusjännitesuojausta UPS- ja varavoimaverkoissa. Työssä esiteltiin kosketusjännite käsitteenä ja mihin kosketusjännitesuojaus perustuu. UPS- ja varavoimalaitteiden toimintaa tarkasteltiin oikosulkutilanteessa. Työssä tiedostettiin kosketusjännitesuojaukseen liittyvä säädösperusta. Käytettävissä olevat kosketusjännitesuojausmenetelmät ja niiden suojausperiaatteet selvitettiin. Kosketusjännitesuojaukseen liittyviä ongelmia selvitettiin ja niihin etsittiin ratkaisuja. Suunnitteluun liittyviä ohjeita tehtiin suoja-laitteiden ja käytettävän suojausmenetelmän valintaan. Lisäksi annettiin mitoituksessa käytettäviä oletuksia tilanteisiin, joissa suunnittelun lähtötiedot ovat puutteelliset.

## **TAMPERE POLYTECHNIC**

Electrical Engineering  
Building Services Engineering

Jukka Leppäkangas	Touch voltage protection in UPS- and reserve power networks
Engineering Thesis	36 pages + 6 appendices
Thesis Supervisor	Martti Honkaniemi
Commissioning Company	AX-LVI Oy, Supervisor Pertti Mikkonen
June 2005	

Keywords: Touch voltage, protection, UPS, reserve power

### **ABSTRACT**

This thesis was about touch voltage protection in UPS- and reserve power networks. This thesis introduced the concept of touch voltage and an idea of touch voltage protection. The behavior of UPS- and reserve power equipments in short circuit situation were considered. The statute basis of touch voltage protection was knowledged. The touch voltage protection methods and protecting principles of them were found out. Common problems considering touch voltage protection were found out as were the solutions to these problems. These solutions were related to how to select protective devices and how to select right touch voltage protection method. In addition, solutions were given to the situations where the source information of the designing project are incomplete.

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>KOSKETUSJÄNNITE JA KOSKETUSJÄNNITESUOJAUS</b> .....	<b>6</b>
2.1	Kosketusjännite.....	6
2.2	Kosketusjännitesuojaus .....	6
2.3	Kosketusjännitteen laskeminen /7/ .....	7
<b>3</b>	<b>KOSKETUSJÄNNITESUOJAUKSEN SÄÄDÖSPERUSTA</b> .....	<b>8</b>
3.1	Historia /10;11/ .....	8
3.2	Voimassa olevat säädökset .....	9
3.2.1	Normaalitilat /2/ .....	10
3.2.2	Lääkintätilat /2/ .....	10
3.2.3	Muut erikoistilat /2/ .....	10
<b>4</b>	<b>UPS-LAITTEIDEN TOIMINTA VIKATILANTEESSA</b> .....	<b>11</b>
4.1	Yleistä UPS-laitteista /3/ .....	11
4.2	UPS-laitteiden toiminta oikosulkutilanteessa sähköverkon ollessa normaali tilassa .....	12
4.3	UPS-laitteiden toiminta oikosulkutilanteessa sähköverkon ollessa vikatilassa .....	13
<b>5</b>	<b>VARAVOIMALAITTEIDEN TOIMINTA VIKATILANTEESSA</b> .....	<b>14</b>
5.1	Yleistä varavoimalaitteista /5/ .....	14
5.2	Varavoimalaitteen toiminta oikosulkutilanteessa /5/ .....	14
<b>6</b>	<b>KOSKETUSJÄNNITESUOJAUSMENETELMÄT</b> .....	<b>15</b>
6.1	Käytävissä olevat kosketusjännitesuojausmenetelmät.....	15
6.1.1	Syötön automaattinen nopea poiskytkentä.....	15
6.1.2	Vikavirran rajoittaminen .....	17
6.1.3	Paikallinen potentiaalintasaus .....	17
6.1.4	Suojaeristys.....	18
6.1.5	Suojaerotus.....	19
6.1.6	Paikallinen maasta erotettu potentiaalintasaus.....	19
6.1.7	Eristävä ympäristö.....	20
<b>7</b>	<b>KOSKETUSJÄNNITESUOJAUS UPS-VERKOISSA</b> .....	<b>20</b>
7.1	Käytännössä havaittuja ongelmia .....	20
7.2	Kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen UPS-verkoissa .....	21
7.2.1	UPSin syöttämän verkon ominaisuuksien määrittäminen .....	21
7.2.2	Kosketusjännitesuojausmenetelmän valinta .....	22
7.2.3	Suojalaitteiden valinta.....	24
<b>8</b>	<b>KOSKETUSJÄNNITESUOJAUS VARAVOIMAVERKOISSA</b> .....	<b>28</b>
8.1	Käytännössä havaittuja ongelmia .....	28
8.2	Kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen varavoimaverkoissa .....	28
8.2.1	Varavoimakoneen syöttämän verkon ominaisuuksien määrittäminen.....	28
8.2.2	Kosketusjännitesuojausmenetelmän valinta .....	29
8.2.3	Suojalaitteiden valinta.....	31
<b>9</b>	<b>LOPPUPÄÄTELMÄT</b> .....	<b>34</b>
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>35</b>
	<b>LIITTEET</b> .....	<b>36</b>

## 1 JOHDANTO

Toimeksiantajana tässä työssä on Insinööritoimisto AX-LVI Oy. Toimeksiantaja on havainnut tarvetta selvittää kosketusjännitesuojauksen toteuttamista UPS- ja varavoimaverkoissa. Näissä erikoistapauksissa on havaittu ongelmia kosketusjännitesuojauksen toteutumisessa. Aiheeseen liittyvää materiaalia ei ole saatavissa eli aihe tuntuu olevan melko tuntematon.

Tässä työssä selvitetään, mitä tarkoittaa kosketusjännite ja mihin kosketusjännitesuojaus perustuu. Myös UPS- ja varavoimalaitteiden toimintaa oikosulkutilanteessa selvitetään, jotta sieltä tiedostettaisiin mahdolliset ongelmakohdat kosketusjännitesuojauksen kannalta. Työssä tiedostetaan kosketusjännitesuojauksen säädösperusta. Tässä työssä ei käsitellä oikosulkuvirran termisiä ja dynaamisia vaikutuksia kaapeleihin ja laitteistoihin.

Työssä annetaan ohjeita kosketusjännitesuojauksen toteuttamiseen UPS- ja varavoimaverkoissa. Ohjeita annetaan kosketusjännitesuojausmenetelmän valintaan ja käytettävien suojalaitteiden mitoittamiseen. Lisäksi työssä annetaan mitoituksessa käytettäviä oletusarvoja tilanteisiin, joissa suunnittelun lähtötiedot ovat puutteelliset tai niitä ei ole.

## 2 KOSKETUSJÄNNITE JA KOSKETUSJÄNNITESUOJAUS

### 2.1 Kosketusjännite

Kosketusjännitteellä tarkoitetaan jännitettä, joka esiintyy suojamaadoitetun laitteen rungon ja rakennuksen potentiaalintasauskiskoon liitettyjen johtavien rakenteiden eli maan potentiaalilin välillä. Kosketusjännite syntyy, kun vikatilanteessa kulkevan virran virtapiiri muodostuu vaihejohtimesta ja suojamaadoitusjohtimesta. Tällöin suojamaadoitetun laitteen rungon potentiaali nousee verrattuna potentiaalintasauskiskon potentiaaliin. Kosketusjännitteen suuruuteen vaikuttavat vikatilanteessa kulkevan oikosulkuvirran suuruus sekä suojamaadoitusjohtimen impedanssi. Liitteissä 1-4 on esitelty tilanteita, joissa kosketusjännitettä esiintyy. Liitteiden 1-4 kuvissa  $I_k$  on oikosulkuvirta,  $Z$  on johdinimpedanssi ja  $U_{\text{kosk}}$  on kosketusjännite. Seuraavassa on selvitetty liitteissä 1 ja 2 esitettyjä tilanteita.

Liitteessä 1 on esitetty tilanne, jossa on oikosulku jakokeskuksen lähtöön liitetyssä laitteessa. Liitteen 1 ratkaisussa ei ole käytetty lisäpotentiaalintasausta. Kosketusjännite vaikuttaa vioittuneen laitteen 1 lisäksi myös laitteen 2 rungon ja muiden johtavien rakenteiden välillä. Laitteen 1 rungossa vaikuttava kosketusjännite on suurempi kuin laitteen 2 rungossa, koska laitteen 1 ryhmäjohtoon suojamaadoitusjohtimen jännitehäviö esiintyy vain laitteen 1 kosketusjännitteessä. Tässä tapauksessa jakokeskuksen PE-järjestelmän potentiaali nousee arvoon  $I_k \cdot Z_{\text{pe1}}$ . Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkien jakokeskukseen liitettyjen suojamaadoitettujen laitteiden rungoissa esiintyy sama kosketusjännite kuin laitteen 2 rungossa.

Liitteessä 2 on esitetty oikosulku jakokeskuksessa. Tässä ratkaisussa ei ole käytetty lisäpotentiaalintasausta. Jakokeskuksen PE-järjestelmän potentiaali nousee myös tässä tilanteessa arvoon  $I_k \cdot Z_{\text{pe1}}$ , mutta  $I_k$  on suurempi kuin liitteen 1 tilanteessa (olettaen, että kyseessä ovat samat kaapelikoot ja -pituudet), koska ryhmäjohtoon impedanssit eivät pienennä oikosulkuvirtaa. Myös tässä tapauksessa kaikkien jakokeskuksen PE-järjestelmään liitettyjen laitteiden rungoissa esiintyy kosketusjännite  $I_k \cdot Z_{\text{pe1}}$ . On kuitenkin huomattava, että kosketusjännite on suurempi kuin liitteen 1 tapauksessa. Tämä johtuu  $I_k$ :n kasvusta.

### 2.2 Kosketusjännitesuojaus

Kosketusjännitesuojauksessa on kyse henkilösuojauksesta. Kosketusjännitesuojauksella tarkoitetaan suojausmenetelmää, jolla estetään vaarallisen suurien jännitteiden muodostuminen rakenteisiin, jotka ovat ihmisten tai eläimien kosketeltavissa. Mikäli vaarallisen suuria jännitteitä muodostuu, kosketusjännitesuojauksen tehtävänä on katkaista kosketus-

jännite pois niin nopeasti, ettei siitä aiheudu vaaraa./1/ Kosketusjännitesuojauksessa ei suojata järjestelmiä, johtimia tai laitteita vikatilanteen termisiä tai dynaamisia vaikutuksia vastaan.

Kosketusjännitesuojaus voidaan toteuttaa usealla eri keinolla:

- Vian nopea poiskytkentä. Tämä tarkoittaa, että esiintyvä kosketusjännite kytketään pois riittävän nopeasti. Riittävä nopeus riippuu kohteesta. Tyypillisiä laukaisuraja-arvoja ovat 0,2 s, 0,4 s ja 5 s. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi oikein valituilla sulakkeilla tai johdonsuojakatkaisijoilla, jotka vikatilanteessa katkaisevat vikaantuneen piirin./1/
- Vikavirran rajoittaminen. Tässä menetelmässä käytetään suojalaitetta, joka katkaisee vikaantuneen piirin, kun piirissä havaitaan kulkevan vikavirtaa. Tällaisia laitteita ovat vikavirtasuojakytkimet./1/
- Rajoittamalla kosketusjännitettä. Tässä menetelmässä verkko rakennetaan siten, että kosketusjännitteen arvo ei missään tapauksessa ylitä 50 V:a. Tällaisia verkkoja tehdään käytännössä esimerkiksi käyttämällä paikallista potentiaalintasausta. Tällöin nostetaan vikaantuneen piirin kanssa samassa tilassa olevat johtavat rakenteet vikaantuneen piirin suojamaadoituksen potentiaaliin. Myös suojajännitteen käyttö on mahdollista./1/

### 2.3 Kosketusjännitteen laskeminen /4/

Seuraavassa on esitetty kosketusjännitteen laskeminen. Laskumenetelmä on likimääräinen, mutta käytännössä se on riittävän tarkka ja nopea. Tämä laskumenetelmä soveltuu TN-verkoille. Menetelmää on yksinkertaistettu tekemällä oletus, että pienjänniteverkko on täysin resistiivinen. Laskelmissa käytettävä vaihejännite on 95 % nimellisarvosta ja johtimien ajatellaan vikaa edeltäneenä aikana olleen lievästi ylikuormitettuja siten, että johtimien lämpötila on saavuttanut +80°C:n arvon. Laskuissa voidaan käyttää myös muita johdinlämpötiloja käyttämällä sopivaa lämpötilakorjauskerronta.

Syöttävän verkon yksivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla:

$$I_k = \frac{0,95 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (1)$$

Kaavassa (1) luku 0,95 on IEC-laskentastandardissa määritelty kerroin, joka ottaa huomioon verkon lievän alijännitteen sekä jännitteenaleneman liittimissä, sulakkeissa ja kytkimissä,  $U$  on verkon nimellispääjännite ja  $Z$  virtapiirin kokonaisimpedanssi.

Tarkistettavan johdon resistanssi saadaan kaavalla:

$$R_L = 1,24 \cdot \frac{l}{\gamma A} \quad (2)$$

Kaavassa (2) luku 1,24 on lämpötilakorjauskerroin,  $l$  on virtapiirin johtimen yhteenlaskettu pituus (äärijohdin + suojajohdin),  $\gamma$  on johdinmetallille ominainen johtokyky ja  $A$  on johtimen poikkipinta,  $\text{mm}^2$ . Yleisesti käytetyille johdinmetalleille pätevät arvot:

$$\gamma_{Cu} = 56 \frac{m}{\Omega \text{mm}^2} \quad \text{ja} \quad \gamma_{Al} = 36 \frac{m}{\Omega \text{mm}^2} \quad (3)$$

Johtimen reaktanssia ei tarvitse ottaa huomioon alle  $70 \text{ mm}^2$ :n johdinpoikkipinnoilla. Kun reaktanssi jätetään huomiotta, on laskettu oikosulkuvirta todellista suurempi. Rinnakkais-syöttöjärjestelmissä, joissa syöttäviä kaapeleita on kaksi tai useampi rinnan, on reaktanssit otettava huomioon myös alle  $70 \text{ mm}^2$ :n kaapeleilla.

Suojamaadoitetun piirin osan jännite vian aikana tarkistetaan kaavalla:

$$U_{kosk} = U_0 \cdot \frac{R_{PE}}{Z_s} \quad (4)$$

Kaavassa  $R_{PE}$  on suojajohtimen resistanssi jännitteelle alltiin osan ja pääpotentiaalintasauskiskon välillä,  $Z_s$  on vikapiirin kokonaisimpedanssi ja  $U_0$  nimellisvaihejännite.

### 3 KOSKETUSJÄNNITESUOJAUKSEN SÄÄDÖSPERUSTA

#### 3.1 Historia /9;10/

Vuonna 1993 voimaan tulleen Sähköturvallisuus määräykset A1-93:n 9.pykälä käsittelee kosketusjännitesuojausta enintään 1000 V:n järjestelmissä. Tässä kohdassa käsitelty kosketusjännitesuojaus poikkeaa nykyään käytössä olevasta huomattavasti. A1-93:ssa käyteen käsiteltä sähkölaitteen käyttöolosuhteet, jotka jaetaan kolmeen ryhmään:

- erittäin vaaralliset
- vaaralliset
- vaarattomat



Vaadittavat kosketusjännitesuojausmenetelmät on määrätty näiden käyttöolosuhteiden mukaan. A1-93:ssa ei ole määritelty sallitulle kosketusjännitteen suuruudelle yksiselitteistä arvoa eikä sitä, kuinka nopeasti kosketusjännite tulee saada katkaistua. A1-93:ssa käsitellään nolausehtoja, joista ensimmäisestä käytetään nykyään nimitystä vian nopea poiskytkentä. Vaikka A1-93 on kosketusjännitteen osalta hyvin erityyppinen kuin nykyiset määräykset, sen mukaan tehdään vanhoihin kohteisiin muutoksia vielä nykyäänkin. Siksi on syytä tutustua myös A1-93:een.

Vain vuosi A1-93:n voimaantulon jälkeen, voimaan tuli Rakennusten sähköasennukset A2-94. A2-94:n kohta 413 käsittelee kosketusjännitesuojauksista. A2-94 oli kosketusjännitesuojauksen kannalta suuri edistysaskel A1-93:sta. A2-94:ssä luovuttiin käyttöolosuhteiden luokittelusta ja alettiin puhua nolausehtojen sijaan vian nopeasta poiskytkennästä. A2-94:ssä määriteltiin selvät raja-arvot kosketusjännitteelle ja kosketusjännitteen poiskytkentäajoin. A2-94:ssä annettiin myös selkeitä kaavamuotoisia ehtoja, joiden oli täyttyvä. Nämä ehdot ovat voimassa vielä nykyisessä SFS 6000:ssa ja ne on esitetty kohdassa 4.2.

### 3.2 Voimassa olevat säädökset

Vuonna 1999 tuli voimaan SFS 6000-standardisarja, joka korvasi A2-94:n. Pienjännitesähköasennuksia koskeva standardisarja SFS 6000 koskee myös pienjännitejakeluverkkoja. Siinä on kansallisia osia, joiden avulla standardisarja kattaa kaikki normaalit korkeintaan 1000 V:n vaihtojännitteiset ja 1500 V:n tasajännitteiset sähköasennukset. SFS 6000 perustuu CENELEC:in HD 384:n harmonisointidokumentteihin ja IEC 60364-standardisarjaan. Standardisarjaa SFS 6000 päivitettiin vuonna 2002, jolloin julkaistiin yhtenäinen muutosstandardi SFS 6000/A1. Kosketusjännitesuojauksen kannalta ei SFS 6000 muuttunut oleellisesti verrattuna A2-94:ään. /6/

Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry:n ja Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry:n vuonna 2002 julkaisema D1/2002, Käsikirja rakennusten sähköasennuksista, pohjautuu SFS 6000-standardisarjaan. Sen tarkoituksena on antaa lisäohjeita sähköasennuksia koskevien standardien soveltamisesta. Tämän julkaisun luvussa 413 on selvitetty tarkemmin SFS 6000:ssa esitettyjä kosketusjännitesuojaukseen liittyviä ratkaisuja. D1/2002 sisältää myös laskuesimerkkejä ja suunnitteluohjeita kosketusjännitesuojauksen toteuttamiseksi.

Sähköasennusten korjaus-, muutos- ja laajennustöissä on syytä tutustua SFS 6000:n lukuun 802. Tuossa luvussa on selvitetty, milloin kyseisiä töitä voidaan tehdä vanhojen säädösten mukaan tai soveltaen uusia säädöksiä tässä luvussa mainituin poikkeuksin. /1/

SFS 6000:n kohdassa 551.4 on käsitelty kosketusjännitesuojaukselle asetettuja lisävaatimuksia generaattorilaitteistoja sisältäville verkoille. Tässä kohdassa generaattorilaitteistolla tarkoitetaan myös akusto- eli UPS-järjestelmiä. /2/

### **3.2.1 Normaalitilat /2/**

Normaalitiloilla tarkoitetaan sellaisia yleisiä tiloja, joihin ei ole annettu tilatyypille ominaisia erikoismääräyksiä. Normaalitiloja ovat siis kaikki tilat, joita ei ole lueteltu SFS 6000:n osassa 7 (luvut 701-715). Normaalitilat ovat lääkintätilojen ohella tärkeimmät kohteet, joissa käytetään UPS- tai varavoimaverkkoa.

Kosketusjännitesuojaukselle laadittuja yleisiä vaatimuksia ja menetelmiä on esitetty SFS 6000:n luvussa 413. Nämä vaatimukset ja menetelmät pätevät normaalitiloihin.

### **3.2.2 Lääkintätilat /2/**

Lääkintätiloihin liittyviä erikoismääräyksiä on huomattava määrä ja niihin on syytä tutustua huolellisesti. Lääkintätilojen kosketusjännitesuojauksessa käytetään SFS 6000:n luvussa 413 mainittuja menetelmiä, lukuun ottamatta niitä erikoismääräyksiä, jotka on esitetty luvun 710 kohdassa 710.413 ja sen alakohdissa. Myös kohdassa 710.2 esitetyt lääkintätiloihin liittyvät määritelmät on syytä huomioida. Lääkintätilojen tärkeimmät poikkeukset ovat 0,2 s:n laukaisuaikavaatimus ja vikavirtasuojien laajempi käyttövaatimus. Lääkintätiloissa käytetään erikoistiloista eniten UPS- ja varavoimaverkkoja.

### **3.2.3 Muut erikoistilat /2/**

Muita erikoistiloja, joiden kosketusjännitesuojaukseen on annettu erikoismääräyksiä ovat:

- Kylpy- ja suihkutilat (SFS 6000:701.413.1.6 ja alakohdat)
- Uima-altaat ja vastaavat (SFS 6000:702.413 ja alakohdat)
- Maa- ja puutarhatalouden laitteisto (SFS 6000:705.413.1.6)
- Ahtaat johtavat tilat (SFS 6000:706.471.2 ja alakohdat)
- Matkailuajoneuvot ja niiden paikoitusalueet (SFS 6000:708.5.1.3 – 708.5.1.5)
- Pienvenesatamat (SFS 6000:709.471.2.1-4 ja 709.531.1)
- Messujen ja näyttelytilojen tilapäislaitteistot (SFS 6000:711.413 ja alakohdat)
- Ulkovaalaistus (SFS 6000:714.413 ja alakohdat)
- Pienoisjännitteiset valaistusjärjestelmät (SFS 6000:715.411 ja alakohdat)

Edellä mainituissa tiloissa UPS- tai varavoimaverkkojen käyttö on erittäin harvinaista.

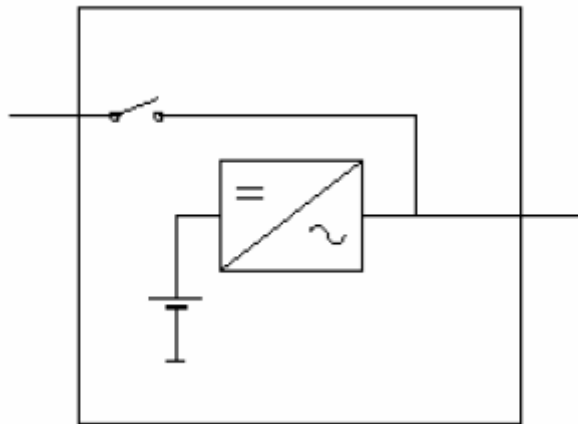
## 4 UPS-LAITTEIDEN TOIMINTA VIKATILANTEESSA

### 4.1 Yleistä UPS-laitteista /3/

UPS-laitteita(Uninterruptible Power Supply) käytetään varmistamaan häiriötön sähkönsyöttö kriittisille kuormille ja järjestelmille. UPS-laitteita ei käytetä pelkästään verkkokatkojen ylittämiseen vaan myös verkkosähkön laadun parantamiseen. Tästä syystä UPS-laitteita valmistetaan useilla erilaisilla topologioilla. Topologiat vaikuttavat UPS-laitteen ominaisuuksiin normaaleissa käyttötilanteissa. Yleisimmät topologiat ovat:

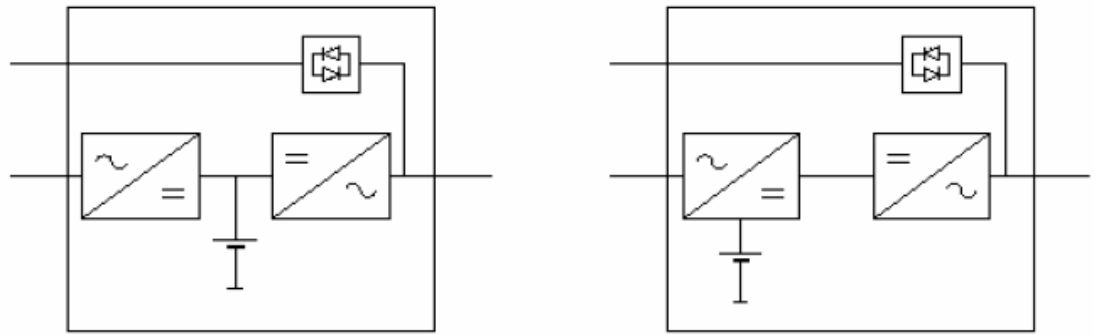
- Off-line UPS (Stand by UPS)
- On-line UPS
- Line interactive UPS

Off-line UPS soveltuu PC-laitteiden ja muiden pienten kuormien syöttöön. Normaalitylanteessa verkkosähkö suodatetaan kuormalle. Jännitekatkon ja suurien jännitevaihteluiden aikana vaihtosuuntaaja käynnistyy ja sähkö syötetään vaihtosuuntaajan kautta kuormalle.



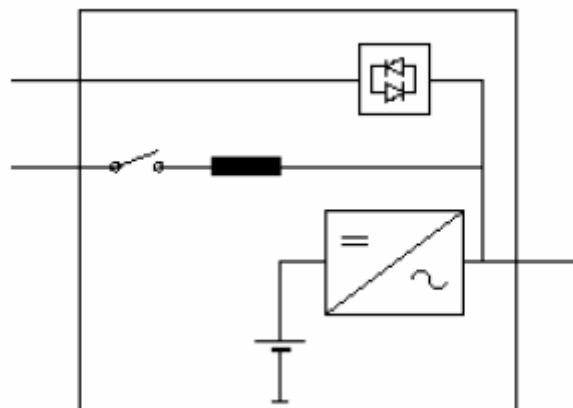
**Kuva 1. OFF-line UPSin toimintaperiaate**

On-line UPS soveltuu kaikkien kriittisten kuormien sähkönsyötön varmistukseen. Sähkö syötetään tasasuuntauksen ja vaihtosuuntauksen kautta kriittiselle kuormalle. Toimintaperiaate takaa sen, että UPSin lähtöjännite on riippumaton syöttävän sähköverkon jännitteen vaihteluista, jännitepiikeistä, taajuusvaihteluista ym. häiriöistä. Syötön suurelta jännite- taajuuspoikkeamat eivät siirrä UPSia pelkästään akkusyötölle.



**Kuva 2. On-line UPSin toimintaperiaate**

Line interactive UPS perustuu ratkaisuun, jossa syöttävän verkon rinnalla on rinnakkais-säätäjä. Nimellisellä verkkojännitteellä sähkö syötetään kriittiselle kuormalle suoraan verkosta suodattimen kautta. Jännitteen vaihdellessa UPSin lähtöjännite säädetään nimelliseksi rinnakkais-säätäjällä. Taajuuden vaihteluja UPS ei pysty korjaamaan vaan siirtyy akkusyötölle ja katkaisee verkkosyötön. Taajuuden palattua nimelliseksi, sähkönsyöttö siirtyy jälleen verkkosyötölle ja akkujen lataus käynnistyy.



**Kuva 3. Line interactive UPS:n toimintaperiaate**

Line interactive- ja On-line-topologialla valmistetut UPS-laitteet varustetaan staattisella ohituskytkimellä. Ohituskytkin siirtää sähkönsyötön sähköverkolle ylivirtatilanteessa. Näin oikosulkuvirrat, käynnistysvirrat yms. ovat huomattavasti suurempia, mihin UPSin vaihtosuuntaaja pystyy.

#### **4.2 UPS-laitteiden toiminta oikosulkutilanteessa sähköverkon ollessa normaali tilassa /3/**

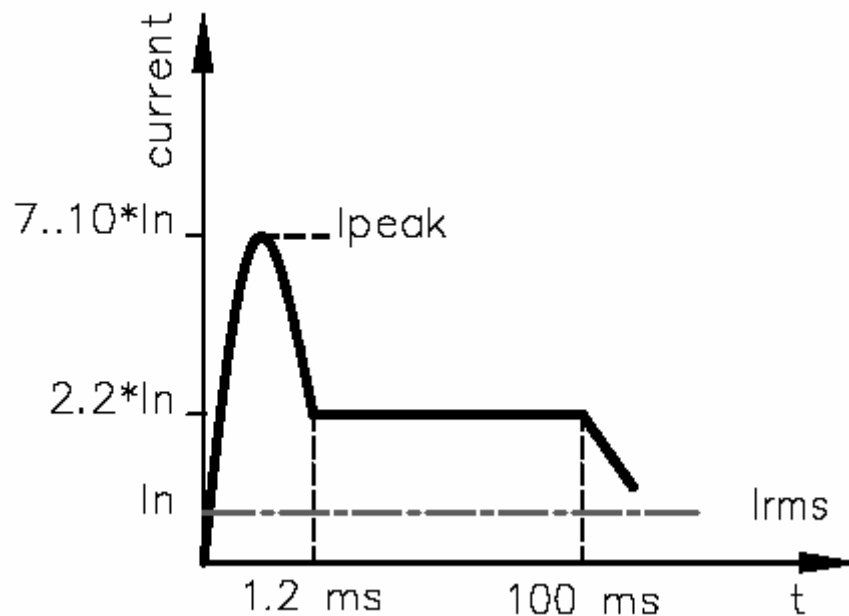
Sähköverkon ollessa normaalitilassa siirtävät, Line interactive- ja On-line UPSit sähkönsyötön staattisella ohituskytkimellä vikatilanteessa sähköverkolle, joten oikosulkutilan-

teen virran määräävät syöttävän sähköverkon ominaisuudet. Heti kun vikatilanne on ohi, staattinen ohituskytkin siirtyy takaisin normaaliasentoon. Staattisen ohituskytkimen toiminta-ajat kumpaankin suuntaan ovat luokkaa 0-1 ms. Off-line UPS syöttää suodatettua verkkojännitettä verkon ollessa normaalitilassa, joten oikosulkutilanteessa oikosulkuvirta tulee syöttävästä sähköverkosta.

### 4.3 UPS-laitteiden toiminta oikosulkutilanteessa sähköverkon ollessa vikatilassa

Kosketusjännitesuojauksen kannalta oikosulku, joka tapahtuu sähköverkon ollessa vikatilassa, aiheuttaa ongelmia UPS-verkoissa. UPS-laitteiden toimiessa pelkästään akustoilla, ovat vikatilanteen toiminnot hyvin laitteiden valmistajasta riippuvaisia. Yhteisiä piirteitä kaikille valmistajille on vaihtosuuntaajan maksimivirran rajoittaminen elektronisesti sekä vaihtosuuntaajan automaattinen sammutus vikatilanteen jatkuessa.

Vaihtosuuntaajan maksimivirta on rajoitettu tyypillisesti n.1,5-3-kertaiseksi nimellisvirtaan verrattuna. Vaihtosuuntaajan maksimivirta rajoitetaan laskemalla lähtöjännitettä. Tämän vuoksi UPSin kuormanpuoleisen verkon ominaisuudet eivät yleensä vaikuta piirissä kulkevaan oikosulkuvirtaan, kun oikosulkuvirta otetaan UPSin akustoista.



Kuva 4. Oikosulkuvirran muoto /11/

Joillakin UPS-laitteiden valmistajilla on vaihtosuuntaaja, joka antaa suuremman virtapiikin vikatilanteen alussa (kuva 4). Virtapiikin kestoaika on luokkaa 1-2 ms ja sen suuruus noin 7-10 kertaa nimellisvirta. /11/

Vaihtosuuntaajat sammuttavat itsensä automaattisesti, mikäli vika ei poistu tietyn ajan kuluessa. Tämä laukaisuaika on myös valmistajasta ja mallista riippuvainen. Tyypilliset laukaisuaajat ovat luokkaa 100-300 ms.

## 5 VARAVOIMALAITTEIDEN TOIMINTA VIKATILANTEESSA

### 5.1 Yleistä varavoimalaitteista /5/

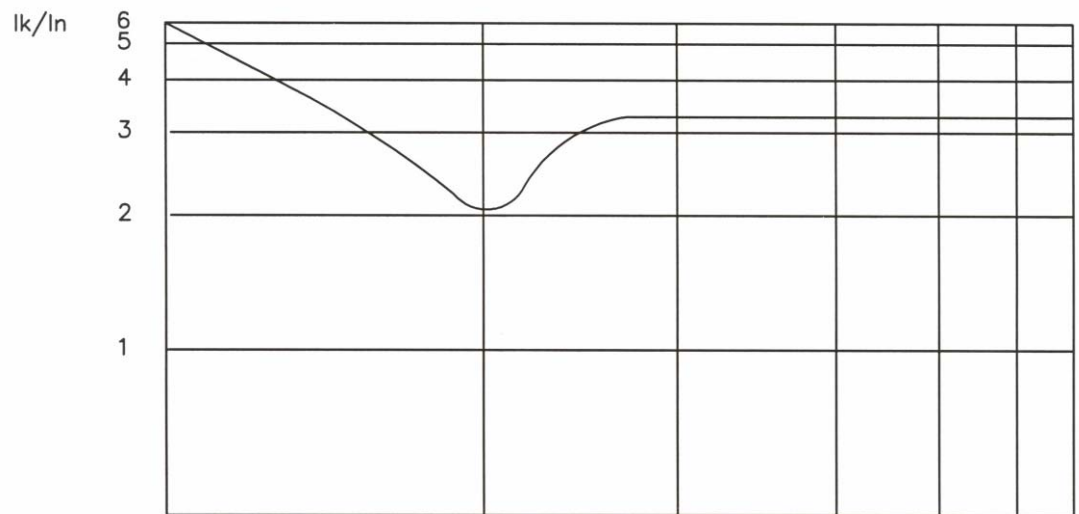
Varavoimalaitteista puhuttaessa yleensä tarkoitetaan moottorigeneraattorilaitteistoa. Moottorigeneraattorilla tarkoitetaan järjestelmää, jossa generaattoria pyöritetään polttomoottorilla, turbiinilla tai muulla voimanlähteellä. Varavoimalaitteissa käytetään tavallisesti polttomoottoreita. Moottorigeneraattoreita käytetään:

- yleisestä jakeluverkosta erillisen sähköverkon syöttämiseen
- yleisen jakeluverkkoon liitetyn sähköasennuksen varavoimanlähteenä
- yleisestä jakeluverkosta syötettävän sähköasennuksen rinnakkaissyöttönä

Varavoimakäytössä moottorigeneraattoria käytetään yleensä niin sanotussa saarekekäytössä, jossa yleisen jakeluverkon ja generaattorin rinnankäynti on estetty. Tämä toteutetaan esimerkiksi kolmiasentoisella vaihtokytkimellä, joka katkaisee toisen syötön ennen kuin toinen syöttö kytkeytyy. Moottorigeneraattorin saarekekäyttöä koskevat vaatimukset on esitetty SFS 6000:n kohdassa 551.6.

### 5.2 Varavoimalaitteen toiminta oikosulkuilanteessa /5/

Varavoimageneraattorin, joka on varustettu jännitteensäätäjällä, antama oikosulkuvirta on kuvaajassa 1 esitetyn muotoista. Jännitteensäätäjä säätää generaattorin magnetointivirtaa kuormitustilanteen mukaan. Oikosulkuvirran suuruus on riippuvainen generaattorin nimellistehon suuruudesta. Generaattorin alkuoikosulkuvirta  $I_k''$  on huomattavasti suurempi kuin jatkuvantilan oikosulkuvirta  $I_k$ . Tällainen käyttäytyminen oikosulkuilanteessa johtuu sekä magnetointivirran muutoksesta että generaattorin sisäisten reaktanssien muutoksesta generaattorin joutuessa muutostilaan. Laitteiden valmistajista riippuvat erot generaattoreiden käyttäytymisessä ovat melko pieniä. Varavoimageneraattorin syöttämä jatkuvantilan oikosulkuvirta suuruudeltaan luokkaa  $2 - 3,5I_{n1}$ .



Kuvaaja 1. Generaattorin oikosulkuvirran käyrämuoto /5/

## 6 KOSKETUSJÄNNITESUOJAUSMENETELMÄT

### 6.1 Käytettävissä olevat kosketusjännitesuojausmenetelmät

Kosketusjännitesuojauksen toteuttamiseen on olemassa useita menetelmiä. Toisia niistä käytetään harvemmin, mutta niiden olemassaolo on hyvä tiedostaa. Kaikilla näillä menetelmillä on tavoitteena saada määräykset täyttävä kosketusjännitesuojaus toteutettua. Eri menetelmien käyttöä on tarkasteltava tapauksittain, koska eri tilanteissa ovat eri menetelmät toimivia ja järkeviä.

#### 6.1.1 Syötön automaattinen nopea poiskytkentä

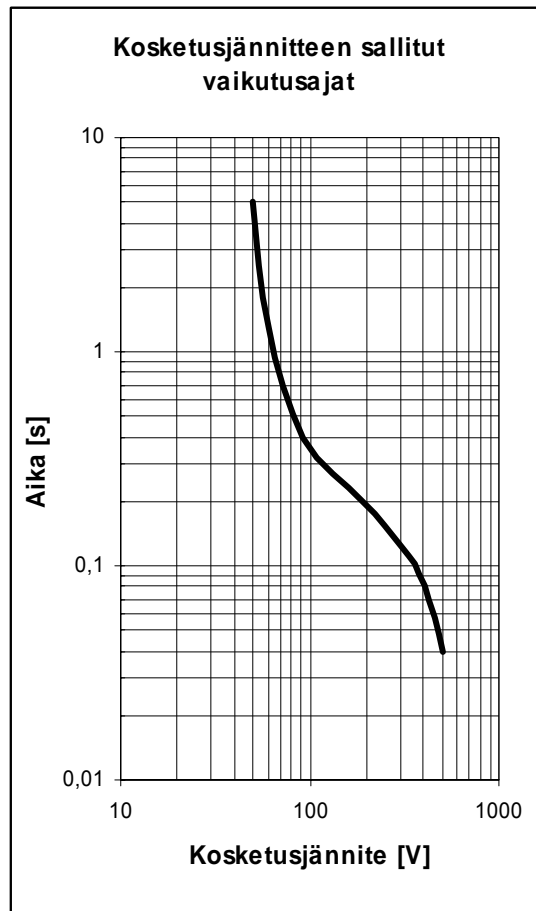
Syötön automaattinen nopea poiskytkentä on yleisimmin käytetty suojausmenetelmä. Normaalisissa sähköverkossa, jossa oikosulkuvirrat ovat suuret, on kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen tällä menetelmällä tehokasta ja edullista. Tässä menetelmässä ajatuksena on saada eristysvian aiheuttama vikavirta ja syntyvä kosketusjännite katkaistua niin nopeasti, ettei siitä aiheudu vaaraa ihmiselle.

Suojaukseen tarvitaan suunniteltu vikavirtapiiri ja sopiva suojalaite. Toimiakseen kunnolla suojausmenetelmän on täytettävä seuraavat kaksi ehtoa:

1. "Vikapiirissä on oltava johtava yhteys, suunniteltu vikavirtapiiri, joka mahdollistaa vikavirran kulkemisen. Vikavirtapiirin rakenne riippuu käytetystä maadoitusjärjestelmästä (TN, TT tai IT)" /1/.

Ehto edellyttää kaikkien asennuksesta syötettävien sähkölaitteiden jännitteelle alttiiden osien yhdistämistä suojajohtimilla maadoitusjärjestelmään siten, että syntyy vikavirtapiiri.

2. ”Vikavirta ja kosketusjännite on kytkettävä pois sopivalla suojalaitteella. Poiskytkentäaika riippuu eri tekijöistä, kuten kosketusjännitteestä, jonka alaiseksi henkilö saattaisi joutua, vian todennäköisyydestä ja sen todennäköisyydestä että henkilö koskettaa laitetta vian aikana. Sallittu kosketusjännite ja sen kestoaika perustuu tehtyihin tutkimuksiin sähkövirran vaikutuksista ihmiseen” /1/. Kuvaajassa 2 on esitetty kosketusjännitteen suurimmat sallitut vaikutusajat.



**Kuvaaja 2. Kosketusjännitteen suurimmat sallitut vaikutusajat /1/**

Käytännössä olisi kuitenkin liian työlästä laskea vaadittu laukaisuaika suurimman esiintyvän kosketusjännitteen avulla. Tämän takia standardisarjassa SFS 6000 on annettu yksittäisiä laukaisuarvoja eri vaihejännitteille (esitetty SFS 6000 taulukossa 41 A). Suurin sallittu laukaisuaika 230/400 V:n verkossa on 0,4 sekuntia lukuun ottamatta tiettyjä tapauksia, joissa sallitaan pidempi laukaisuaika. Laukaisuaikojen tarkastelu on aiheellista lähinnä ainoastaan käytettäessä sulakkeita. Käytettäessä johdonsuojakatkaisijoita tarvitsee ainoastaan varmistua siitä, että piirin oikosulkuvirta on suurempi kuin johdonsuojakatkaisijalle annettu pikalaukaisun arvo. /1/



Erikoistiloissa ja muissa erikoisissa asennuksissa saattaa olla erilaisia laukaisuaikavaatimuksia. Esimerkiksi lääkintätiloissa on suojauksen toimittava 0,2 sekunnissa.

Ryhmäjohdolle, joka syöttää suoraan tai pistorasian kautta kädessä pidettävää tai siirrettävää luokan I sähkölaitetta on vaatimusten mukainen laukaisuaika 0,4 sekuntia. Piireissä, jotka eivät suoraan syötä siirrettäviä tai kädessä pidettäviä sähkölaitteita sallitaan pidempi 5 sekunnin laukaisuaika. Jos piirissä on jokin osa joka vaatii 0,4 sekunnin laukaisun, on koko piiri mitoitettava 0,4 sekunnin mukaan./1/

Viiden sekunnin raja perustuu sopimukseen. Tässä ajassa poiskytkentä voidaan toteuttaa useimmissa tapauksissa, joissa tarvitaan 0,4 sekuntia pidemmät laukaisuaajat. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi jotkut pääjohdot ja moottorien syöttöpiirit. /1/

### 6.1.2 Vikavirran rajoittaminen

Vikavirran rajoittaminen tehdään käyttämällä vikavirtasuojakytkimiä. Tämä menetelmä kuuluu periaatteessa syötön automaattiseen nopeaan poiskytkentään, mutta poikkeaa kuitenkin toiminnaltaan sulakkeilla tai johdonsuojakatkaisijoilla toteutetusta suojauksesta.

Vikavirtasuojakytkin on rakenteeltaan summavirtamuuntaja, joka vertaa L johtimesta menevää virtaa N-johtimesta palaavaan virtaan. Mikäli näiden virtojen ero on enemmän kuin vikavirtasuojakytkimen nimellinen toimintavirta, katkaisee kytkin virtapiirin pikalaukaisulla.

Kun kosketusjännitesuojaus toteutetaan vikavirtasuojakytkimillä, on hyvä huomata, ettei laukaisuaikavaatimuksilla ole merkitystä. Laukaisuajan sijaan on vikavirtasuojakytkimen toimintavirta ratkaiseva. Säädöksissä sanotaan, minkälaisia vikavirtasuojakytkimen tulee olla nimellistoimintavirralltaan missäkin käyttökohteessa ja -tilanteessa. Lisäksi todellinen toimintavirta tulee mitata ennen asennuksen käyttöönottoa. Vikavirtasuojakytkin tulee testata käytössä määrä ajoin, painamalla test-painiketta.

### 6.1.3 Paikallinen potentiaalintasaus

Paikallisen potentiaalintason tarkoitus on saada tilassa olevan laitteen eristysvian aiheuttama kosketusjännite pysymään niin pienenä ( $U_{kosk} < 50 \text{ V}$ ), ettei siitä aiheudu vaaraa.

Käytännössä lisäpotentiaalintasaus voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraavasti. Yhdistetään tilan kaikki johtavat rakenteet potentiaalintasausjohtimilla, esim. ML 2,5 KeVi, tilan syöttökaapelin PE-johtimeen jakorasiassa tai pieneen potentiaalintasauskiskoon jakorasian lä-

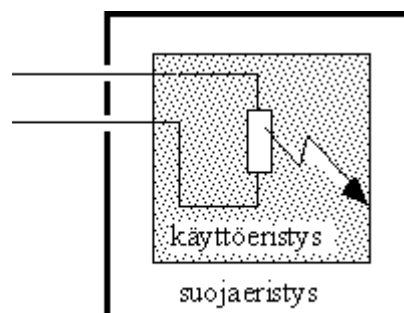
hellä. Näin tehdessä vikatilanteessa kosketusjännite syntyy ainoastaan pistorasian suoja-  
koskettimelta jakorasiaan menevän suojaohjtimen jännitehäviöstä.

Tätä suojausmenetelmää käytetään vaihtoehtoisena menetelmänä vikavirtasuojakytkimen  
käytölle, kun ei pystytä toteuttamaan syötön nopeaa poiskytkentää johdonsuojakatkaisijoil-  
la tai sulakkeilla.

#### 6.1.4 Suojaeristys

Suojaeristys perustuu vaarallisen kosketusjännitteen estämiseen käyttämällä peruseristys-  
ten lisäksi lisäeristystä tai vahvistettua eristystä. Kaikki suojaeristetyn laitteen kosketeltavat  
osat on suojattu lisäeristyksellä, joten laitteen runkoa ei ole galvaanisesti yhdistetty maa-  
han. Suojaeristetyt laitteet ovat luokan II sähkölaitteita. /4;12/

Asennuksen voi tehdä suojaeristetyksi, kunhan asennuksen lopputulos vastaa standardin  
mukaista suojaeristettyä laitetta. /1/



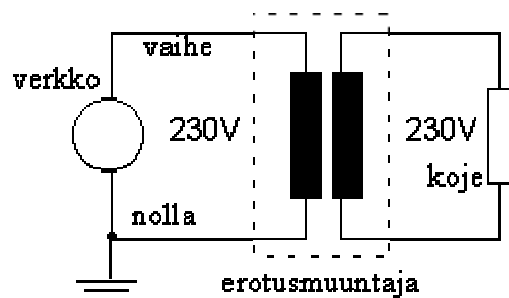
**Kuva 5. Suojaeristysten toiminta vikatilanteessa. /12/**

Suojaeristysten käyttö pääasiallisena suojausmenetelmänä on hankalaa, koska pistorasi-  
oista tulisi tehdä sellaisia, että niihin saisi liitettyä vain suojaeristettyjä laitteita. Yksittäisten  
laitteiden suojausmenetelmänä suojaeristys on toimiva ratkaisu, vaikkakin melko harvinais-  
nen. Esimerkiksi tilanteissa joissa 0,4 sekunnin poiskytkentäaika vaatimusta ei voi toteut-  
taa, voidaan luokan I laite korvata luokan II laitteella, jolloin kosketusjännitesuojaus vaati-  
mukset täyttyvät kyseisen laitteen osalta. Tällaisia laitteita ovat pääasiallisesti puolikiinte-  
ästi asennettavat sähkölaitteet. Puolikiinteästi asennettavia suojaeristettyjä laitteita on  
markkinoilla todella vähän. Tästä syystä tämä suojausmenetelmä on harvinaisen.

### 6.1.5 Suojaerotus

Suojaerotuksessa käytetään suojaerotusmuuntajaa, jolla galvaanisesti erotetaan normaali jakeluverkko ja se verkon osa joka halutaan suojata. Suojaerotusta käytettäessä ei toisiopiiriä maadoiteta, jolloin estetään vianaikaisen kosketusjännitteen esiintyminen. Sen sijaan, mikäli toisiopiirissä on useita sähkölaitteita, virtapiirin jännitteelle alttiit osat yhdistetään toisiinsa maadoittamattomilla eristetyillä potentiaalintasausjohtimilla. /1/

Koska suojaerotettuverkko on galvaanisesti erotettu normaalista jakeluverkosta, ei suojaerotetun verkon vaihejohtimen ja maan välille voi muodostua virtapiiriä. Tästä syystä suojaerotetun verkon vaihejohtimesta ei saa sähköiskua, vaikka siihen koskettaa. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka suojaerotettuun verkkoon liitettyssä laitteessa tapahtuu eristysvika, ei siitä aiheudu vaaraa. Tästä syystä suojaerotus antaa erittäin hyvän suojaustason. Erittäin hyvän suojaustason vuoksi menetelmää käytetään vaikeissa käyttöolosuhteissa.



Kuva 6. Suojaerotusmuuntaja /12/

Suojaerotukseen on käytettävä kyseiseen tarkoitukseen tehtyä muuntajaa, jossa on ensiön ja toision välissä vahvistettu eristys. Suojaerotettuun verkkoon voi liittää myös 0-luokan sähkölaitteita. 0-luokan sähkölaitteita ei käytetä UPS-sovelluksissa. Suojaerotusta voi käyttää kaikissa tiloissa, mutta tietyissä erikoistiloissa yhdestä muuntajasta saa syöttää vain yhtä sähkölaitetta. Tällaisia erikoistiloja ovat muun muassa säiliöt tai muut tilat, joissa henkilö on jatkuvassa kosketuksessa rakenteiden metalliosien kanssa. /1/

### 6.1.6 Paikallinen maasta erotettu potentiaalintasaus

Paikallisella maasta erotetulla potentiaalintasauksella pyritään estämään vaarallisen kosketusjännitteen esiintyminen. Tässä menetelmässä kaikki samanaikaisesti kosketeltavat jännitteiset osat yhdistetään toisiinsa potentiaalintasausjohtimilla siten, ettei potentiaalintasausjärjestelmä ole yhteydessä maahan.

**Tätä suojausmenetelmää ei suositella käytettäväksi Suomessa. /2/**

### 6.1.7 Eristävä ympäristö

Käytettäessä kosketusjännitesuojausmenetelmänä eristävää ympäristöä pyritään estämään samanaikainen koskettaminen sellaisiin osiin, jotka voivat peruseristysten pettämissä johdosta olla eri potentiaalissa.

Tilassa, jossa käytetään eristävää ympäristöä suojausmenetelmänä, ei saa olla suojajohdimia. Tilan seinien ja lattian tulee olla eristäviä. Lisäksi tulee olla täytetty jokin SFS 6000 kohdassa 413.3.3 esitetystä kolmesta kohdasta. Tilan kaikkien järjestelyjen tulee olla pysyviä, joten tilaan ei voi asentaa pistorasioita.

Tämän suojausmenetelmän vaatimukset ovat käytännössä vaikeita täyttää ja asettavat tilaan sellaisia vaatimuksia, **ettei tämän suojausmenetelmän käyttöä suositella Suomessa.** /2/

## 7 KOSKETUSJÄNNITESUOJAUS UPS-VERKOISSA

### 7.1 Käytännössä havaittuja ongelmia

Käytännössä havaittuja UPS-verkkoihin liittyviä ongelmia kosketusjännitesuojauksen toteutumisissa ja – suunnittelussa ovat:

- UPSin teknisten tietojen puuttuminen suunnitteluvaiheessa on yleinen ongelma. Tämä ongelma tulee esiin varsinkin, jos UPS-laitteisto on vanha tai sitä ei ole vielä hankittu. UPSin käyttäytyminen oikosulkutilanteessa on hankala selvitettävä, mikäli laitteesta ei ole dokumentteja.
- UPS-laitteistot uusitaan useammin kuin sähköverkot, joita UPSit syöttävät. Vaihdon yhteydessä myös UPSin tekniset ominaisuudet vaihtuvat. Koska UPSin käyttäytyminen oikosulkutilanteessa on hyvin laitevalmistajakohtaista, voi UPSin vaihto aiheuttaa kosketusjännitesuojauksen toteutumattomuuden.
- Käyttöönottomittauksissa ei pystytä luotettavasti mittaamaan oikosulkuvirtaa UPSin syöttämästä verkosta. Syynä tähän on UPSin elektroniikka, joka häiritsee mittaria niin, ettei luotettavia tuloksia saada. Säädösten mukaisten laukaisuaikojen todentaminen on tehtävä laskemalla.
- Suojalaitteet eivät laukea säädösten mukaisissa ajoissa. Suunnittelussa tehdyt virheet johtavat usein liian pitkiin laukaisuaikoihin. Syitä pitkiin laukaisuaikoihin voivat olla suojalaitteen liian suuri nimellisvirta, johdonsuojakatkaisijan väärä laukaisukäyrätyyppi tai muu mitoitusvirhe.

- Suojauksen selektiivisyys aiheuttaa myös ongelmia. UPSin vaihtosuuntaajan sammuminen 100-300 ms oikosulun jälkeen aiheuttaa yhdessä pienen oikosulkuvirran kanssa ongelmia suojauksen selektiivisyydessä.

## 7.2 Kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen UPS-verkoissa

### 7.2.1 UPSin syöttämän verkon ominaisuuksien määrittäminen

UPSin syöttämän verkon ominaisuuksien määrittäminen aloitetaan selvittämällä UPS-laitteiston tekniset tiedot. Kosketusjännitesuojauksen kannalta oleellisia tietoja ovat:

- Jatkuvan oikosulkuvirran suuruus
- Antaako vaihtosuuntaaja oikosulkutilanteen alussa lyhyen, huomattavasti suuremman virtapiikin vai syöttääkö vakiosuuruista oikosulkuvirtaa
- Kuinka kauan vaihtosuuntaaja syöttää oikosulkuvirtaa ennen kuin sammuttaa itsensä automaattisesti

Mikäli UPSin teknisiä tietoja ei ole saatavissa, voidaan lähtötietoina käyttää seuraavia oletuksia:

- Jatkuva oikosulkuvirta on 1,5-2 x UPSin nimellisvirta
- Vaihtosuuntaaja syöttää vakiosuuruista oikosulkuvirtaa
- Vaihtosuuntaaja sammuttaa itsensä 200 ms oikosulun jälkeen

Oletukset perustuvat useiden laitevalmistajien UPS-laitteiden teknisten tietojen perusteella. Suuri osa UPS-laitteista käyttäytyy oikosulkutilanteessa siten, että käytettäessä edellä mainittuja oletuksia, virhe on tehty kosketusjännitesuojauksen kannalta turvalliseen suuntaan. Liitteiden 5 ja 6 laukaisukäyristä nähdään, että johdonsuojakatkaisijan magneettinen laukaisu tapahtuu alle 40 millisekunnissa. Johdonsuojakatkaisija on riittävän nopea katkaisemaan piirin ennen UPS-laitteen sammumista, kun se on mitoitettu laukeamaan magneettisella laukaisulla.

UPSin syöttämän verkon kaapelointia ei tarvitse yleensä kosketusjännitesuojauksen vuoksi tarvitse vahvistaa. UPS muuttuu oikosulkutilanteessa virtageneraattoriksi, joka pitää oikosulkuvirran ilmoitetussa arvossa lähtöjännitettä säätämällä. Oikosulkuvirta on näin ollen lähes riippumaton verkon impedanssista. Jos verkon impedanssi on niin suuri, että verkon ominaisoikosulkuvirta UPSin nimellisjännitteellä on pienempi kuin UPSin antama oikosulkuvirta, täytyy verkon kaapelointia vahvistaa. Tämä tilanne on erittäin harvinainen käytännön sovelluksissa.

Potentiaalintasausjärjestelmän kaapelointi toteutetaan normaalisti säädösten mukaan, huomioon ottaen valitun kosketusjännitesuojausmenetelmän mahdolliset erityistarpeet.

## 7.2.2 Kosketusjännitesuojausmenetelmän valinta

UPS-verkoissa käyttökelpoisimmat kosketusjännitesuojausmenetelmät ovat:

- syötön automaattinen nopea poiskytkentä
- vikavirran rajoittaminen
- paikallinen potentiaalintasaus.

Kun sopivaa menetelmää lähdetään hakemaan, on ensiksi tarkistettava onko kyseiselle kohteelle annettu määräyksissä tai muuten jotain erikoisvaatimuksia, jotka vaikuttavat kosketusjännitesuojausmenetelmän valintaan. Mikäli tilaan ei kohdistu erikoisvaatimuksia, tarkastellaan menetelmiä edellä luetellussa järjestyksessä. Näistä kolmesta syötön automaattinen nopea poiskytkentä on selvästi edullisin. Vikavirran rajoittaminen on tarvikkeiden osalta yleensä kalliimpi kuin paikallinen potentiaalintasaus, mutta työn osuus on vastaavasti pienempi.

### **Syötön automaattinen nopea poiskytkentä**

Syötön automaattinen nopea poiskytkentä soveltuu ratkaisuksi kohteisiin, joissa ei vaadita normaalin kosketusjännitesuojauksen lisäksi lisäsuojauksia. Nopea poiskytkentä soveltuu käytettäväksi kaiken suuruisissa verkoissa. Nopeaa poiskytkentää käytettäessä tulisi UPS-in syöttämän verkon ominaisuudet olla selvillä. Oikeiden suojalaitteiden valinta ja niiden tarkka mitoittaminen ovat erittäin tärkeitä. Kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen nopeaa poiskytkentää käyttämällä ei aina onnistu, varsinkaan pienitehoisilla UPS-laitteilla. Myös suojauksen saaminen selektiiviseksi on usein vaikeaa.

### **Vikavirran rajoittaminen vikavirtasuojakytkimellä**

Vikavirran rajoittaminen käyttäen vikavirtasuojakytkintä on hyvä ratkaisu, kun suojaus nopeaa poiskytkentää käyttäen ei onnistu tai kohteelle vaaditaan lisäsuojauksia. Vikavirtasuojakytkimen käyttö on suositeltavaa myös, kun ei tunneta tarkasti UPS-verkon ominaisuuksia. Vikavirtasuojakytkimen käyttö sopii kaiken kokoisille verkoille. Käytettäessä vikavirtasuojakytkintä, UPS-verkon pienet oikosulkuvirrat eivät ole kosketusjännitesuojauksen kannalta ongelmia.

Verkkoon liitettyjen laitteiden normaalit vuotovirrat tulee ottaa huomioon. Vuotovirtojen vuoksi yhden vikavirtasuojakytkimen perään ei kannata asentaa useita syötettäviä ryhmiä. Käytettäessä ryhmäkohtaisia vikavirtasuojakytkimiä ei vuotovirroista ole yleensä ongel-

maa. Taulukossa 1 on esitetty standardin SFS-EN 60335-1 (Kotitaloussähkölaitteiden ja vastaavien turvallisuus) mukaiset sähkölaitteille sallitut vuotovirrat jännitteisten osien ja rungon välillä.

**Taulukko 1. SFS-EN 60335-1 mukaiset sähkölaitteille sallitut vuotovirrat**

Suojausluokan 0 ja III laitteet	0,5 mA
Suojausluokan II laitteet	0,25 mA
Suojausluokan II siirrettävät laitteet	0,75 mA
Suojausluokan II kiinteät laitteet	3,5 mA
Suojausluokan II kiinteät laitteet, joissa lämpövastus	0,75 mA tai 0,75 mA/kW, max 5 mA

Suurkeittiöissä käytettäville laitteille IEC-60335-2-50 (Household and similar electrical appliances - safety) mukaan sallitaan taulukossa 2 esitetyt vuotovirrat. Suurkeittiölaitteiden liittäminen UPS-verkkoon on hyvin harvinaista.

**Taulukko 2. IEC-60335-2-50 mukaan sallitut suurkeittiöissä käytettävien sähkölaitteiden vuotovirrat**

Pistotulppaliitännäiset laitteet	2 mA/kW, max 10 mA
Muut suurkeittiössä käytetyt laitteet	2 mA/kW

Vikavirtasuojakytkimen perässä olevien laitteiden yhteen laskettu sallittu vuotovirta ei saa olla yli 30 % vikavirtasuojakytkimen nimellistointavirrasta. Tällä varmistetaan, ettei vikavirtasuojakytkin laukea kunnossa olevien laitteiden vuotovirroista. /1 s.203/

### **Paikallinen potentiaalintasaus**

Paikallista potentiaalintasausta voidaan käyttää kohteissa, joissa normaalin kosketusjännitesuojauksen lisäksi ei tarvita lisäsuojauksia. Paikallisen potentiaalintasauksen käyttö suurissa kohteissa ainoana kosketusjännitesuojausmenetelmänä ei ole suositeltavaa. Menetelmä on hidas ja kallis toteuttaa suurissa kohteissa. Yksittäisiin tiloihin, joissa kosketusjännitesuojaus ei toteudu nopealla poiskytkennällä, on paikallinen potentiaalintasaus vaihtoehto vikavirtasuojakytkimelle. Kohteissa, joissa vikavirtasuojakytkin voi aiheuttaa aiheettomia sähkökatkoja, paikallinen potentiaalintasaus on käyttökelpoisempi ratkaisu.

### **Muut mahdolliset menetelmät**

Kosketusjännitesuojaus voidaan toteuttaa UPS-verkoissa myös muilla menetelmillä. Näitä kuitenkin harvoin käytetään. Suojaerotuksen käyttö tulee vastaan, mikäli halutaan laboratoriotiloihin UPS-verkko. Käytettäessä suojaerotusmuuntajia UPS-verkossa tulee varmistaa, että UPS jaksaa käynnistää suojaerotusmuuntajat. Suojaerotusmuuntajat ottavat verkkoon kytkettäessä nimellistä suuremman käynnistysvirran, joka voi aiheuttaa UPSin ylikuormittumisen.

Järjestelmässä jossa UPS syöttää ainoastaan yhtä laitetta, voidaan kosketusjännitesuojauksen katsoa toteutuvaksi UPSin vaihtosuuntaajan automaattisella sammumisella oikosulkutilanteessa. Jotta kosketusjännitesuojauksen toteutuu, vaihtosuuntaajan on sammuttava oikosulkutilanteessa alle 0,4 sekunnissa.

### 7.2.3 Suojalaitteiden valinta

Suojalaitteiden valinta on ratkaiseva osa kosketusjännitesuojauksen toteutusta. Varmennettu verkko syöttää normaalisti kriittisiä kuormia, joiden sähköjakelu ei saa keskeytyä missään tilanteessa. Suojalaitteet on valittava siten, että mahdolliset lisäykset, suojalaitteiden vaihdot ja muut muutostyöt voidaan suorittaa katkaisematta jännitettä muista kuin työn alla olevasta lähdestä. Tämä on otettava huomioon myös keskukseen tulevien muiden komponenttien valinnassa.

#### **Syötön automaattinen nopea poiskytkentä**

Syötön automaattinen nopea poiskytkentä toteutetaan käyttämällä suojalaitteina sulakkeita tai johdonsuojakatkaisijoita. Käytettäessä tätä kosketusjännitesuojausmenetelmää, oikosulkuvirran suuruus on ratkaiseva suojauksen onnistumisen kannalta. Tästä syystä on UPSin ja sen syöttämän verkon ominaisuudet tunnettava tarkasti jo suunnitteluvaiheessa.

Sulakkeiden käyttö suojalaitteina ei ole suositeltavaa. Oikosulkuvirran ollessa pieni, sulake ei toimi yleensä riittävän nopeasti. Selektiivisyyden varmistaminen on sulakkeita käyttäen vaikeata. Mikäli suojalaitteena käytetään sulaketta, on varmistuttava, että piirin oikosulkuvirta saa sulakkeen toimimaan riittävän nopeasti. Taulukossa 3 on esitetty vaaditut oikosulkuvirran arvot standardin SFS-EN 60269-2 (Pienjännitevarokkeet) mukaisille gG-sulakkeille. Vaadittu mitattu arvo on 25 % suurempi, koska mittaustilanteessa johtimien lämpötila on alhaisempi kuin oikosulkutilanteessa. /D1 s67/ Käytettäessä taulukkoa 3 mitoitusperustana, sulakkeet toimivat riittävän nopeasti.



**Taulukko 3. Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot /1, s.68/**

Nimellis- virta A	gG-sulake 0,4 s A	Vaadittu mitattu arvo A	gG-sulake 5 s A	Vaadittu mitattu arvo A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35			165	206,3
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80	840	1050	425	531,3
100	1000	1250	580	725
125	1450	1812,5	715	893,8
160	1600	2000	950	1187,5
200	2100	2625	1250	1562,5

Johdonsuojakatkaisijoiden käyttö sulakkeiden sijaan on suositeltavaa. Oikein valituilla johdonsuojakatkaisijoilla, suojaus voidaan toteuttaa varmemmin ja saada helpommin selektiiviseksi. Johdonsuojakatkaisijoita valittaessa on kiinnitettävä huomioita sen nimellisvirtaan ja laukaisukäyrätyyppiin. UPS-verkoissa johdonsuojakatkaisija tulee mitoittaa siten, että piirin oikosulkuvirta aiheuttaa magneettisen pikalaukaisun. Liitteiden 5 ja 6 laukaisukäyristä voi huomata, että mikäli johdonsuojakatkaisijan toiminta tapahtuu termisesti, on laukaisuaika sekuntien luokkaa. Termisessä laukaisussa kosketusjännitesuojauksen 0,4 ja 0,2 sekunnin vaatimus ei toteudu. Taulukossa 4 on esitetty vaaditut oikosulkuvirtojen arvot standardin SFS-EN 60898 (Circuit breakers for overcurrent protection for household and similar installations) mukaisille johdonsuojakatkaisijoille.

**Taulukko 4. Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot /1, s.68/**

Nimellis- virta A	B-tyyppi 0,4 ja 5 s A	Vaadittu mitattu arvo	C-tyyppi 0,4 ja 5 s A	Vaadittu mitattu arvo
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5

B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan magneettinen pikalaukaisu toimii 3-5 x nimellisvirran suuruisella oikosulkuvirralla. Liitteessä 5 on esitetty B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä. Mitoituksessa käytettävä laukaisuraja B-tyypille on  $5xI_n$ . C-tyyppin johdonsuojakatkaisijalle mitoituksessa käytettävä laukaisuraja on  $10xI_n$ . Liitteessä 6 on esitetty C-tyyppin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä. D-tyypin ( $20xI_n$ ) tai sitä hitaampia johdonsuojakatkaisijoita ei tule käyttää UPS-verkoissa. B-tyypin johdonsuojakatkaisijoita on yleisesti saatavissa virta-alueelle 6-63 A ja C-tyyppiä välille 0,5-63 A. C-tyypin johdonsuojakatkaisijoita tulee käyttää pääsääntöisesti vain pienillä nimellisvirroilla, jolloin B-tyypin laitteita ei ole saatavissa. Muuten tulee käyttää laukaisukäyrätyypin B johdonsuojakatkaisijoita.

Jos UPSin syöttämässä verkossa on yksi keskus, UPS suojaa syöttökaapelin ja keskuksen termisesti eikä erillisiä suojalaitteita tarvita. Mikäli UPSin syöttämästä keskukselta on lähtö toiselle keskukselle, suojalaitteena on syytä käyttää katkaisijaa, jonka magneettinen laukaisu on aikaselektiivinen seuraavaan johdonsuojakatkaisijaan nähden. Näin suojauksesta saadaan selektiivinen.

### **Vikavirran rajoittaminen vikavirtasuojakytkimellä**

Käytettäessä vikavirtasuojakytkintä kosketusjännitesuojauksen toteuttamiseen, tulee piirin termiset suojalaitteet eli johdonsuojakatkaisijat tai sulakkeet valita samaan tapaan kuin syötön automaattisessa nopeassa poiskytkennässä.

Vikavirtasuojakytkimen tärkeimmät valintakriteerit ovat:

- Nimellisvirta  $I_n$
- Nimellinen laukaisurajavirta  $I_{\Delta n}$
- Toimintatyyppi (AC, A tai B)

Nimellisvirta  $I_n$  ilmoittaa vikavirtasuojakytkimen kuormitettavuuden. Vikavirtasuojakytkin ei ole ylivirtasuoja. Se ei katkaise piiriä, vaikka kuormitusvirta ylittää nimellisvirran. Nimellisvirta  $I_n$  on aina valittava isommaksi kuin piirin maksimi kuormitusvirta. Vikavirtasuojakytkimien nimellisvirran standardiarvot ovat 16, 25, 40, 63, 80, 100, 125 ja 163 A. /8/

Nimellisen laukaisurajavirran  $I_{\Delta n}$  standardiarvot ovat 10, 30, 100, 300 ja 500 mA. Kosketusjännitesuojaukseen käytetään enintään 500 mA:n vikavirtasuojakytkintä. Mitoituksessa käytetään normaalisti 30 mA:n vikavirtasuojakytkintä. Erikoistapauksissa, joissa vuotovirrat aiheuttavat turhia laukaisuja, voidaan käyttää laukaisurajavirraltaan suurempia vikavirtasuojakytkimiä. 10 mA:n vikavirtasuojakytkintä käytettäessä on otettava erityisesti huomioon sähkölaitteiden normaalit vuotovirrat. Vikavirtasuojakytkimen todellinen laukaisurajavirta on  $0,5-1xI_{\Delta n}$ . /8/

Vikavirtasuojakytkimiä on kolmea eri toimintatyyppiä. AC-tyypin vikavirtasuojakytkin toimii luotettavasti vikavirran ollessa vaihtovirtaa. A-tyypin vikavirtasuojakytkin toimii luotettavasti vikavirran ollessa joko vaihtovirtaa tai pulssimaista tasavirtaa. B-tyyppi toimii luotettavasti vikavirran ollessa vaihtovirtaa tai tasavirtaa. Kosketusjännitesuojaukseen suositellaan käytettäväksi A-tyypin vikavirtasuojakytkintä. Monissa pistotulppaliitännäisissä laitteissa on ohjauselektronikkaa, jonka aiheuttama vikavirta on sykkivää eli pulssimuotoista tasavirtaa. Tästä syystä Suomessa yleisesti käytettyä AC-tyyppiä ei suositella käytettäväksi. Näiden kolmen tyyppin lisäksi on vielä S-tyypin vikavirtasuojakytkin, jonka laukaisuaikaa on kasvatettu. S-tyypin vikavirtasuojakytkimiä käytetään selektiivisyyden saavuttamiseksi, jos asennuksessa on useampi vikavirtasuojakytkin peräkkäin. /8/

Markkinoilla on myös vikavirtajohdonsuojakatkaisijoita. Näissä on yhdistetty vikavirtasuojakytkin ja johdonsuojakatkaisija yhdeksi laitteeksi. Tällaisia laitteita on saatavana ainakin B- ja C-laukaisukäyrätyypeillä. Vikavirtasuojiksi on saatavana ainakin 30 ja 300 mA:n laukaisurajavirrat. Laitteita löytyy näiden arvojen kaikkina yhdistelminä. Tällaisten laitteiden käyttö on suositeltavaa ainakin keskuksissa, joissa on paljon vikavirtasuojattuja lähtöjä. /8/

### **Paikallinen potentiaalintasaus**

Käytettäessä kosketusjännitesuojausmenetelmänä paikallista potentiaalintasausta, piirin suojalaitteiden valinnat tehdään kuten käytettäessä suojausmenetelmänä syötön automaattista nopeaa poiskytkentää. Tässä menetelmässä ei käytetä kosketusjännitesuojauksen toteuttamiseen suojalaitteita, vaan kosketusjännitesuojaus toteutetaan lisäämällä potentiaalintausjohtimia.

Tässä kosketusjännitesuojausmenetelmässä kytketään tilan johtavat rakenteet potentiaalintausjohtimilla syöttökaapelin PE-johtimeen. Mikäli tilaan tulee useita eri syöttöjä, kytketään kaikkien syöttökaapelin PE-johtimet samaan potentiaaliin. Näin saadaan suojaus, jossa kosketusjännitteen arvo ei missään tilanteessa ylitä 50 V:n raja-arvoa. Potentiaalintaus voidaan tehdä joko jakorasiassa tai erillisessä potentiaalintauskiskossa. Potentiaalintausjohtimina voidaan käyttää 2,5-6 m<sup>2</sup> kelta-vihreätä kuparia.

## 8 KOSKETUSJÄNNITESUOJAUS VARAVOIMAVERKOISSA

### 8.1 Käytännössä havaittuja ongelmia

Käytännössä havaittuja varavoimaverkkoihin liittyviä ongelmia kosketusjännitesuojauksen toteutumisissa ja suunnittelussa ovat:

- varavoimalaitteistot uusitaan useammin kuin sähköverkot, joita ne syöttävät. Vaihdon yhteydessä myös varavoimalaitteiston tekniset ominaisuudet vaihtuvat.
- Suojalaitteet eivät laukea säädösten mukaisissa ajoissa. Suunnittelussa tehdyt virheet johtavat usein liian pitkiin laukaisuaikoihin. Syitä pitkiin laukaisuaikoihin voivat olla suojalaitteen liian suuri nimellisvirta, johdonsuojakatkaisijan väärä laukaisukäyrätyyppi tai muu mitoitusvirhe.
- Suojauksen selektiivisyys aiheuttaa myös ongelmia. Varavoimalaitteiston pieni oikosulkuvirta aiheuttaa ongelmia suojauksen selektiivisyydessä.

### 8.2 Kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen varavoimaverkoissa

#### 8.2.1 Varavoimakoneen syöttämän verkon ominaisuuksien määrittäminen

Tarkasteltaessa kosketusjännitesuojausta varavoimaverkoissa, aloitetaan tarkastelu selvittämällä varavoimalaitteiston tekniset ominaisuudet ja varavoimalaitteen syöttämän verkon sähkötekniiset ominaisuudet. Tärkeimmät selvitettävät asiat ovat:

- Varavoimalaitteiston syöttämä suurin oikosulkuvirta
- Varavoimalaitteiston syöttämän verkon kaapelien tyypit ja pituudet

Mikäli varavoimalaitteistosta ei ole saatavissa teknisiä dokumentteja, voidaan mitoituksessa käyttää oikosulkuvirtana  $2-2,5I_n$  suuruista virtaa. Tämä oletus voidaan tehdä, koska käytännössä jokainen varavoimageneraattori pystyy syöttämään tällaista virtaa vähintään viisi sekuntia.

Varavoimalaitteiston syöttämän verkon kaapelointia suunniteltaessa tulee kaapelien impedanssit ottaa huomioon. Koska oikosulkuvirta on pieni jo varavoimageneraattorilla, saattaa kaapelien impedansseista johtuva oikosulkuvirran alenema aiheuttaa ongelmia kosketusjännitesuojauksen toteutumisessa. Tästä syystä kannattaa kaapelit usein hieman ylilimitoida termisiin vaatimuksiin nähden. Ryhmäjohtotasolla kannattaa välttää  $1,5 \text{ m}^2$  kaapelien käyttöä. Kohteelle tulee aina tehdä oikosulkuvirtalaskelmat, jotta varmistetaan jo suunnitteluvaiheessa kaapeloinnin riittävä vahvuus.

Varavoimalaitteiston syöttämästä verkosta voidaan luotettavasti mitata oikosulkuvirta sähköasennustesterillä. Tämä helpottaa huomattavasti suojalaitteen valintaa jo olemassa olevaan verkkoon. Suunniteltaessa uutta järjestelmää on kaapelointi kuitenkin mitoitettava laskennallisesti. Verkon mitoituksessa voidaan käyttää kappaleessa 1.3 esitetyjä laskentamenetelmiä.

Potentiaalintasausjärjestelmän kaapelointi toteutetaan normaalisti säädösten mukaan, huomioon ottaen valitun kosketusjännitesuojausmenetelmän mahdolliset erityistarpeet.

## 8.2.2 Kosketusjännitesuojausmenetelmän valinta

Varavoimaverkoissa käyttökelpoisimmat kosketusjännitesuojausmenetelmät ovat:

- syötön automaattinen nopea poiskytkentä
- vikavirran rajoittaminen
- paikallinen potentiaalintasaus.

Kun sopivaa menetelmää lähdetään hakemaan, on ensiksi tarkistettava onko kyseiselle kohteelle annettu määräyksissä tai muuten jotain erikoisvaatimuksia, jotka vaikuttavat kosketusjännitesuojausmenetelmän valintaan. Mikäli tilaan ei kohdistu erikoisvaatimuksia, tarkastellaan menetelmiä edellä luetellussa järjestyksessä. Näistä kolmesta syötön automaattinen nopea poiskytkentä on selvästi halvin ja nopein. Vikavirran rajoittaminen on tarvikkeiden osalta yleensä kalliimpi kuin paikallinen potentiaalintasaus, mutta työn osuus on vastaavasti pienempi.

### **Syötön automaattinen nopea poiskytkentä**

Syötön automaattinen nopea poiskytkentä soveltuu ratkaisuksi kohteisiin, joissa ei vaadita normaalin kosketusjännitesuojauksen lisäksi lisäsuojauksia. Nopea poiskytkentä soveltuu käytettäväksi kaiken suuruisissa verkoissa. Nopeaa poiskytkentää käytettäessä tulisi varavoimalaitteiston syöttämän verkon ominaisuudet olla selvillä. Oikeiden suojalaitteiden valinta ja niiden tarkka mitoittaminen ovat erittäin tärkeitä. Kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen nopeaa poiskytkentää käyttämällä ei aina onnistu. Kaapelipituuksien kasvaessa oikosulkuvirrat pienenevät, jolloin syötön automaattinen nopea poiskytkentä ei toteudu 0,2 tai 0,4 sekunnissa.

### **Vikavirran rajoittaminen vikavirtasuojakytkimellä**

Vikavirran rajoittaminen käyttäen vikavirtasuojakytkintä on hyvä ratkaisu, kun suojaus nopeaa poiskytkentää käyttäen ei onnistu tai kohteelle vaaditaan lisäsuojauksia. Vikavirtasuojakytkimen käyttö on suositeltavaa myös, kun ei tunneta tarkasti varavoimaverkon

ominaisuuksia. Vikavirtasuojakytkimen käyttö sopii kaiken kokoisille verkoille. Käytettäessä vikavirtasuojakytkintä, varavoimaverkon pienet oikosulkuvirrat eivät ole kosketusjännitesuojauksen kannalta ongelmia.

Verkkoon liitettyjen laitteiden normaalit vuotovirrat tulee ottaa huomioon. Vuotovirtojen vuoksi yhden vikavirtasuojakytkimen perään ei kannata asentaa useita syötettäviä ryhmiä. Käytettäessä ryhmäkohtaisia vikavirtasuojakytkimiä ei vuotovirroista ole yleensä ongelmaa. Taulukossa 1 sivulla 23 on esitetty standardin SFS-EN 60335-1 (Kotitaloussähkölaitteiden ja vastaavien turvallisuus) mukaiset sähkölaitteille sallitut vuotovirrat jännitteisten osien ja rungon välillä. Suurkeittioissa käytettäville laitteille IEC-60335-2-50 (Household and similar electrical appliances - safety) mukaan sallitaan taulukossa 2 sivulla 23 esitetyt vuotovirrat.

Vikavirtasuojakytkimen perässä olevien laitteiden yhteen laskettu vuotovirta ei saa olla yli 30 % vikavirtasuojakytkimen nimellistoimintavirrasta. Tällä varmistetaan, ettei vikavirtasuojakytkin laukea kunnossa olevien laitteiden vuotovirroista. /1 s.203/

### **Paikallinen potentiaalintasaus**

Paikallista potentiaalintasausta voidaan käyttää kohteissa, joissa normaalin kosketusjännitesuojauksen lisäksi ei tarvita lisäsuojausta. Paikallisen potentiaalintasaamisen käyttö suurissa kohteissa ainoana kosketusjännitesuojausmenetelmänä ei ole suositeltavaa. Menetelmä on hidas ja kallis toteuttaa suurissa kohteissa. Yksittäisiin tiloihin, joissa kosketusjännitesuojaus ei toteudu nopealla poiskytkennällä, on paikallinen potentiaalintasaus vaihtoehto vikavirtasuojakytkimelle. Kohteissa joissa vikavirtasuojakytkin voi aiheuttaa aiheettomia sähkökatkoja, paikallinen potentiaalintasaus on käyttökelpoisempi ratkaisu.

### **Muut mahdolliset menetelmät**

Kosketusjännitesuojaus voidaan toteuttaa varavoimaverkoissa myös muilla menetelmillä. Näitä kuitenkin harvoin käytetään. Suojaerotuksen käyttö tulee vastaan, mikäli halutaan laboratoriotiloihin varavoimaverkko tai käytetään pieniä varavoimalaitteita. Käytettäessä suojaerotusmuuntajia varavoimaverkossa tulee varmistaa, että varavoimalaitteisto jaksaa käynnistää suojaerotusmuuntajat. Suojaerotusmuuntajat ottavat verkkoon kytkettäessä nimellistä suuremman käynnistysvirran, joka voi aiheuttaa varavoimalaitteiston ylikuormittumisen. Käytettäessä pieniä varavoimalaitteita on mahdollista käyttää suojaerotusvaatimukset täyttävää varavoimageneraattoria, jolloin sen syöttämä verkko on kokonaan suojaerottettu.

### 8.2.3 Suojalaitteiden valinta

Suojalaitteiden valinta on ratkaiseva osa kosketusjännitesuojauksen toteutusta. Varmennettu verkko syöttää normaalisti kriittisiä kuormia, joiden sähkönjakelu ei saa keskeytyä missään tilanteessa. Suojalaitteet on valittava siten, että mahdolliset lisäykset, suojalaitteiden vaihdot ja muut muutostyöt voidaan suorittaa katkaisematta jännitettä muista kuin työn alla olevasta lähdöstä. Tämä on otettava huomioon myös keskukseen tulevien muiden komponenttien valinnassa.

#### **Syötön automaattinen nopea poiskytkentä**

Syötön automaattinen nopea poiskytkentä toteutetaan käyttämällä suojalaitteina sulakkeita tai johdonsuojakatkaisijoita. Käytettäessä tätä kosketusjännitesuojausmenetelmää, oikosulkuvirran suuruus on ratkaiseva suojauksen onnistumisen kannalta. Tästä syystä on varavoimalaitteiston syöttämän verkon ominaisuudet tunnettava tarkasti jo suunnitteluvaiheessa.

Sulakkeiden käyttö suojalaitteina ei ole suositeltavaa, jos suurin sallittu poiskytkentäaika on 0,2 tai 0,4 sekuntia. Sellaiselle verkon osalle, jossa poiskytkentäaika viisi sekuntia, voidaan käyttää suojalaitteena sulaketta. Oikosulkuvirran ollessa pieni, sulake ei toimi yleensä riittävän nopeasti, jotta se täyttäisi 0,2 tai 0,4 sekunnin vaatimuksen. Selektiivisyyden varmistaminen sulakkeita käyttäen on vaikeata. Mikäli suojalaitteena käytetään sulaketta, on varmistettava, että piirin oikosulkuvirta saa sulakkeen toimimaan riittävän nopeasti. Sivulla 24 olevassa taulukossa 3 on esitetty vaaditut oikosulkuvirran arvot standardin SFS-EN 60269-2 (Kotitaloussähkölaitteiden ja vastaavien turvallisuus) mukaisille gG-sulakkeille. Vaadittu mitattu arvo on 25 % suurempi, koska mittausilanteessa johtimien lämpötila on alhaisempi kuin oikosulkutilanteessa./D1 s67/ Käytettäessä taulukkoa 3 mitoitusperustana, sulakkeet toimivat riittävän nopeasti.

Johdonsuojakatkaisijoiden käyttö sulakkeiden sijaan on suositeltavaa. Oikein valituilla johdonsuojakatkaisijoilla, suojaus voidaan toteuttaa varmemmin ja saada helpommin selektiiviseksi. Johdonsuojakatkaisijoita valittaessa on kiinnitettävä huomioita sen nimellisvirtaan ja laukaisukäyrätyyppiin. Varavoimaverkoissa johdonsuojakatkaisija tulee mitoittaa siten, että piirin oikosulkuvirta aiheuttaa magneettisen pikalaukaisun. Liitteiden 5 ja 6 laukaisukäyrästä voi huomata, että mikäli johdonsuojakatkaisijan toiminta tapahtuu termisesti, on laukaisuaika sekuntien luokkaa. Termisessä laukaisussa kosketusjännitesuojauksen 0,4 ja 0,2 sekunnin vaatimus ei toteudu. Sivulla 25 olevassa taulukossa 4 on esitetty vaaditut oikosulkuvirtojen arvot standardin SFS-EN 60898 (Circuit breakers for overcurrent protection for household and similar installations) mukaisille johdonsuojakatkaisijoille.

B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan magneettinen pikalaukaisu toimii 3-5 x nimellisvirran suuruisella oikosulkuvirralla. Liitteessä 5 on esitetty B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä. Mitoituksessa käytettävä laukaisuraja B-tyypille on  $5xI_n$ . C-tyyppin johdonsuojakatkaisijalle mitoituksessa käytettävä laukaisuraja on  $10xI_n$ . Liitteessä 6 on esitetty C-tyyppin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä. D-tyypin( $20xI_n$ ) tai sitä hitaampia johdonsuojakatkaisijoita ei tule käyttää varavoimaverkoissa. B-tyypin johdonsuojakatkaisijoita on yleisesti saatavissa virta-alueelle 6-63 A ja C-tyyppiä välille 0,5-63 A. C-tyypin johdonsuojakatkaisijoita tulee käyttää pääsääntöisesti vain pienillä nimellisvirroilla, jolloin B-tyypin laitteita ei ole saatavissa. Muuten tulee käyttää laukaisukäyrätyypin B johdonsuojakatkaisijoita.

Varavoimalaitteen lähdöissä voidaan käyttää suojalaitteina sulakkeita, jos lähdössä oleva keskus täyttää viiden sekunnin poiskytkentäajan vaatimukset. Mikäli vaaditaan 0,2 tai 0,4 sekunnin poiskytkentäaikaa, on syytä käyttää suojalaitteena katkaisijaa. Katkaisijan magneettisen laukaisun tulee olla aikaselektiivinen seuraavaan suojalaitteeseen nähden. Näin varmistetaan suojauksen selektiivisyys.

### **Vikavirran rajoittaminen vikavirtasuojakytkimellä**

Käytettäessä vikavirtasuojakytkintä kosketusjännitesuojauksen toteuttamiseen, tulee piirin termiset suojalaitteet eli johdonsuojakatkaisijat tai sulakkeet valita samaan tapaan kuin syötön automaattisessa nopeassa poiskytkennässä.

Vikavirtasuojakytkimen tärkeimmät valintakriteerit ovat:

- Nimellisvirta  $I_n$
- Nimellinen laukaisurajavirta  $I_{\Delta n}$
- Toimintatyyppi (AC, A tai B)

Nimellisvirta  $I_n$  ilmoittaa vikavirtasuojakytkimen kuormitettavuuden. Vikavirtasuojakytkin ei ole ylivirtasuoja. Se ei katkaise piiriä, vaikka kuormitusvirta ylittää nimellisvirran. Nimellisvirta  $I_n$  on aina valittava isommaksi kuin piirin maksimi kuormitusvirta. Vikavirtasuojakytkimien nimellisvirran standardiarvot ovat 16, 25,40, 63, 80, 100, 125 ja 163 A. /8/

Nimellisen laukaisurajavirran  $I_{\Delta n}$  standardiarvot ovat 10, 30, 100, 300 ja 500 mA. Kosketusjännitesuojaukseen käytetään enintään 500 mA:n vikavirtasuojakytkintä. Mitoituksessa käytetään normaalisti 30 mA:n vikavirtasuojakytkintä. Erikoistapauksissa, joissa vuotovirrat aiheuttavat turhia laukaisuja, voidaan käyttää laukaisurajavirraltaan suurempia vikavirtasuojakytkimiä. 10 mA:n vikavirtasuojakytkintä käytettäessä on otettava erityisesti huomioon sähkölaitteiden normaalit vuotovirrat. Vikavirtasuojakytkimen todellinen laukaisurajavirta on  $0,5-1xI_{\Delta n}$ . /8/



Vikavirtasuojakytkimiä on kolmea eri toimintatyyppiä. AC-tyypin vikavirtasuojakytkin toimii luotettavasti vikavirran ollessa vaihtovirtaa. A-tyypin vikavirtasuojakytkin toimii luotettavasti vikavirran ollessa joko vaihtovirtaa tai pulssimaista tasavirtaa. B-tyyppi toimii luotettavasti vikavirran ollessa vaihtovirtaa tai tasavirtaa. Kosketusjännitesuojaukseen suositellaan käytettäväksi A-tyypin vikavirtasuojakytkintä. Monissa pistotulppaliitännäisissä laitteissa on ohjauselektronikkaa, jonka aiheuttama vikavirta on sykkivää eli pulssimuotoista tasavirtaa. Tästä syystä Suomessa yleisesti käytettyä AC-tyyppiä ei suositella käytettäväksi. Näiden kolmen tyyppin lisäksi on vielä S-tyypin vikavirtasuojakytkin, jonka laukaisuaikaa on kasvatettu. S-tyypin vikavirtasuojakytkimiä käytetään selektiivisyyden saavuttamiseksi, jos asennuksessa on useampi vikavirtasuojakytkin peräkkäin. /8/

Markkinoilla on myös vikavirtajohdonsuojakatkaisijoita. Näissä on yhdistetty vikavirtasuojakytkin ja johdonsuojakatkaisija yhdeksi laitteeksi. Tällaisia laitteita on saatavana ainakin B- ja C-laukaisukäyrätyypeillä. Vikavirtasuojiksi on saatavana ainakin 30 ja 300 mA:n laukaisurajavirrat. Laitteita löytyy näiden arvojen kaikkina yhdistelminä. Tällaisten laitteiden käyttö on suositeltavaa ainakin keskuksissa, joissa on paljon vikavirtasuojattuja lähtöjä. /8/

### **Paikallinen potentiaalintasaus**

Käytettäessä kosketusjännitesuojausmenetelmänä paikallista potentiaalintasausta, piirin suojalaitteiden valinnat tehdään kuten käytettäessä suojausmenetelmänä syötön automaattista nopeaa poiskytkentää. Tässä menetelmässä ei käytetä kosketusjännitesuojauksen toteuttamiseen suojalaitteita, vaan kosketusjännitesuojaus toteutetaan lisäämällä maadoitusjohtimia.

Tässä kosketusjännitesuojausmenetelmässä kytketään tilan johtavat rakenteet potentiaalintausjohtimilla syöttökaapelin PE-johtimeen. Mikäli tilaan tulee useita eri syöttöjä, kytketään kaikkien syöttökaapelin PE-johtimet samaan potentiaaliin. Näin saadaan suojaus, jossa kosketusjännitteen arvo ei missään tilanteessa ylitä 50 V:n raja-arvoa. Potentiaalintaus voidaan tehdä joko jakorasiassa tai erillisessä potentiaalintauskiskossa. Potentiaalintausjohtimina voidaan käyttää 2,5-6 m<sup>2</sup> kelta-vihreätä kuparia.

## 9 LOPPUPÄÄTELMÄT

Kosketusjännitesuojauksen toteuttaminen UPS- ja varavoimaverkoissa ei aiheuta suuria ongelmia, mikäli suunnittelun lähtötiedot ovat saatavilla ja käytetään tilanteeseen sopivaa suojausmenetelmää. Käytännössä suunnitteluvaiheessa lähtötiedot ovat kuitenkin usein puutteelliset tai niitä ei ole. Tällöin on kiinnitettävä erityistä huomiota kosketusjännitesuojausmenetelmän ja käytettävien suojalaitteiden valintaan. Nämä valinnat on tehtävä aina kohdekohtaisesti, kohteen erityispiirteet huomioon ottaen. Oikeilla valinnoilla voidaan kosketusjännitesuojaus toteutettua lähes minkälaisissa olosuhteissa hyvänsä.

Kosketusjännitesuojauksen ylivoittamisesta saattaa kuitenkin aiheutua ylimääräisiä kustannuksia tilaajalle. Paras mahdollinen tilanne olisi, jos jo esisuunnitteluvaiheessa pystyttäisiin määrittelemään käytettävät UPS- tai varavoimalaitteet. Tällöin välttyttäisiin turhalta ylivoittamiselta ja saataisiin toteutettua kosketusjännitesuojaus mahdollisimman kustannustehokkaasti. Hankintamenettelyt ovat kuitenkin käytännössä hyvin projektikohtaisia, joten ohjetta UPS- tai varavoimalaitteiden hankintamenettelylle on vaikea antaa. Voidaan kuitenkin sanoa, että mitä aikaisemmassa vaiheessa projektia saadaan käytettävät UPS- tai varavoimalaitteet määritettyä, sitä enemmän suunnittelijalla on mahdollisuuksia tehdä kosketusjännitesuojauksesta kustannustehokas.

Käytäntö on osoittanut, että laitehankinnat tehdään yleensä hyvin myöhäisessä vaiheessa projektia, jopa toteutussuunnittelun loppupuolella. Tällöin kosketusjännitesuojauksen mitoitus tulee tehdä siten, että suojaus varmasti toimii. Suojauksen lievä ylivoittaminen on tässä tilanteessa järkevää. Mitoitusperusteina voidaan käyttää tässä työssä esitettyjä oletuksia, joita käytettäessä kosketusjännitesuojaus lievästi ylivoitetaan.

## LÄHTEET

- 1 D1/2002 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähköturvallisuuden edistämiskeskus ry – Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto. Espoo, 2002
- 2 SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2001.
- 3 Tummavuori Juha, Powerware UPS-käsikirja
- 4 [www-sivu]. [Viitattu 22.3.2005] Saatavissa:  
<http://www.tp.spt.fi/~salabra/er/siirto/poiskytkenta.doc>
- 5 Sähköinfo Oy, ST-kortisto, ST 52.40 Pienjännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon, Laadittu 1997-09-15
- 6 Sähkö- ja elektroniikka-alan standardisointijärjestö. [www-sivu]. [Viitattu 26.3.2005] Saatavissa: [www.sesko.fi](http://www.sesko.fi)
- 7 ABB, Esite STOTZ 3 FI 00-06, Pienjännitekojeet - johdonsuojakatkaisijat
- 8 Sähköinfo Oy, ST-kortisto, ST 53.12 Vikavirtasuojakytkimet, Laadittu 2003-06-15, Esa Tiainen
- 9 A1/93 Sähköturvallisuusmääräykset, Sähkötarkastuskeskus, Helsinki 1993
- 10 A2/94 Rakennusten sähköasennukset, Sähkötarkastuskeskus, Helsinki 1994
- 11 GE Digital Energy, UPS systems for power quality solutions, Technical note no.6, Short circuit capability and selectivity, september 2002 Switzerland
- 12 [www-sivu]. [Viitattu 13.3.2005] Saatavissa:  
<http://www.ee.tut.fi/fys/labra/turvaohj/turvaohj.html>

## LIITTEET

Liite 1. Kosketusjännitteen esiintyminen, periaatekuva; Oikosulku laitteessa, ei lisäpotentiaalintasausta.

Liite 2. Kosketusjännitteen esiintyminen, periaatekuva; Oikosulku JK:n kiskostossa, ei lisäpotentiaalintasausta.

Liite 3. Kosketusjännitteen esiintyminen, periaatekuva; Oikosulku laitteessa, käytetty paikallista lisäpotentiaalintasausta.

Liite 4. Kosketusjännitteen esiintyminen, periaatekuva; Oikosulku JK:n kiskostossa, käytetty paikallista lisäpotentiaalintasausta.

Liite 5. B-typin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä. /8, s.17/

Liite 6. C-typin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä. /8, s.17/



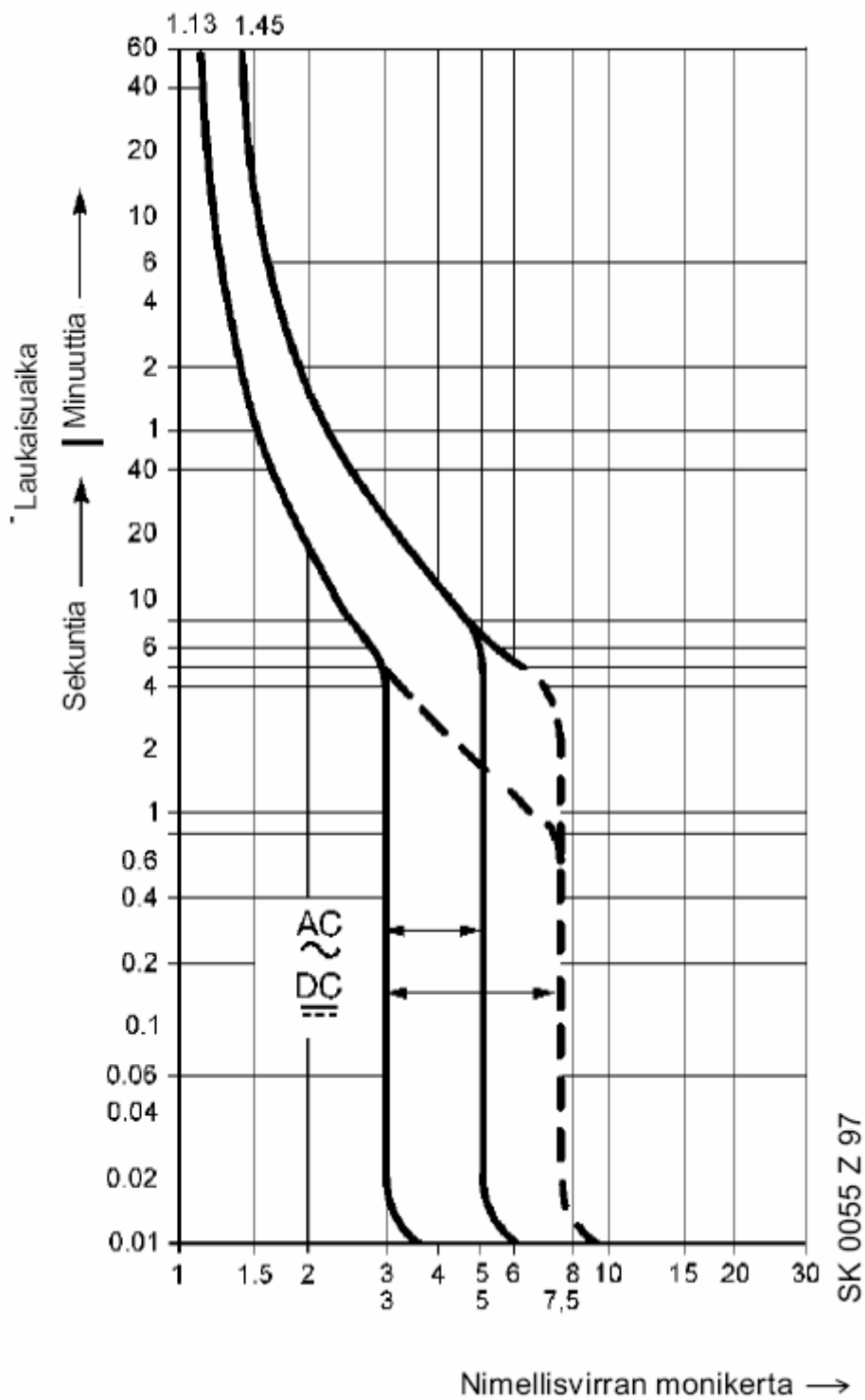








Liite 5. B-tyyppin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä. /8, s.17/



Liite 6. C-tyypin johdonsuojakatkaisijan laukaisukäyrä. /8, s.17/

