

Tekniikka ja ympäristö -osasto

Säädösperusta: Sähköturvallisuuslaki 410/1996 5§

Voimassa 1.1.2017 alkaen

Asiasanat:

Turvallitteet, virransyöttö, UPS, sähköturvallisuus, SFS6000

## Turvallitteiden sähkönsyötöt ja UPS-laitteiden mitoitus

Turvallitteiden virransyötön asennuksista on laadittu tämä Liikenneviraston ohje, jonka tarkoitus on selventää turvallitteissa käytettävien UPS-laitteistojen mitoitusta ja valintaa. Ohjeessa on myös perusratkaisujen mallisuunnitelmia.

Ylijohtaja

Mirja Noukka

Tekninen johtaja

Markku Nummelin

*Ohje hyväksytään sähköisellä allekirjoituksella.*

*Merkintä sähköisestä allekirjoituksesta on viimeisellä sivulla.*

### LISÄTIETOJA

Markku Granlund

Liikennevirasto

puh. 029 534 3875

# Sisällysluettelo

1	YLEISTÄ.....	3
2	SÄHKÖLIITTYMÄN SUUNNITTELU.....	3
3	UPS-LAITTEIDEN SUUNNITTELU JA MITOITUS .....	3
3.1	Yleistä .....	3
3.2	UPS järjestelmältä vaadittava nimellisteho.....	4
3.3	UPSin kuorman näennäis-, päto- ja loisteho .....	5
3.4	Ik oikosulkuvirta.....	5
3.5	I <sup>2</sup> t-arvot .....	6
3.6	UPS-järjestelmän syöttävän verkon puolen sulakkeiden mitoitus.....	10
3.7	Kaapelin oikosulkusuojauksen tarkastus k <sup>2</sup> *S <sup>2</sup> .....	10
3.8	Jännitteen alenema .....	12
3.9	Staattinen vaihtosuuntaaja.....	12
3.10	Akuston mitoittaminen .....	13
3.11	Akustovaraajan mitoittaminen.....	13
3.12	UPSin akuston sulakkeet ja akustokytkin/(-met) .....	13
3.13	UPSiin liitettävien laitteiden käynnistysvirta .....	14
3.14	Maasulun valvonta.....	14
4	LYHYT YHTEENVETO UPSin JÄLKEISEN VERKON MITOITTAMISESTA.....	17
5	POIKKEAMINEN MITOITUSOHJEISTA .....	17

## 1 Yleistä

Ohjetta sovelletaan turvalaitetilojen sähköliittymien ja UPS-laitteiden suunnitteluun ja mitoitukseen.

## 2 Sähköliittymän suunnittelu

Laitetilojen sijoittamisesta rataosalle on huomioitava laitetilojen sähköliittymien taloudellinen toteutettavuus.

Laitetilat tulisi sijoittaa sellaisiin kohtiin, jossa sähköä on helposti saatavilla. Tällöin sijaintipaikkoja valittaessa olisi ensin selvitettävä paikallisilta sähköjakeluverkkoyhtiöiltä pisteet, missä niillä on valmiina sähköjakeluverkostoa radan lähellä, ja pyrkiä sijoittamaan laitetilat tällaisiin kohtiin.

Sähköjakeluverkkoyhtiö tarvitsee liittymispaikan alustavaa selvitystä varten lähtötiedoiksi laitetalan sähkötehon, liittymän suuruuden sekä rajatun alueen, minne liittymä haluttaisiin.

Em. tietojen perusteella sähköjakeluverkkoyhtiö pystyy verkostolaskentaa hyväksi käyttäen laskemaan sähköliittymän verkostolleen aiheuttamat kuormitukset ja tarkastamaan aiheuttaako se mahdollista jakeluverkkoyhtiön sähköverkoston vahvistamistarvetta, vai voidaanko liittymä sijoittaa pyydettyyn paikkaan ilman erikoistoimia.

Sähköverkoston vahvistamis- tai uuden muuntamon rakentamiskustannukset veloitetaan aina ja yleensä kokonaan liittymän tarvitsijalta.

Laitetilan sijoituspaikkaa määrättäessä kannattaa tutkia useita eri sijoitusvaihtoehtoja, jotka soveltuisivat käytettyyn turvalaiteratkaisuun sähköliittymän hinta yhtenä vertailutekijänä. Niistä vaihtoehtoista valitaan optimoimalla kokonaistaloudellisesti halvin ratkaisu.

## 3 UPS-laitteiden suunnittelu ja mitoitus

### 3.1 Yleistä

Laitetilojen sähköliittymät varustetaan erotusmuuntajilla. Asiaa on ohjeistettu Liikenneviraston ohjeessa Bg.

Poikkeuksena ovat suuret asetinlaitetilat asema-alueilla tai niiden läheisyydessä. Ne on yleensä suoraan liitetty suurjännitejakeluverkkostoon, tai ne muuten sijaitsevat alueilla, joilla on paljon kiskoja ja niiden poikittaisyhdistyksiä, minkä vuoksi kiskopotentialit ovat pieniä. Jos erotusmuuntajaa ei asenneta, on tehtävä kiskopotentialimittaus, jolla potentiaalimittaus on riittävä pienuus todennetaan.

Erotusmuuntajilla estetään radan junakaluston kiskopotentialin ja vikatapauksessa vian aiheuttaman kiskopotentialin siirtyminen yleisen sähköjakeluverkkoston puolelle.

UPS-sähkönjakelussa pyritään siihen, että UPS-laitteen ja kuorman välissä on mahdollisimman vähän suojalaitteita (katkaisijoita/sulakkeita/ johdonsuoja-automaatteja). Erityinen huomio on kiinnitettävä selektiivisyyteen ja oikosulkuvirtaan.

Erotusmuuntaja pienentää sähkönjakeluverkoston oikosulkuvirtaa, joten UPS laitteiden staattisen ohituskytkimen käyttämistä oikosulkusuojauskoordinaation parantamiseksi ei yleensä voi käyttää. Jos sitä käytetään, suojaus pitää laskelmin osoittaa toimivaksi.

UPS-laitteen syöttämien lähtöjen liittäminen oman suojalaitteen suojaamiksi on paras ratkaisu verrattuna ketjutettuihin lähtöihin.

Säteittäin syötetty sähkönjakeluverkko mahdollistaa verkoston suojauksen rakentamisen selektiiviseksi. Se todennäköisesti mahdollistaa jopa pienempi tehoisemman UPS-laitteiston valinnan, koska pienempi suoja tarvitsee pienemmän oikosulkuvirran toimiakseen. Säteittäisyys helpottaa vikatapauksessa vian paikallistamista. Lisäksi ratkaisun etuna on, että pienempi osa koko järjestelmästä jää vikatapauksessa ilman sähköä.

### 3.2 UPS järjestelmältä vaadittava nimellisteho

Yksittäisen UPS-laitteen nimellisteho määritellään siten, että arvioitu lopullinen kuorma (mahdollinen tilaajan tulevaisuuden laajennus huomioituna, laajennusvara on huomioitava myös liittymää mitoitettaessa ja hankittaessa) on maksimissaan 45 % UPS-laitteen nimellinäennäistehosta  $S_{UPS}$ .

$S_{UPS_{max}} = S_{UPS} * 45 \%$ , missä

$S_{UPS_{max}}$  = UPS-järjestelmän yhtäaikainen maksimiteho

$S_{UPS}$  = UPS-laitteen nimellisteho

Turvalaitejärjestelmien sähkönsyötön tärkeyden ja käytettävyyden vuoksi UPS-järjestelmät tulisi rakentaa redundanttiseksi ja helpomman huollettavuuden vuoksi modulaariseksi.

Yleensä redundanttisissa UPS-järjestelmissä (N+1), moduuleita voidaan kuormittaa 90 % nimellinäennäistehosta. Moduuleita tulee olla vähintään kaksi, ja moduulikehikossa pitää olla tila kolmannelle moduulille. Sen jälkeen lisätään redundanttisia moduuleita tarvittavan oikosulkuvirran vaatiman määrä. Lopullinen moduulikehikon koko valitaan tarvittavan moduulimäärän mukaan.

#### Esimerkki UPSin mitoitustavasta

Kuormituksen perusteella on päädytty mahdollinen tulevaisuuden laitetilän laajennus huomioituna, että tarvittava UPSin koko olisi 40 kVA. Lisäksi laitteistolta halutaan suuri toimintavarmuus kaikissa tilanteissa.

Tällöin laite koostuisi kahdesta 20 kVA moduulista sekä yhdestä 20 kVA moduulista, joka varmistaa toiminnan häiriöttömän jatkumisen yhden moduulin vikatilanteessa.

Jos oikosulkuvirran antokykyä joudutaan kasvattamaan, sitä varten tarvitaan yksi ylimääräinen moduuli. Tällöin laite koostuisi kolmesta 20 kVA moduulista sekä yhdestä 20 kVA moduulista, joka hoitaa tilanteen, jos yksi moduuli vioittuu. UPS-kokonaisuus koostuisi silloin neljästä

20 kVA moduulista, ja kehikko voisi olla viiden moduulin kehikko. Tällöin aina pystytään syöttämään kaikille kuormille niiden täysi teho. Järjestelmä sallii yhden moduulin vioittumisen, ja siitä huolimatta suojaukset toimivat oikein ja oikeanaikaisesti.

UPSin on kyettävä syöttämään koko turvalaitteistoa ilman, että ylikuormitustilanteessa osa kuormasta kytketään irti.

### 3.3 UPSin kuorman näennäis-, pätö- ja loisteho

Näennäisteho  $S$  on tehollisen jännitteen  $U$  ja virran  $I$  tulo.

Järjestelmään on valittava sellainen UPS, joka pystyy syöttämään kuormituksen pätö- ja loistehon.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = P / \cos \varphi,$$

$$S = Q / \sin \varphi$$

UPSiksi on valittava laite, jonka näennäis- sekä pätötehon syöttökyvyt ylittävät kuormituksen arvot.

### 3.4 Ik oikosulkuvirta

Jotta järjestelmän suojalaitteiden (katkaisijat, sulakkeet ja johdonsuoja-automaatit) toiminta vikatilanteissa ei vaaranna UPS-laitteiston syöttämien muiden kuormien toimintaa, on suojien toiminta pyrittävä saamaan mahdollisimman nopeaksi. Suositus on toiminta 20 ms (yhden verkkojakson) aikana (UPS-standardi IEC 62040-3, kohta 5.3.4 Dynamic output performance classification 3).

UPS-standardin mukaan muuten ei voida taata sitä, että vikatapauksessa järjestelmä pystyisi syöttämään sähköä. UPS pystyy syöttämään vain rajoitetun ajan tietynsuuruista oikosulkuvirtaa (tähän vaikuttaa UPSin tehoelektronikan mitoitus).

Virta on määräävä tekijä suojauksen toiminnan nopeudessa. Virtaan vaikuttaa UPS-laitteen komponenttien mitoitus. UPSin ja sen jälkeisten suojalaitteiden ja niiden koon oikea valinta on erittäin tärkeää.

Jos järjestelmää ei suunnitella suojaustasoltaan selektiiviseksi, UPSista ei ole laitevikatilanteessa sitä hyötyä, mitä sen asentamisella on ajateltu saatavan. Tällöin on aivan sama, jos UPSia ei olisikaan, koska laitevikatilanteessa koko UPS-syöttö laukeaa.

Yleensä UPSin oikosulkuvirran suhde nimellisvirtaan vaihtelee UPS-laitemallista ja valmistajasta riippuen 1–3.

Modulaarisilla UPSeilla **oikosulkuvirtaa voidaan tarvittaessa kasvattaa lisäämällä moduuleita**. Niiden lisääminen ei vaikuta akustojen mitoitukseen. Sähköliittymän mitoituksessa lisämoduulin latauslaitteen teho on kuitenkin huomioitava.

Laskelmissa käytetään UPSin oikosulkuvirran  $I_{kinv}$  (A) 20 ms arvoa. Tarkka arvo saadaan UPS-valmistajalta.

Näistä mitoitusäännöistä voidaan poiketa, mikäli UPS-järjestelmän syöttämä oikosulkuvirta-arvo riittää tekemään UPS-verkosta selektiivisen kaikissa vikatilanteissa. Vaadittavan oikosulkuvirran (UPS-laitteelta vaadittavan vikatilanteen virran) mitoituksessa on huomioitava UPS-laitteen kuormien laatu (vakioehto/ resistiivinen) sekä kaapelointien impedanssit ja niistä johtuvat jännitehäviöt. Linjaimpedanssin on oltava riittävän pieni, jotta oikosulkutapauksessa UPS-laitteelta syötettävä oikosulkuvirta riittää laukaisemaan suojat. Suositeltava mitoitus on, että UPS-laitteen napajännite tippuu alle 40V tasolle missä tahansa lähtökaapeloinnissa tapahtuvassa oikosulussa. Jos napajännitteessä on käytettävä isompaa arvoa, on UPS-mitoituksessa otettava huomioon myös kokonaiskuorma.

### 3.5 I<sup>2</sup>t-arvot

Suojauksen toimivuus on tarkastettava jo suunnitteluvaiheessa suojalaittevalmistajien I<sup>2</sup>t-käyrästä niin, että ne toimivat valitun UPSin I<sup>2</sup>t-arvojen rajoissa UPSin kannalta pahimmassa tilanteessa, eli akuston kautta syötetyllä virralla ilman UPSin staattista verkko-ohitusta.

Järjestelmän ja suojauksen toimivuudesta on tarkastettava myös staattisen kytkimen riittävän suuri oikosulkuvirran antokyky ja -aika.

Alla on suuntaa-antava, suojauksessa käytettävä suojalaitteen koon määrittelytaulukko, jota voidaan käyttää vain alustavissa suojaustarkasteluissa.

Suojan nimellisvirta-arvo ei saa ylittää seuraavia UPSin näennäistehosta ja jännitteestä laskettuja virta-arvoja.

Johdonsuoja

B	45 %
C	25 %
D	11 %
K	18 %
Z	75 %

### Esimerkki suojalaitteen valitsemisesta

UPSin nimellisteho on S=10 kVA, jolloin suurin mahdollinen B-luokan johdonsuoja saisi olla:

$$I_{\text{suoja}} \leq S / (\sqrt{3} * U) * 45 \% = 10000 / (\sqrt{3} * 400) * 45 / 100 = 6,49 \text{ A}$$

Standardikooksi tulee B6 A johdonsuoja-automaatti. Tällaista suojaa saisi käyttää vain, kun kuorma on heti UPSin vieressä. Kaapelin impedanssi on myös aina otettava huomioon.

Tarkemmat arvot on aina laskettava UPSin oikosulkuvirrasta huomioiden, että suojien on toimittava enintään 20 ms kuluessa vikatapauksessa yksistään UPSin akuston energian avulla.

Suojauksessa suojalaitteen nimellisarvon on oltava pienempi kuin UPSin invertterin oikosulkuvirran I<sub>kinv</sub> 20 ms arvo. Lisäksi suojalaitteen nimellisarvon on oltava pienempi kuin I<sub>kinv</sub> jaettuna suojalaitteen laukaisukertoimella k.

2.11.2016

LIVI/6683/06.04.01/2016

$$I_{\text{suojamax}} \leq I_{\text{kinv}}/k,$$

missä kerroin k vaihtelee johdonsuoja-automaattityypin mukaan seuraavasti:

Tyyppi	kerroin k	käyttö
B	5	(yleiskäyttö)
C	10	(yleiskäyttö)
K	12/ 14	(moottorit, muuntajat)
D	20	(muuntajat, kondensaattorit)
Z	3	(puolijohteet ja mittausvirtapiirit)
G	10	ei saa käyttää uusissa asennuksissa
L	5,25	ei saa käyttää uusissa asennuksissa
H	3	ei saa käyttää uusissa asennuksissa
U	12	ei saa käyttää uusissa asennuksissa

Suojalaitteena voidaan käyttää myös ns. kompaktikatkaisijoita, mutta ei kuitenkaan useaa sarjaan kytkettynä (katkaisijoiden toiminnan laukaisuviiveiden kertaantumisen vuoksi). Jos suojalaitteessa on aseteltava virtaraja, se saadaan asetella sallittua kuormitusta vastaavaan virran nimellisarvoon.

Koska syöttöverkko jatkuu UPSista/ UPSin ryhmäkeskuksesta satoja ja jopa tuhansia metrejä, pienin sallittu suoja määräytyy UPSin oikosulkuvirran, käytetyn kaapelin poikkipinnan ja sen pituuden mukaan määräytyvän impedanssin perusteella.

Alla erään toimittajan UPS-laitteiden nimellistehot/suojalaitteiden maksimiarvot, suoraan UPSin ulostuloliittimissä ilman metriäkään ryhmäjohtoa:

3~ input/ 3~ output

Sn UPS kVA	Suoja B/A 3~/230V	Suoja C/A 3~/230V
10	6	3
15	10	4
20	13	6
25	16	6
30	20	10
40	25	13
50	32	16

**Huom!** edellä mainitut arvot ovat UPS-laite- ja mallikohtaisia. Tarkat arvot on aina varmistettava UPS-laitetoimittajalta.

2.11.2016

LIVI/6683/06.04.01/2016

Suurin sallittu johtopituus lasketaan kaavasta:

$$L = (c \cdot U / (\sqrt{3} \cdot I_k) - Z_v) / (2 \cdot Z), \text{ jossa}$$

L= johtopituus (km)

c= kerroin 0,95 (jännitteen alenema)

U= 400 pääjännite (V)

I<sub>k</sub>= oikosulkuvirta (A), joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa,

B-automaatti 5·I<sub>n</sub>

C-automaatti 10·I<sub>n</sub>

I<sub>n</sub>= johdonsuoja-automaatin nimellisvirta

Z= suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)

Z<sub>v</sub>= impedanssi (Ω) ennen suojalaitetta. Jos sitä ei tiedetä, se voidaan laskea ennen suojalaitetta olevasta oikosulkuvirrasta ja tässä tapauksessa UPSin oikosulkuvirrasta I<sub>kinv</sub> (A) (20ms arvo) seuraavalla kaavalla:

$$Z_v = (U / \sqrt{3}) / I_{kinv}$$

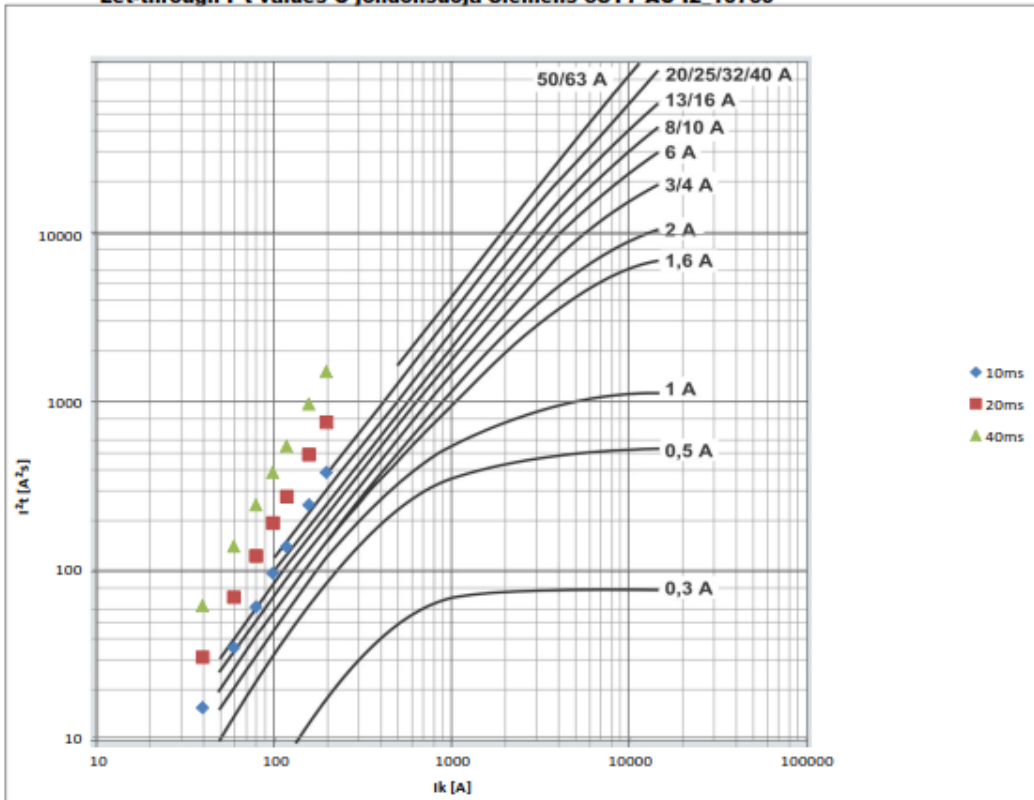
Yksivaiheisella UPSilla kaavojen pääjännite korvataan vaihejännitteellä, ja kaavoista jää  $\sqrt{3}$  pois.

Kaapeleiden impedanssit [Ω/km] otetaan oikosulkuvirta- ja suojauksen toimintalaskelmissa huomioon johdinlämpötilassa 80 °C.

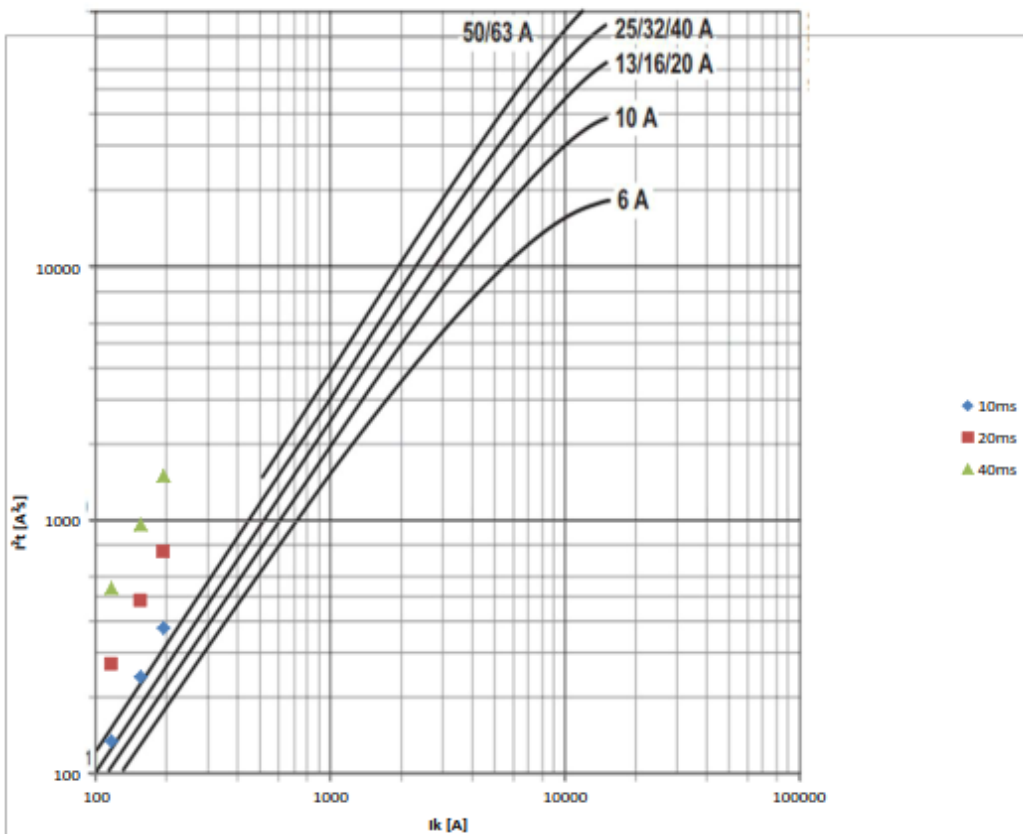
Seuraavassa kaaviossa on Siemensin C-tyyppin ja B-tyyppin johdonsuojien 5SY7 AC12 I<sup>2</sup>t-käyrät oikosulkuvirran funktiona sekä erään valmistajan UPSin I<sup>2</sup>t-arvot 10 ms, 20 ms ja 40 ms ajoilla.



Let-through I<sup>2</sup>t values C johdonsuoja Siemens 5SY7 AC I2\_10769



Let-through I<sup>2</sup>t values B johdonsuoja Siemens 5SY7 AC I2\_10768



### Esimerkki $I^2t$ -arvojen käytöstä

UPSin sallituksi  $I^2t$ -arvoksi saadaan 20ms laukaisuajalla  $30 A^2s$ , ( $39 A \cdot 39 A \cdot 0,02 s = 30 A^2s$ ). Vasemmalta ensimmäinen punainen neliö (ylempi kuva) vastaa oikosulkuvirtaa  $I_k = 39A$  mikä sallii maksimi arvot B-suojalla  $5 \cdot I_n$  tai C-suojalla  $10 \cdot I_n$ . Tästä saadaan jakolaskulla  $B = 39/5 = 7,8 A$ , josta saadaan, että pienempi vakiosuoja on B6. Vastaavasti  $C = 39/10 = 3,9 A$ , josta saadaan C3.

Kun UPSin oikosulkuvirta on esimerkissä vain 39 A ja kuormitus kaapeloidaan UPSista kenttä-laitteisiin, saadaan sallituiksi käytettäviksi johdonsuojiksi ja maksimi johtopituuksiksi valituilla kaapelilla:

AMCMK 4x35+16	C2A	2010 m
AMCMK 4x35+16	C3A	554 m
AMCMK 4x35+16	C4A	0 m

Nämä ovat suurimmat johdonsuojat, jotka voidaan hyväksyä UPSin ryhmäkeskukseen.

Jos kaapelipituudet ovat tarkoitukseen liian pieniä, pitää UPSiin lisätä moduuleita tai suurentaa UPSia tai kasvattaa kaapelipoikkipintaa, jotta ehdot täyttyvät.

### 3.6 UPS-järjestelmän syöttävän verkon puolen sulakkeiden mitoitus

Suojalaite valitaan suurimman yhtäaikaisen UPSin kuormituksen perusteella laajennusvara huomioon otettuna. Lisäksi kuormitukseen otetaan mukaan UPSin jännitekatkon jälkeen tapahtuvan akustojen varauksen tarvitsemat tehot.

Oikosulkuvirran kasvattamiseksi asennettuja lisämoduuleita ei tarvitse ottaa huomioon latauslaitteiden osalta muuten kuin silloin, jos niitä ei ole laskettu mukaan kokonaiskuormitusta määriteltäessä.

Jos latauslaitteiden tehoa ei tiedetä, se voidaan arvioida olevan 20 % UPSin nimellistehosta.

### 3.7 Kaapelin oikosulkusuojauksen tarkastus $k^2 \cdot S^2$

Kaapelin suojajohtimen poikkipinta-ala ei saa olla pienempi kuin arvo joka saadaan kaavasta:

$$S = (\sqrt{I^2 t}) / k, \text{ jossa}$$

$S$  = suojajohtimen poikkipinta ( $\text{mm}^2$ )

$I$  = suojalaitteen kautta kulkeva oikosulkuvirran tehollisarvo (A)

$t$  = suojalaitteen toiminta-aika (s)

$k$  = kerroin, jonka arvo riippuu suojajohtimien materiaalista, eristyksestä ja muusta rakenteesta sekä johtimelle sallituista alku- ja loppulämpötiloista.

Kun kaava laitetaan muotoon

$$k^2 \cdot S^2 = I^2 \cdot t$$

2.11.2016

LIVI/6683/06.04.01/2016

Kaapeli on suojattu oikosulkuun vastaan ehdon  $I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot S^2$  täytyessä.

Tässä tulee huomioida verkoston kannalta myös tilanne, jossa oikosulku tapahtuisi silloin, kun ei ole verkkokatkoa. Tällöin staattinen ohituskytkin syöttäisi energiaa vikapaikkaan, ja vikavirta olisi suurimmillaan.

Kaapelin suojajohtimen läpäisevä energia voidaan katsoa samasta käyrästä kuin UPSin ja suojalaitteen arvot.

Kaapelin arvo pitää olla samalla oikosulkuvirralla ylimpänä, sitten UPSin arvot ja alimpana suojalaitteen  $I^2 t$ -arvo.

Seuraavassa taulukossa on laskettu kaapelivaipan sisällä olevan suojajohtimen  $k^2 \cdot S^2$ -arvoja.

Eriste Johdin k A/mm <sup>2</sup>	PVC Kupari k <sup>2</sup> S <sup>2</sup> *10 <sup>3</sup>	PVC Alumiini 115 76 k <sup>2</sup> S <sup>2</sup> *10 <sup>3</sup>
1,5	30	
2,5	83	
4	212	
6	476	
10	1323	578
16	3386	1479
25	8266	3610
35	16201	7076
50	33063	14440
70	64803	28302
21	5832	
41	22231	
57	42968	
72	68558	
95	119356	52128
120	190440	83174
150	297563	129960
185	452626	197684
240	761760	332698

### 3.8 Jännitteen alenema

Sallitulle jännitteen alenemalle noudatetaan SFS 6000 -standardia.

Jännitteen alenema kaapelille, jonka impedanssi on Z, voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta U = kZI_b = kl_b \frac{L}{n} (r \cos \varphi + x \sin \varphi) [V]$$

jossa

k= 2, yksivaihejärjestelmässä

k=√3, kolmivaihejärjestelmässä

I<sub>b</sub>= kuorman virta. Jos sitä ei tiedetä, voidaan käyttää johdolle sallittua virtaa I<sub>z</sub>

L[km]= kaapelin pituus

n= rinnakkaisten vaihejohtimien lukumäärä, jos syöttökaapeleita on n kpl

r[Ω/km]= yksittäisen kaapelin resistanssi kilometriä kohden

x[Ω/km]= yksittäisen kaapelin reaktanssi kilometriä kohden

Kaapeleiden impedanssit [Ω/km] otetaan jännitteen alenema laskelmissa huomioon johdinlämpötilassa 20°C.

cos φ= kuorman teholliskerroin

sin φ= √(1-cos<sup>2</sup> φ)

Yleensä ilmoitetaan prosentuaalinen jännitteen alenema ΔU suhteessa käytettyyn nimellisjännitteeseen U<sub>r</sub>. Se lasketaan kaavalla:

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_r} 100$$

Jos kuorma tai UPS on yksivaiheinen, tämä on huomioitava jännitteen alenemaa laskettaessa.

### 3.9 Staattinen vaihtosuuntaaja

Jos standardisarjan SFS 6000 kohdan 551.4.3.3 lisävaatimuksen mukaan staattisella vaihtosuuntaajalla syötetyn sähköasennuksen osien kosketussuojaus riippuu siitä, sulkeutuuko ohituskytkin automaattisesti ja toimivatko ohituskytkimen syötönpuoleiset suojalaitteet SFS 6000-4-41 kohdan 411 mukaisessa ajassa, niin vaihtosuuntaajan kuormituspuolella on käytettävä kohdan 415.2 mukaista lisäpotentiaalintasausta samanaikaisesti kosketeltavien, jännitteelle alttiiden osien ja muiden metalliosien välillä.

Samanaikaisesti kosketeltavien johtavien osien välillä vaadittujen potentiaalintasausjohtimien resistanssin on vaihtosähköjärjestelmässä täytettävä seuraava ehto:

$$R \leq 50V/I_a$$

missä I<sub>a</sub> on suurin maasulkuvirta, jonka staattinen vaihtosuuntaaja voi yksinään syöttää 5 sekunnin ajan.

### 3.10 Akuston mitoittaminen

UPSin akuston muodostavan akkujen lukumäärä riippuu UPSin kuormituksesta, UPSin hyötysuhteesta ja järjestelmältä vaaditusta varakäyntiajasta sekä akkujen vanhenemisestä.

Turvalaitejärjestelmän virransyötön varavoimana on oltava 6 tunnin käyttöä varten mitoitettu akusto tai dieselaggregaatti ja 2 tunnin käyttöä varten mitoitettu akusto (Liikenneviraston ohje 7/2014 Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6 Turvalaitteet).

Vaadittu varakäyntiaika on saavutettava myös suunnitellun käyttöikänsä päähän vanhentuneella akustolla. Tämän vuoksi akustojen vanhentuminen otetaan laskennassa huomioon joko kertomalla nimelliskuormitus kertoimella 1,25 tai jakamalla akustokapasiteetti kertoimella 0,8.

### 3.11 Akustovaraajan mitoittaminen

UPSin akustovaraaja on mitoittettava siten, että se kykenee varaamaan puretun akuston vähintään 80 prosenttiin nimelliskapasiteetista 24 tunnin aikana samanaikaisesti, kun se syöttää kuormaa maksimi kuormitustilanteessa.

### 3.12 UPSin akuston sulakkeet ja akustokytkin/(-met)

UPS-laitteisto varustetaan vähintään kahdella rinnakkaisella akustopiirillä. Akustopiirin sulakkeet mitoitetaan täydelle teholle.

Akustosulakkeen koko mitoitetaan akuston oikosulkuvirran mukaan niin että se/ne toimivat aina akustojohdinten oikosulkutilanteessa.

Esimerkiksi jos UPSin nimellinen ulostulovirta on 100 A, molemmat akustot varustetaan 100 A sulakkeilla. Silloin kun rinnakkaisia haaroja on enemmän kuin kaksi, voidaan ne mitoittaa hie- man pienemmälle virralle (esimerkiksi jos haaroja on kolme, sulakkeet voisivat olla 63 A).

Esimerkiksi 100 Ah/10 h /12 V huoltovapaalla akulla on oikosulkuvirta luokkaa 3500 A.

Kun akustokytkenä käytetään kytkinvaroketta, sen mitoituksessa on otettava huomioon että:

- kyseessä on tasajännite (DC) ja sen suuruus
- akuston oikosulkuvirta
- akuston nimellisjännite
- akustosta otettava kuorman nimellisvirta
- sulakkeen tasavirran katkaisukyky

Jos UPSilla käytetään akustoilla ns. keskipistekytkeä, jolloin yksi akusto muodostuu esim. 24\*12 V +24\*12 V akustosta, josta UPSille lähtee kolme johtoa/ akustopiiri, joudutaan yleensä käyttämään 200 A nimellisvirtaista kytkinvaroketta.

UPS-järjestelmään soveltuvan vaihtojännitteelle tehdyn kytkinvarokkeen soveltuvuus UPSin tasajännitteelle tulee selvittää laitevalmistajilta, jos esitteistä ei löydy mainintaa sen soveltuvuudesta DC-käyttöön.

Koska akuston nimellisjännite DC on määrävänä tekijänä, sillä katkaisukyvyyn perusteella 440 Vdc (akuston nimellinen jännite 24\*12 V) tarvitaan kaksi napaa/ haara sarjaan. Tällöin kytkinvaroke olisi esimerkiksi ABB OS200 ja sulakkeet 3 \* OFAA gG 1HxxA valitun UPSin mukaan.

### 3.13 UPSiin liitettävien laitteiden käynnistysvirta

UPSilta sähkön saavat laitteet on mitoitettava niin, ettei niiden mahdollinen käynnistysvirtapiikki aiheuta UPSin lähdön tai lähtöjen suojien toimimista. Tarvittaessa laitteet on varustettava kaappi-, ryhmä- tai laitekohtaisilla käynnistysvirran rajoittimilla. Käynnistysvirta on rajattava sellaiseen arvoon, jolla valittu suojalaite ei toimi laitteen käynnistyessä.

Laitteet, jotka mahdollisesti aiheuttavat suuria käynnistysvirtapiikkejä, ovat esimerkiksi kaikki suuria kondensaattoreita sisältävät teholähteet, moottorit ja hehkulamput.

### 3.14 Maasulun valvonta

Jos UPS-järjestelmä on varustettu galvaanisen erotuksen tekevällä lähtömuuntajalla (= UPS-verkon nolla tai tähtipiste ei ole yhteydessä syöttävän verkon erotusmuuntajan jälkeiseen maadoitusverkkoon), UPSin jälkeinen verkko (UPS-verkko) muodostaa IT-järjestelmän, ja se pitää varustaa maasulun valvontalaitteilla.

Tällaisen järjestelmän maasulun valvontaa suunniteltaessa on huomioitava 1-luokan (suoja- maadoitettavien) laitteiden sallitut maksimi vuotovirrat. Vuotovirtoja syntyy laitteissa suoja- maahan kytketyistä häiriönpoistokondensaattoreista.

UPS-järjestelmän lähdössä olevia erotusmuuntajia on käytetty vanhemmissa UPS-laitteissa.

#### Esimerkki UPSin syöttämän verkoston laskennasta

UPSin jälkeinen sähköverkko muodostuu seitsemästä kuormituspisteestä, joiden kolmivaihe- nimellistehot ovat 6\*1,5 kW ja 4,5 kW. Kuuden kenttälaitekaapin johtopituudet ovat 3100 m, 1500 m, 850 m, 750 m, 2000 m, 2500 m ja 4,5 kW tehon kulutuspaikka on UPS-laitetilassa. Kuormituksen yhtäaikaisten kokonaisteho P on 13,5 kW,  $\cos\phi = 0,9$ .

Tästä voidaan laskea kuormituksen näennäisteho kaavalla

$$S = P / \cos \phi \text{ ja arvoksi saadaan } S = 13,5 / 0,9 = 15 \text{ kVA}$$

UPS-laitteeksi halutaan käytettävyyssyistä redundanttinen (N+1), modulaarinen ja helposti huollettava UPS.

$$\text{Yhden moduulin tehoksi saadaan } S_{\text{mod}} = S / 0,9 = 15 / 0,9 \text{ kVA} = 16,7 \text{ kVA}$$

Sopiva vakiomoduulikoko on 20 kVA.

Järjestelmään näitä tarvitaan kaksi kappaletta. Tällöin UPSin nimellisteho on 40 kVA.

Tämän kokoisen UPSin oikosulkuvirta on 130–156 A valittavasta UPSista riippuen. Jos tämä ei riitä, oikosulkuvirtaa voidaan kasvattaa lisäämällä moduuleita.

2.11.2016

LIVI/6683/06.04.01/2016

**HUOM!** Näissä laskelmissa ei ole otettu huomioon UPSin lähtöliittimien ja UPSin ryhmäkeskuksen välistä nousujohtoa. Käytännön laskelmissa tämä pitää huomioida.

UPSin nimellistehon on kuitenkin oltava oikeassa suhteessa kuormituksen, tulevaisuuden laajennustarpeiden, vikasuojauksen ja suurimman kuormituksen tarvitsevan suojan kanssa.

UPSia syöttävät sulakkeet mitoitetetaan UPSin kuormituksen mukaan, mikä olisi nyt 3\*63 A, kun on otettu huomioon tulevaisuuden tarpeet. UPSin moduulikehikon tulisi sallia vähintään kolmannen moduulin asentaminen tulevaisuudessa (koska muuten puuttuu redundanttisuus).

Jos tulevaisuuden tarpeiden huomioonottamisesta saadaan poiketa Liikenneviraston erikoisluvalla, tällöin kuormituksessa otetaan huomioon vain toinen moduuli, jolloin UPSin tarvitsemat suojat olisivat 3\*35 A.

UPS 40 kVA sallii maksimissaan B20A tai C10A johdonsuojan, mutta tällöin ei ole otettu kaapeliverkkoa lainkaan huomioon.

Suojan toimivuus suhteessa UPSin akkukäytön oikosulkuvirtaan nähden tulee tarkastaa huomioiden myös kauimmainen kaappi tai laite, jota syötetään, ja sen tarvitsema teho/johdonsuoja/kaapelin impedanssi.

Syöttöverkko suunnitellaan säteittäiseksi (so. jokaiselle kaapille suunnitellaan oma syöttökaapelinsa) UPSin ryhmäkeskuksesta alkaen. Tällöin jokainen lähtö voidaan suojata UPSin oikosulkuvirtaan nähden pienimmällä mahdollisella suojalaitteella. Silloin vältetään suojalaitteiden porrastukselta, kaapelin vioittuminen ei häittäisi muiden kaappien toimintaa ja saadaan varmasti selektiivinen suojaus. Vikaantunut kaapeli tai laite ei aja koko UPS-järjestelmää alas, vaan vain vioittunut lähtö jää ilman sähköä.

Seuraavassa lasketaan kentälaitteiden haarat:

UPSin syöttämä pisin johtohaara on 3100 m, kuormituksen 1,5 kW virta on 2,2 A. Tällä perusteella johdonsuojaksi johdon alkupäähän valitaan C3 tai C4 johdonsuoja-automaatti. Jos kaapissa on hakkurivirtalähteitä tai kondensaattori kuormaa, joiden käynnistysvirta on suurempi kuin mitä johdonsuoja kestää, ne on varustettava ensi sijassa käynnistysvirran rajoituslaitteilla, ja toissijaisesti johdonsuoja on valittava suuremmaksi. Tämän seurauksena voidaan tarvita lisämoduuli UPSiin oikosulkuvirran kasvattamiseksi, tai käytetään suurempi poikki pintaista kaapelia.

Esimerkkinä käytetyn 40 kVA UPS-oikosulkuvirta on UPSin lähdössä 130 A.

Kuorman puoleisessa päässä oikosulkuvirran on oltava vähintään 30A C3 tai 40A C4 suojalla, jotta suojaus toimisi vikatapauksessa oikein riittävän nopeasti.

Kauimmaisen haaran oikosulkuvirta 32 A saavutetaan käyttämällä kaapelina AMCMK 4x70+21 tai 49 A jos kaapelina käytetään AMCMK 4x120+41.

Jos kuorma onkin 1,2 kW, tällöin kuorman virta olisi 1,7 A, ja suojana voitaisiin käyttää C2.

Tällöin vaadittava oikosulkuvirta on 20 A. Tähän päästään AMCMK 4x35+16 kaapelilla, jolloin oikosulkuvirta on 22 A.

2.11.2016

LIVI/6683/06.04.01/2016

Seuraavana lasketut maksimi kaapelipituuden arvot, jotka aiheuttavat automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa valitulla UPSilla  $I_k = 130$  A ja valituilla johdonsuojilla ja kaapeleilla:

AMCMK 4x35+16	C2A	3660 m
AMCMK 4x35+16	C3A	2204 m
AMCMK 4x35+16	C4A	1476 m
AMCMK 4x50+16	C2A	4134 m
AMCMK 4x50+16	C3A	2489 m
AMCMK 4x50+16	C4A	1667 m
AMCMK 4x70+21	C2A	5633 m
AMCMK 4x70+21	C3A	3393 m
AMCMK 4x70+21	C4A	2272 m
AMCMK 4x95+29	C2A	7648 m
AMCMK 4x95+29	C3A	4606 m
AMCMK 4x95+29	C4A	3085 m

Laskelmasta huomataan, että kauimmaisen kaapin lähtöä ei voida suojata C4A suojalla. Jos kyseinen suoja tarvitaan, vaihtoehtona on asentaa seuraava suurempi poikkipintainen kaapeli tai kasvattaa UPSin oikosulkuvirtaa tai siirtää kaappia lähemmäksi laitetilaa.

Seuraavassa laskelmassa on esitetty maksimi kaapelipituudet, kun UPS:n oikosulkuvirtaa on nostettu lisämoduulin avulla. Tällöin UPSin oikosulkuvirta  $I_k = 195$  A, ja automaattinen poiskytkentä vaaditussa ajassa valituilla johdonsuojilla ja kaapeleilla toteutuu.

AMCMK 4x35+16	C2A	3895 m
AMCMK 4x35+16	C3A	2440 m
AMCMK 4x35+16	C4A	1712 m
AMCMK 4x50+16	C2A	4400 m
AMCMK 4x50+16	C3A	2756 m
AMCMK 4x50+16	C4A	1934 m
AMCMK 4x70+21	C2A	5996 m
AMCMK 4x70+21	C3A	3755 m
AMCMK 4x70+21	C4A	2635 m
AMCMK 4x95+29	C2A	8141 m
AMCMK 4x95+29	C3A	5099 m
AMCMK 4x95+29	C4A	3578 m

Jos kaikille kaapeille riittää C2 suoja, ne voidaan kaapeloida käyttäen AMCMK 4x35+16 kaapelia kummassakin tapauksessa. Muuten valitaan kauimmaiselle kaapille se poikkipinta, jolla valitulla suojalla suojausehto täyttyy, eli AMCMK 4x70+21 ja muut kaapeloidaan esimerkiksi AMCMK 4x35+16.

Kaikilla valituilla kaapeleilla  $k^2 \cdot S^2$  arvo täyttyy.

Tarkistetaan, ettei jännitteen alenema ole liian suuri valitulla kaapelilla. Jos näin on, valitaan suurempi poikkipintainen kaapeli.



2.11.2016

LIVI/6683/06.04.01/2016

Kuormituksen  $1,5 \text{ kW} / 3 \sim \cos \varphi = 0,9$  jännitteen alenema pisimmässä haarassa on  $U_h = 2,4 \% < U_{hsall} = 8,5 \%$ . Tällä perusteella AMCMK 4\*35+16 olisi hyväksyttävä kaapelivalinta.

Jos kuormitus olisi yksivaiheinen, jännitteen alenema olisi noin  $U_h = 14,4 \% > U_{hsall} = 8,5 \%$ . Tällöin AMCMK 4\*70+21 johtaisi jännitteen alenemaan  $U_h = 7,6 \% < U_{hsall} = 8,5 \%$ . Kahdentamalla vaihejohtimet AMCMK 4\*35+16 kaapelista päästään samaan tulokseen.

## 4 Lyhyt yhteenveto UPSin jälkeisen verkon mitoittamisesta

- Määritellään tarvittava alustava UPSin nimellisteho. Selvitetään UPSin 20 ms oikosulkuvirta-arvo aiotusta UPS-laitteesta.
- Määritetään tarkka kaapelipituus UPSilta UPSin ryhmäkeskukselle ja siitä edelleen syötettävälle laitteistolle asti (pituudessa pitää ottaa huomioon myös kaapeleiden pystyosuudet).
- Selvitetään laitekaapin syötön tarvitsema suojalaitteen nimellisvirta.
- Lasketaan asennuksessa mahdollisesti käytettävien kaapeleiden maksimipituudet, joilla suoja toimii 20 ms kuluessa.
- Lasketaan jännitteen alenema. Jos jännitteen alenema on sallittua suurempi, valitaan paksumpi kaapeli.
- Jos oikosulkuvirta ei riitä, eikä suojalaitetta pystytä pienentämään, tutkitaan, onko edullisempi kasvattaa oikosulkuvirtaa vai asentaa paksumpi kaapeli.
- Jos on useita kaappeja kaukana, tällöin on ehkä edullisempaa kasvattaa lisämoduulilla oikosulkuvirtaa kuin asentaa paksumpi kaapeli useammalle kaapille.
- Määritetään UPSin lopullinen nimellisteho, tarvittavien moduulien lukumäärä sekä akuston koko kuudentunnin varakäyntiajalla.
- Samalla rataosalla pyritään käyttämään samanlaisia UPSeja ja modulaarisissa laitteissa saman tehoisia moduuleita kunnossapidon helpottamisen vuoksi.
- Määritetään akustosulakkeiden ja akustokytkimien koko.
- Määritetään UPSin tarvitsemat syötönpuoleiset suojalaitteet (sulakkeet) UPSin kuormituksen mukaisesti.
- Määritetään laitetilan sähköliittymän koko.

## 5 Poikkeaminen mitoitusohjeista

Mitoitusohjeesta voidaan poiketa Liikenneviraston luvalla, koskien UPSin nimellistehoa tulevaisuuden tarpeisiin varautumista varten (koskee liittymän mitoitusta ja sen suuruutta).

**Suojauksen toimivuuden ja toiminta-aikojen vaatimuksista ei saa kuitenkaan poiketa niissä uusissa järjestelmissä, jotka otetaan käyttöön tämän ohjeen julkaisemisen jälkeen.**

# Tämä asiakirja on allekirjoitettu

Lista allekirjoittajista

Allekirjoittaja

Todennus