

Sami Källi

Varavoimajärjestelmän suunnitteluohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Sähkötekniikka
Insinöörityö
2.2.2012

Tekijä Otsikko	Sami Källi Varavoimajärjestelmän suunnitteluohje
Sivumäärä Aika	43 sivua + 10 liitettä 2.2.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	sähkötekniikan lehtori Sampsa Kupari suunnittelupäällikkö Kari Kavonius
<p>Insinööriyöntyön aiheena on varavoimajärjestelmän sähkösuunnittelu. Työssä kehitettiin selkeä ja monipuolinen työkalu sähkösuunnittelijalle varavoimajärjestelmän sähkösuunnitteluprosessiin.</p> <p>Työssä käsiteltiin varavoimajärjestelmän tarpeen määrittämistä, kohteeseen sopivan järjestelmän valintaa, järjestelmän mitoitusta sekä varmennetun verkon suojausta. Varavoimajärjestelmän suunnitteluprosessin tueksi tehtiin malliratkaisuesimerkki, jossa käytiin portaittain läpi tavaratalon varavoimajärjestelmän suunnittelu.</p> <p>Työn aineisto koostui kirjallisista lähteistä sekä varavoimajärjestelmien valmistajien haastatteluista ja tuotetiedoista.</p> <p>Lopputulokseksi saatiin suunnittelun etenemistä vaiheittain seuraava sisältökokonaisuus, jossa on esitetty eri suunnitteluvaiheisiin liittyvä teoria ja toimintamalli.</p>	
Avainsanat	varavoima, UPS, generaattori, suunnittelu, mitoitus, sähkö

Author Title	Sami Källi Electrical Design of a Reserve Power System
Number of Pages Date	43 pages + 10 appendices 2 February 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Sampsa Kupari, Senior Lecturer Kari Kavonius, Planning Manager
<p>The subject of this bachelor's thesis was electrical planning of a reserve power system. The aim was to create a versatile, yet simple tool for electrical designers for the purpose of designing a reserve power system.</p> <p>First, defining the need of reserve power and choosing the correct system is discussed. After that, the chosen system scaling and electrical protections for the chosen reserve power grid are handled. An example of designing a reserve power system was created to guide the designer in an applied manner.</p> <p>The main sources of information for the thesis were literature and interviews of reserve power manufacturers and suppliers.</p> <p>The outcome of this thesis was a gradually progressing ensemble of designing a reserve power system, which includes general theory concerning every phase of the designing.</p>	
Keywords	reserve, power, design, plan, electrical, UPS, generator

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät

1 Johdanto	1
2 Varavoimajärjestelmän suunnittelu	2
2.1 Varavoimajärjestelmän suunnittelun työnjako	2
2.2 Varavoimajärjestelmän hankesuunnittelu	2
2.3 Varavoimajärjestelmän toteutussuunnittelu	3
2.4 Varavoimajärjestelmän dokumentointi	3
3 Varavoiman tarve	4
3.1 Varavoimatarpeen arviointi	4
3.2 Varavoimalla varmennettavat toiminnot	4
3.3 Varavoiman varmennustasoluokittelu	5
3.4 Varavoiman kustannukset	6
3.5 Esimerkkikohteen esittely ja varavoiman tarpeen määrittely	7
4 Varavoimajärjestelmän valinta	8
4.1 Varavoimajärjestelmätyypit	8
4.2 UPS-laitteet	9
4.2.1 UPS-järjestelmät	9
4.2.2 UPS-laitteistojen päätyypit	10
4.3 Varavoimalaitos	14
4.4 Varavoimateholähteen ohituskytkimet	14
4.5 Varavoimateholähteet	15
4.5.1 Varavoimageneraattori	15
4.5.2 Varavoima-akustot	16

4.6	Varavoiman teho ja varmennusaika	17
4.7	Varavoiman redundanttisuus	18
4.8	Varavoimalaitteiden laitetilat	18
4.9	Varavoimajärjestelmän huolto ja ylläpito	19
4.10	Esimerkkikohteen varavoimajärjestelmän valinta	20
5	Varavoimajärjestelmän mitoitus	22
5.1	Varavoimalla varmennettavat kuormitukset	22
5.2	UPS:n mitoitus	22
5.3	Dieselgeneraattorin mitoitus	23
5.4	Eryteisesti huomioitavat kuormat ja häiriölähteet	24
5.5	Varavoimajärjestelmän kaapelointi	25
5.6	Esimerkkikohteen mitoitus	26
6	Varmennetun verkon suojaus	29
6.1	Varmennetun verkon ylikuormitussuojaus	30
6.2	Varmennetun verkon oikosulkusuojaus	32
6.3	Varmennetun verkon kosketusjännitesuojaus	33
6.4	Varmennetun verkon suojausten selektiivisyys	35
6.4.1	Verkon selektiivisyys normaalissa syöttötilanteessa	35
6.4.2	Generaattorin syöttämän verkon selektiivisyys	35
6.5	Esimerkkikohteen suojaus	36
7	Yhteenveto	41
	Lähteet	42
	Liitteet	
	Liite 1. Tier-luokitus	
	Liite 2. Riskienhallintakortti	
	Liite 3. Dynaaminen UPS-laitteisto	
	Liite 4. CPS-laitteisto	
	Liite 5. Varavoimakone ja dynaaminen tai staattinen UPS-laitteisto	
	Liite 6. Generaattorin mallipääkaavio	
	Liite 7. ITI (CBEMA)-käyrästä	
	Liite 8. Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät	
	Liite 9. UPS-laitteen asennuskaavio	
	Liite 10. gG-sulakkeiden sulamiskäyrät	

Lyhenteet ja määritelmät

AREP	<i>Auxiliary winding Regulation Excitation Principle</i> ; generaattorin magnetointiperiaate
CBEMA	<i>Computer and Business Equipment Manufacturer's Association</i> ; tietokone- ja toimistotarvikkeiden valmistajien yhdistys
CPS	<i>Continuous Power Supply</i> ; jatkuva sähkönsyöttö
EN	<i>European Standard</i> ; Eurooppalainen CENissä, CENELECissä tai ETSI:ssä laadittu standardi
Eurobat	<i>The European Storage Battery Manufacturers Association</i> ; Euroopan akustovalmistajien yhdistys
gG	g kuvaa sulakkeen soveltuvuutta oikosulku- ja ylikuormitussuojaksi; G kuvaa sulakkeen soveltuvuutta johdon suojaukseen
I_k	oikosulkuvirta
I_n	nimellisvirta
I_s	käynnistysvirta
I_z	johtimen kuormitusvirta
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> ; suuntaajatekniikassa yleisesti käytetty tehoelektroniiKKapuolijohde
IT	<i>Information Technology</i> ; tietotekniikka
IT-järjestelmä	
	erotusmuuntajajärjestelmä

ITI	<i>Information Technology Industry Council</i> (aikaisemmin CBEMA)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> ; kansainvälinen standardoimisjärjestö
L	vaihejohdin
l	pituus
mm ²	neliömillimetri; käytetään kaapelin poikkipinta-alan yksikkönä
N	nollajohdin
P	pätöteho
PE	suojavaadoitusjohdin
S	näennäisteho
SFS	Suomen Standardoimisliitto, SFS ry
shunt	generaattorin magnetointiperiaate
t_k	laukaisuaika; oikosulun kesto aika
THDi	<i>Total Harmonics Disorder (Input current)</i> ; harmoninen kokonaisvirtasärö
TN-S	viisijohdinjärjestelmä
UPS	<i>Uninterruptible Power System</i> ; katkeamaton sähkönsyöttö
VA	volttiampeeri; näennäistehon yksikkö
W	watti; pätötehon yksikkö
φ	vaihekulma; käytetään kuvaamaan jännitteen ja virran välistä vaihe-eroa

1 Johdanto

Tämä insinööri työ toteutettiin kokonaissuunnittelutoimistolle Optiplan Oy:n toimeksiantona. Suunnitteluohjeen tarve syntyi varavoiman yleistymisen ja suunnittelutaidon kasvattamisen myötä. Suunnitteluohje on suunnattu toimitila-toimialan sähkösuunnittelijoille.

Varavoima on käytetty sekä jatkuvasti yleistyvä tapa suojata kiinteistön laitteet ja prosessit sähkökatkoilta, jotka aiheuttavat taloudellisia tappioita tai henkilöturvallisuuden vaarantumista (1).

Työssä selvitetään varavoimajärjestelmän suunnitteluun liittyviä seikkoja ja ohjeistetaan sähkösuunnittelijaa varavoimajärjestelmän suunnittelussa. Työhön sisältyy myös varavoimajärjestelmiin sekä sähköverkkojen suunnitteluun liittyvää yleistä sähkötekniikan teoriaa. Työn sisältö käsittää yleisimmin käytettyjen varavoimajärjestelmien, staattisten ja dynaamisten UPS-laitteiden sekä dieselgeneraattoreiden käytön varavoimateholähteinä. Työssä ei käsitellä varavoimalähteen sisäisten sähköjärjestelmien suunnittelua. Työhön liittyy myöhemmin tilaajan pyynnöstä julkisesta työstä erillään tehtävä suunnitteluohje, joka ei sisällä aiheen teoriaa, vaan se perehtyy syvemmin teknisiin tietoihin ja laskentaan.

Työssä tutustutaan sähkösuunnitteluprosessin etenemiseen. Seuraavaksi selvitetään varavoimajärjestelmien teoreettista taustaa ja sovelletaan sitä kyseisen järjestelmän suunnitteluun. Lopuksi esitetään varavoimajärjestelmän suunnittelu esimerkkiratkaisuin kokonaisuutena.

Työn tiedonhakumenetelmä perustuu haastatteluihin, kirjallisiin lähteisiin pohjautuvaan tiedonhakuun ja laitevalmistajien julkisten laitetietojen tutkimiseen. Tärkeimpinä kirjallisina lähteinä ovat Sähkötieto ry:n julkaisemat ST-käsikirja 20, Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät sekä ST-käsikirja 31, Varavoimalaitokset.

2 Varavoimajärjestelmän suunnittelu

2.1 Varavoimajärjestelmän suunnittelun työnjako

Ensimmäiseksi hankkeelle nimetään pääsuunnittelija, joka valvoo mahdollisen oman suunnittelualueensa lisäksi koko varavoimahankkeen etenemistä ja eri järjestelmien yhteensovittamisesta. Työnjako eri alojen suunnittelijoiden kesken sovitaan tapauskohtaisesti. Sähkösuunnittelijan työtehtäviin kuuluu yleensä seuraavat kohdat:

- kohteen kokonaistehontarpeen selvitys
- laitoksen ja varmistettavan verkon sähkötekniisten vaatimusten selvitys, kuten sähkönlaatu, oikosulkukestoisuus ja suojausten toiminta
- huonetilavaruksen määrittäminen.

Usein sähkösuunnittelija valitaan varavoimajärjestelmän pääsuunnittelijaksi. Varavoiman suunnittelu voidaan yksinkertaisimmillaan toteuttaa noudattamalla SFS 6000-standardisarjan standardeja. (2.)

2.2 Varavoimajärjestelmän hankesuunnittelu

Varavoimajärjestelmän suunnittelua varten on heti alkuvaiheessa tiedettävä kohteessa tapahtuvat toiminnot ja tilojen käyttötarkoitus. Näillä tiedoilla voidaan alustavasti arvioida häiriöttömän sähkönsyötön tarpeellisuutta kohteessa ja sen vaikutusta kohteen toiminnalle. Suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää selvittää kohdetta koskevat määräykset.

Hankesuunnitteluvaiheessa esitetään toteutuksen tekniset periaateratkaisut, tavoitteet ja kustannusarviot. Varavoimateholähde on jo tässä vaiheessa otettava huomioon myös muussa rakennussuunnittelussa. Varavoiman laitetilat asettavat vaatimuksia myös muulle rakentamiselle ja suunnittelulle. Hankesuunnitteluvaiheen jälkeen tehdään päätös suunnittelun jatkamisesta. (3, s. 2.)

(Hankesuunnitteluun kuuluvat työtehtävät, ks. 3.)

2.3 Varavoimajärjestelmän toteutussuunnittelu

Toteutusvaiheessa valitaan laitevalmistajat, -toimittajat ja komponentit. Hankesuunnitteluvaiheessa syntyneitä asiakirjoja tarkennetaan työpiirustuksiksi. Varsinainen varavoimajärjestelmän suunnittelu laitteiden mitoituksineen ja varmennetun verkon suunnitteluineen tapahtuu toteutussuunnitteluvaiheessa. (Toteutussuunnitteluun kuuluvat työvaiheet ja työtehtävät, ks. 4 - 6.)

2.4 Varavoimajärjestelmän dokumentointi

Viimeistään järjestelmän asennusten valmistuessa työpiirustukset viimeistellään luovutuspiirustuksiksi vastaamaan todellisia asennuksia. Asianmukainen dokumentointi on erittäin tärkeää varavoimajärjestelmän hyvän käytettävyyden ja ylläpidon kannalta.

Järjestelmän ylläpito ja kehitys tulee olla mahdollista näiden dokumenttien perusteella. Loppudokumenttien tulee vastata juuri kyseessä olevaa laitosta ja niissä tulee olla kaikki yksilöivät tiedot yhtenäisinä rakennuttajan ilmoittaman tavan mukaisesti. Kohdekohtaisten piirustusten ja selostusten lisäksi luovutettavaan aineistoon tulee sisältyä laitteistoon liittyviä käsikirjoja ja huoltoselosteita.

Käyttö- ja huolto-ohjekansio on toimitettava varavoimajärjestelmän mukana. Kansioista tulee löytyä jokaisen varaosan päänimikkeen kohdalta valmistajan tai maahantuojan nimi sekä yksilöivä tunnus. Lisäksi kansion tulee sisältää seuraavat dokumentit:

- kaikki laitteiston yleiset tekniset tiedot
- yleinen sekä yksityiskohtainen käyttöohje ja toimintaselostus
- huolto-ohje ja huoltotaulukko
- turvaohjeet
- sähköpiirustukset
- muut piirustukset, kuten logiikkakaaviot sekä apujärjestelmien kaaviot
- laitekohtaiset (laitetoimittajan) ohjeet
- asiapaperit kuten, tehdaskoekäyttöpöytäkirja ja takuutodistukset

(2, s. 109 - 111.)

3 Varavoiman tarve

3.1 Varavoimatarpeen arviointi

Tarve sähkön syötön ja jakelun varmennukselle syntyy usein taloudellisista tekijöistä. Omaisuuden turvaamisen lisäksi myös henkilöturvallisuus saattaa olla varavoiman tarpeen syynä. Varmennustason valintaa tehdessä on arvioitava sähkönsyötön katkeamisesta aiheutuvat vahingot. Sähkökatkoksesta aiheutuvia kuluja voivat olla esimerkiksi toiminnan keskeytyminen, menetetty tuotanto ja laitevauriot.

Varmennettavan kohteen tuntemus on välttämätöntä oikeanlaisen varavoimajärjestelmän suunnittelun kannalta. Jo hankesuunnitteluvaiheessa on tiedettävä kohteen tilojen käyttötarkoitukset ja kohteessa tapahtuva toiminta, jotta varmennustasoa voidaan lähteä alustavasti suunnittelemaan. Riskikartoitus on hyvä työkalu varavoiman tarvetta määritellessä. Riskikartoituksessa määritetään erilaisten sähkönjakeluhäiriöön liittyvien riskien merkityksellisyyttä ja päätetään riskien hallinnasta.

Konesaleja suunniteltaessa Tier-luokitusta voidaan käyttää varmennuksen tason suunnitteluun. Tier-luokituksella kuvataan IT-kuormille tarjolla olevien energialähteiden käytettävyyttä ja käyttövarmuutta. (Tier-luokituksen yhteenveto, ks. liite 1.)

Kun tiedetään sähkönsyötön katkeamisesta aiheutuvien vaarat ja uhkat sekä niiden todennäköisyys ja merkityksellisyys, voidaan päättää riskien hallinnasta eli varavoiman käytöstä. (4, s. 37.) Yleensä varavoiman käytöstä ilmoitetaan jo suunnittelukohteen lähtötiedoissa tilaajan toimesta (1). Tällaisessa tapauksessa sähkösuunnittelijan ei tarvitse tehdä arviointia varavoiman tarpeellisuudesta.

3.2 Varavoimalla varmennettavat toiminnot

Taloudellisten tappioiden ennaltaehkäisy on usein suurin syy varavoiman käyttöön. Pelkästään liiketaloudellisten syiden takia varavoimavarmennus ei kuitenkaan ole aina tarpeellista tai kannattavaa, ja riskienhallinnassa voidaan päätyä myös muunlaiseen ratkaisuun. Henkilöturvallisuuden ollessa kyseessä on turvasyöttöjärjestelmä aina toteutettava vähintään määräysten mukaisesti.

Rakennuksen käyttötarkoituksen ja rakennuksessa tapahtuvien toimintojen ja prosessien perusteella voidaan luoda arvio sähkönsyötön häiriöttömyyden tärkeydestä. Varavoimajärjestelmän kustannusten kannalta ei ole tietenkään taloudellista varmentaa koko kiinteistön sähköverkkoa. Tässä vaiheessa suunnittelua valitaan varmennettavat toiminnot, minkä jälkeen eri alojen suunnittelijoiden tehtävä on tunnistaa varmennettavien toimintojen järjestelmät ja laitteet. Jos laitteet ja järjestelmät ovat tiedossa, saadaan käsitys varmennuksen laajuudesta ja varmennettavasta tehosta.

Kun varmennuksen piiriin kuuluvat toiminnot on valittu, jaetaan kiinteistön kuormat varmistettuun ja varmistamattomaan ryhmään. Tämän jälkeen varmistetut kuormat jaetaan vielä kahteen tai useampaan ryhmään sallitun katkosajan tai kuorman tärkeyden mukaan. Tämä jako on tärkeää, varsinkin, kun käytetään rinnankäyvää varmennusta. (2, s. 27; 4.)

3.3 Varavoiman varmennustasoluokittelu

Riskienhallinnan kautta selvitetty varmennettavat toiminnot on hyvä luokitella omiin luokkiinsa. Henkilöturvallisuuteen liittyvät toiminnot on aina luokiteltava turvasyöttöjärjestelmän vaatimusten takia erikseen muista toiminnoista.

Turvasyöttöjärjestelmän luokittelu voidaan lähes aina toteuttaa yhdentyypisellä luokittelutaulukolla (taulukko 1, seur. s.). Turvasyöttöjärjestelmät voidaan luokitella vaaditun suojaustason, toiminta-ajan ja luotettavuuden perusteella.

Muita toimintoja luokiteltaessa on kuitenkin parasta soveltaa luokittelu kyseessä oleville järjestelmille sopivaksi. Varavoimajärjestelmää luokiteltaessa valitaan ensin luokiteltavat toiminnot ja sen jälkeen määritetään luokitteluperusteet. Kun toimintoja luokitellaan, on hyvä huomioida toiminnon tehonkulutus ja muut vaatimukset, jotta investointikustannukset pysyvät kannattavina. Siitä esimerkkinä voidaan esittää konesalin varmennuksen luokittelu (taulukko 2, seur. s.).

Taulukko 1. Turvayöttöjärjestelmän varmennustasoluokittelu

	Suojaustaso					Laitekohtainen suojaus		Syöttö		Redundantti järjestelmä
	Katkoton	0,15 s kytk.	0,5 s kytk.	15 s kytk.	>15 s kytk.	Akusto	Varakäyntiaika	UPS	Varavoima	
Paloilmoitus	x					x	24h	x		x
Leikkaussali			x				-		x	
Hengityslaitteet				x			-	x	x	

Taulukko 2. Varavoimajärjestelmän varmennustasoluokittelu

	Suojaustaso			Varakäyntiaika			Syöttö		Järjestelmä		
	Taajuus häiriösuojaus	Jännite häiriösuojaus	Katkoton	Automaattinen	Miehitetty	Jatkuva	UPS	Varavoima	Ei redundantti	Redundantti teholähde	Redundantti jakelu
Palvelimet	x	x	x	4h	7vrk		x			x	x
Jäähdytys				4h	7vrk			x			x

(4, s. 37 - 39.)

3.4 Varavoiman kustannukset

Varmennustasoa nostamalla saadaan turvattua sähkönjakeluhäiriön takia aiheutuvat taloudelliset tappiot tai henkilöturvallisuuden vähentyminen. Kustannusten ja varmennustason väliltä on löydettävä kompromissi. Riskien tunteminen ja niihin liittyvien seuraamusten ja kustannusten tiedostaminen ovat hyvänä lähtökohtana varmennustasoon sopivan investoinnin suunnitteluun.

Hankesuunnittelussa on arvioitava varavoiman aiheuttamat kustannukset kohteeseen sopivalla varmennustasolla. Riittävän tarkkaa suuntaa varavoiman investoinnin suuruuteen antaa kohteittain järjestelmille määriteltävä €/kW -budjettihinta. Hinnat määräytyvät järjestelmän tyyppin ja varmennustehon perusteella. Varmennusjärjestelmän tyyppiä

määrittellessä on otettava huomioon kohteen vaatimukset varmennettavista toiminnoista ja varmennustasoluokittelusta. Varmennettavan kuorman määrästä riittää arvio.

Hinta-arvion ei ole tarkoitus olla tarkka vaan korkeintaan suuntaa-antava. Varavoimajärjestelmien jatkuva hintatason muuttuminen ja tarvittavan tehon määrän vaikutus hintatasoon aiheuttavat hinta-arvioon epätarkkuutta. Seuraavana on listattu hintatiedustelujen ja puhelinhaastatteluiden perusteella muodostettu suuntaa antava hinnoittelu erilaisille varavoimajärjestelmille:

- staattinen UPS (10 minuutin akustolla) 250 €/kVA
- dynaaminen UPS 350 €/kVA
- CPS-järjestelmä 550 €/kVA
- dieselgeneraattori 150 €/kVA.

(5; 6; 7.)

3.5 Esimerkkikohteen esittely ja varavoiman tarpeen määrittely

Esimerkkikohteeksi valittiin kuvitteellinen, noin 5 000 m²:n kokoinen, päivittäistuotteita ja elintarvikkeita myyvä tavaratalo. Varavoiman tarpeen arviointi on hyvä aloittaa kohteen lähtötietoihin ja mahdollisesti jo tehtyyn riskikartoitukseen tutustumisesta. Sähkösuunnittelija voi täyttää riskienhallintakortin riittävien kohteen lähtötietojen perusteella. (Sähkökatkoksen riskin ja sen hallinnan käsittelevä riskienhallintakortti, ks. liite 2.)

Tavaratalokohteen riskikartoituksessa ilmenevät sähkökatkoksesta aiheutuvat seuraukset ja kustannukset luovat tarvetta jakeluverkon varmennukselle. Riskin toteutumisen todennäköisyyden ja seurausten takia päätetään hallita riski varavoimajärjestelmän avulla. Tarpeen arvioinnin jälkeen päätetään varmennuksen tasosta, ja sitä varten on hyvä tehdä taulukon 3 (seur. s.) tapaan varmennustason luokittelutaulukko.

Taulukko 3. Tavaratalon varmennustasoluokittelu

	Suojaustaso			Varakäyntiaika			Syöttö		Järjestelmä		
	Taajuus häiriö-suojaus	Jännite häiriö-suojaus	Katkoton	Automaattinen	Miehitetty	Jatkuva	UPS	Varavoima	Ei redundantti	Redundantti teholähde	Redundantti jakelu
atk-laitteet	x	x	x	4h	7vrk		x				x
Kassakoneet			x	4h	7vrk		x		x		
Kylmälaitteet					7vrk			x	x		
Poistoilma						x		x	x		
Savunpoisto						x		x			x

Tavaratalossa on atk-laitteita, joiden halutaan toimivan katkotta. Myyntiin ei haluta myöskään katkoksia, joten kassakoneet kuuluvat myös katkottoman sähkönsyötön piiriin. Kylmälaitteet, poistoilmakoneet sekä savunpoisto on myös varmennettava, jotta tavaratalon normaali toiminta voi jatkua.

4 Varavoimajärjestelmän valinta

4.1 Varavoimajärjestelmätyypit

Turvasyöttöjärjestelmällä taataan henkilöturvallisuudelle tärkeiden laitteiden toiminta sähkönsyöttöhäiriön aikana. Turvasyöttöjärjestelmä on yleensä rakennettu kiinteänä osana kyseessä olevaan järjestelmään, kuten turvalaistujärjestelmässä tai paloilmoinjärjestelmässä. Teholähteenä on usein akustot, joilta vaaditaan riittävän pitkää toiminta-aikaa. (4, s. 53 - 57.) Turvasyöttöjärjestelmät varmennetaan usein varavoimalla, jotta niiden varakäyntiaikoja saadaan pidennettyä. Tässä työssä keskitytään varavoimajärjestelmiin, joten turvasyöttöjärjestelmän suunnittelu on rajattu insinööri-työstä pois.

Varavoimajärjestelmällä tarkoitetaan syöttöjärjestelmää, jolla varmistetaan asenuksen tai sen osan toiminnan jatkuminen muista kuin henkilöturvallisuuteen liittyvistä syistä syötön keskeytyessä. Nämä järjestelmät voidaan jakaa kahteen eri osaluueeseen: katkoton sähkönsyöttö ja katkollinen sähkönsyöttö.

Katkoton sähkösyöttö toteutetaan UPS-järjestelmällä ja useimmiten staattiseen online tekniikkaan perustuen. Katkollinen sähkösyöttö soveltuu käytettäväksi kohteissa, joissa lyhyt sähkökatko ei ole haitaksi. Katkollisessa varmennusjärjestelmässä varmennusaika on myös pidempi jos varavoimateholähteenä käytetään generaattoria. (4, s. 57 - 58) Näitä järjestelmiä yhdistelemällä saadaan toteutettua myös hyvin erilaisiin kohteisiin mukautuvia varmennettuja sähköverkkoja.

Varmennettuja tasasähköverkkoja käytetään pääosin teleoperaattoreiden tietoliikenteen turvaamiseen. Akuston ja tasasuuntaajan lisäksi järjestelmässä on tarvittaessa varavoimala syötön turvaamiseksi pitkien sähkökatkosten ajaksi. (4, s. 58 - 59.) Varmennettujen tasasähköverkkojen suunnittelu on rajattu tästä insinööriyöstä pois.

4.2 UPS-laitteet

UPS-järjestelmät jakautuvat kahteen eri luokkaan: staattiset UPS:t ja dynaamiset UPS:t. Edellä mainituista ensimmäinen on Suomessa yleisesti varavoimajärjestelmissä käytössä.

4.2.1 UPS-järjestelmät

Dynaamisen UPS-laitteen perustana ovat samalle akselille kytketyt moottorigeneraattoriyhdistelmät, joissa järjestelmän lähtöjännite muodostetaan generaattorilla. Energiavarastona toimii pyörivän koneen lisäksi mahdollisesti huimamassa ja lisävarastona voidaan käyttää akustoa, jolla saadaan pidennettyä varakäyntiaikaa. Laitteiston etuina voidaan mainita galvaanisen erotuksen syntyminen teholähteen ja kuorman välille sekä hyvät jännitteen laadun ominaisuudet. Dynaaminen huimapyörää käyttävä järjestelmä sopii kohteisiin, joissa varavoimageneraattori saadaan käynnistymään riittävän nopeasti. (Dynaamisen UPS-laitteiston kytkentäesimerkki, ks. liite 3.)

CPS-järjestelmässä käytetään dynaamisen UPS-laitteen tapaan liike-energian varastointia. Pyörivän moottorigeneraattoriyhdistelmän lisäksi samalle akselille on kytketty varavoimakone. Järjestelmän syöttäessä verkkoa kaikki energia otetaan pyörivästä huimamassasta, jota varavoimakone kytkeytyy pyörittämään käynnistyttyään. CPS-laitteistolla saavutetaan katkeamaton sähkönjakelu sekä pitkäaikainen varmennus.

Laitteet ovat yksikkökooltaan 100 kVA:sta noin 2 000 kVA:iin asti. Järjestelmäteho kattaa varmennuksen aina 40 MVA:iin saakka.

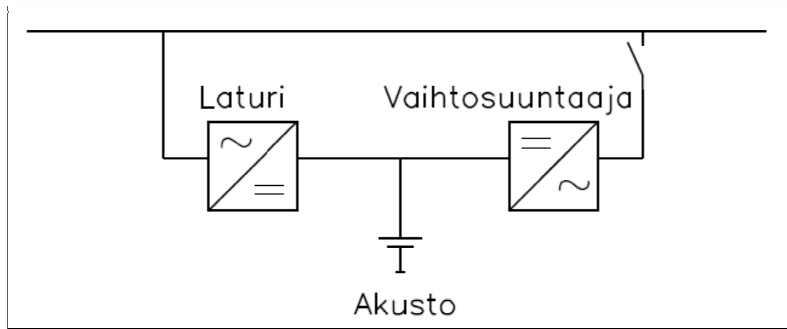
Nämä järjestelmät soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa vaaditaan hyvää sähkönlaatua, käytetään suurta varmennustasoa ja mahdollisesti koko kiinteistön kattavaa varavoimavarmennusta. CPS-järjestelmä sopii hyvin myös redundanttisia varavoimalaitteistoja vaativiin kohteisiin. (CPS-laitteiston kytkentäesimerkki, ks. liite 4.)

Staattisen UPS-laitteen toiminta perustuu vaihto- ja tasasuuntaukseen puolijohdesilloilla. Energiavarastona käytetään tasasähköllä ladattavia akustoja. Nykyään tasa- ja vaihtosuuntaussilta tehdään pääsääntöisesti transistoreilla aikaisempien diodi- ja tyristorisiltojen sijaan. (Varavoimakoneen ja dynaamisen tai staattisen UPS-laitteiston kytkentäesimerkki, ks. liite 5.)

Staattisia UPS-laitteita on saatavilla useilta valmistajilta erillisinä laitteina sekä modulaarisella rakenteella toteutettuna. Molemmissa laitteissa akusto voi olla sisäinen, samaan kaappiin sijoitettu tai ulkoinen. Yli 100 kVA:n UPS-laitteissa akusto on kuitenkin jo kokonsa takia pääsääntöisesti ulkoinen ja erillisesti sijoitettava. Modulaarisen UPS:n etuja ovat sen helppo ja kustannustehokas laajennettavuus sekä erillisten tehoyksikköjensä ansiosta redundanttinen toteutettavuus. Myös huollettavuus on modulaarisessa UPS-laitteessa erittäin hyvä, sillä yhden moduulin vikaantuessa tilalle voidaan korvata uudella. Samoin sisäisen akuston omaavan modulaarisen laitteen akusto voidaan vaihtaa kokonaan normaalin käytön aikana.

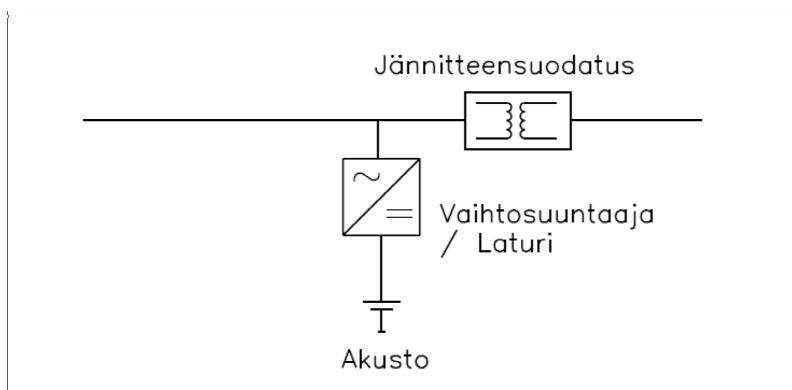
4.2.2 UPS-laitteistojen päätyypit

Stand-by UPS (*off-line*) ottaa verkkosyöttötilanteessa jännitteen verkosta ja syöttää sen suoraan tai suodattimen kautta kuormaan. Verkkojännitteen mennessä raja-arvojen ulkopuolelle kytkeytyy syöttö lyhyen kytkentäaikaviiveen kautta laitteen vaihtosuuntaajalle, jolloin sähköenergia otetaan akustosta. Kytkentäaikaviive on noin 2 - 10 ms. Vaihtosuuntaaja on oltava käynnissä jatkuvasti, jotta nopea kytkeytyminen on mahdollista. Verkkokäytössä lähtöjännite on riippuvainen verkon jännitteestä ja taajuudesta. (8, s. 29.) Tätä tekniikkaa on sovellettu pienissä, teholuokaltaan noin 150 - 3 000 VA:n UPS-laitteissa (4, s. 61).



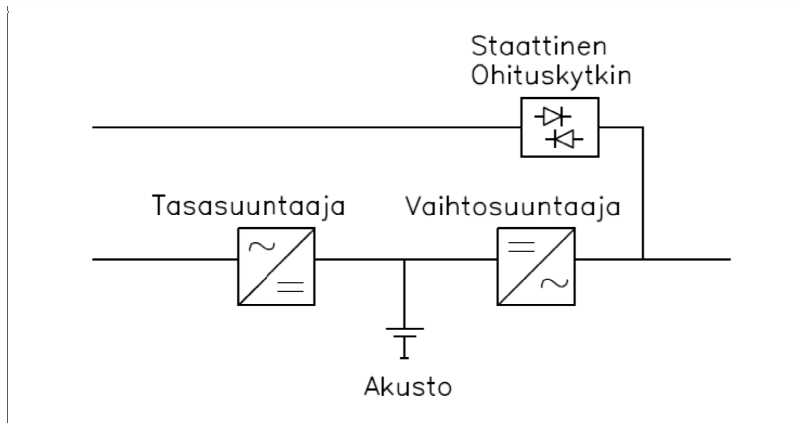
Kaavio 1. *Stand-by* -tekniikka

Linja-interaktiivisessa UPS-laitteessa (*off-line*) lähtöjännite ei ole riippuvainen syöttävän verkon jännitteestä. Lähdon taajuus on kuitenkin tulotaajuudesta riippuvainen kuten *off-line* -tekniikassakin. Verkkokäytöstä akkukäyttöön ja takaisin kytkeytyminen tapahtuu katkotta. Tekniikka käyttää yhtä muuttajasiltaa, joka toimii verkon normaalitilanteessa tasasuuntaajana ladataen akkuja ja verkkokatkon aikana vaihtosuuntaajana. (8, s. 29.) Tätä tekniikkaa on sovellettu tehoiltaan noin 3 kVA:n UPS-laitteisiin saakka.



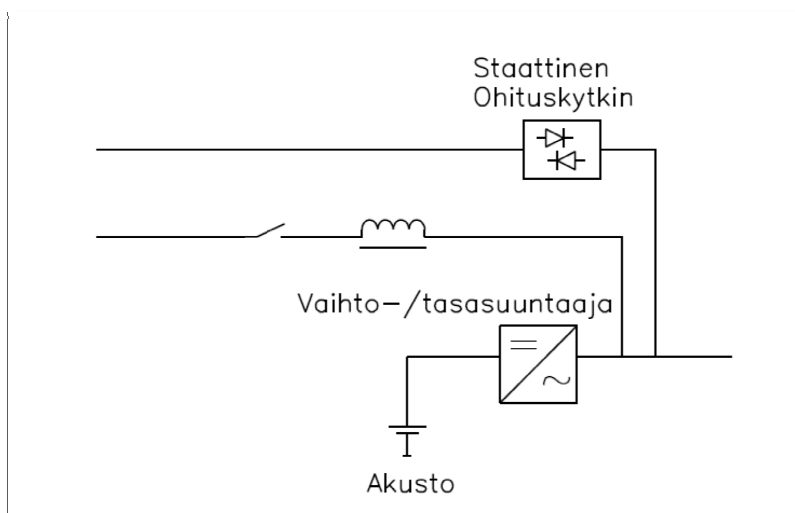
Kaavio 2. Linja-interaktiivinen *off-line* -tekniikka

Kaksoismuunnostekniikan UPS-laitteessa (*on-line*) verkkosyöttötilanteessa verkkosähkö tasasuunnataan ja vaihtosuunnataan ennen syöttöä kuormille. Kuormaa syötetään kaikissa tilanteissa vaihtosuuntaajan kautta, jolloin lähtöjännite ja taajuus ovat riippumattomia verkkosyötöstä. Akuston ja verkon kytkeytymiset eivät aiheuta katkoksia lähtöjännitteeseen. (8, s. 30.) Tämän lisäksi laitteistossa on yleensä staattinen ohituskytkin, joka siirtää UPS-laitteen vikatilanteessa syötön automaattisesti katkotta ohitussyötölle.



Kaavio 3. Kaksoismuunnostekniikka

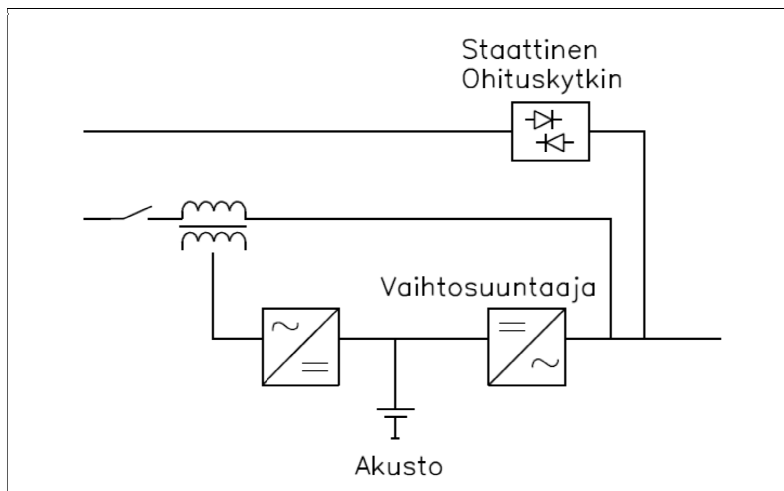
Yksimuunnostekniikan UPS (*line-interactive on-line*) on toteutettu 4-kvadrantti tehotransistorisillalla, joka pystyy siirtämään tehoa kumpaankin suuntaan tahansa. Vaihtosuuntaaja muodostaa aktiivisesti lähtöjännitteen kuten kaksoismuunnostekniikassakin, mutta pätötehoa ei tarpeettomasti tasasuunnata. Pätötehoilla ladataan tai vaihtoehdotisesti puretaan akustoa ja loisteholla ohjataan PWM tekniikalla muodostettua lähtöjännitettä. Näin ollen yksimuunnostekniikalla saavutetaan hyvä hyötysuhde ja tuloverkon sinimuotoisuus ei aiheuta yliaaltoja tuloverkkoon. (8, s. 30)



Kaavio 4. Yksimuunnostekniikka

Delta conversion on vielä yksimuunnostekniikasta kehittyneempi tekniikka, jossa päävaihtosuuntaajan rinnalla oleva deltavaihtosuuntaaja säätelee tulo ja lähtöverkon virran ja jännitteen vaihekulman samaksi. *Delta conversion* UPS ottaa siis

kuormituksestaan ja verkkojännitteestä riippumatta verkosta vain sinimuotoista pätötehoa. Sinimuotoinen pätöteho ei aiheuta verkkoon yliaaltoja eikä loistehon tarvetta.



Kaavio 5. *Delta conversion* -tekniikka

On-line -tekniikan yksittäiset UPS-laitteet ovat tehoiltaan 5 kVA:sta noin 1 MVA:iin asti. Yksittäisiä laitteita voidaan laitekohtaisten ominaisuuksiensa mukaan kytkeä rinnan, jolloin saadaan kasvatettua varmennustehoa useisiin MVA:eihin. *On-line* -tekniikka soveltuu hyvin myös varavoimageneraattorikäyttöön sen jännitteenlaatuominaisuuksien ansiosta.

Käytettävän UPS-järjestelmän ja -tekniikan valintaa voidaan yleensä määrittellä kuorman tehontarpeen perusteella. Myös verkon jännitteenvaihtelusta johtuvat häiriöt voivat aiheuttaa tarpeen tietynlaisen tekniikan valintaan.

UPS-varmennetussa verkossa sähkönlaatu on tasaisempaa. UPS-laitteisto suodattaa verkossa olevia häiriöitä ja kriittisimmät kuormat onkin hyvä siksi liittää UPS-varmennettuun verkkoon. Tyypillisiä kuormia ovat atk-konesalien palvelimet, joille voidaan suunnitella varavoimajärjestelmä hallittua alasajoa varten tai varavoimakoneella varmennettu järjestelmä jatkuvaa käyttöä varten.

4.3 Varavoimalaitos

Dieselmoottorin ja generaattorin yhdistelmällä saadaan turvattua pitkäkestoisenkin sähkönjakeluhäiriön aikainen sähkönsyöttö varmennetussa verkossa.

Diesलगeneraattori on yleisin toteutustapa täysin automaattisen varavoimalaitoksen varavoimateholähteenä. Polttomoottori ja generaattori on yhdistetty toisiinsa yleensä joustavan kytkimen avulla. Laitteisto on koottu yleensä lattialle teräspalkkialustan päälle. Generaattorin on rakenteeltaan yleensä harjaton kolmivaiheinen sisänapatahti-generaattori. (2.)

Ohjaus- ja valvontakojeisto käsittää myös suojaus- ja hälytyskojeet sekä mittauskojeet ja pääpiirin kojeet. Laitteet asennetaan lukittuun kaappiin ja sen saranoituun oveen. Laitteiden käyttö tulee olla mahdollista kaapin ovesta olevista kytkimistä ilman kojekaapin avaamista.

Ohjaus- ja valvontaosa on sijoitettava erilleen varavoimalaitoksen tehonsyötön kytkentätilasta kiinteällä väliseinällä tai tehonsyötön tilaan avautuvan oven taakse. Näin tehonsyötössä mahdollisesti vikatilanteessa tapahtuva oikosulku ei estä ohjauskojeiston käyttöä. Herkät ohjauslaitteet on suositeltavaa varustaa ylijännitesuojilla. Tällöin esimerkiksi salamaniskun aiheuttama verkon jännitetransientti ei riko ohjauslaitteita ja tee varavoimaa toimintakyvyttömäksi juuri vikatilanteen sattuessa. (9.)

(Generaattorin pääkavion malliesimerkki palo-osastoineen, ks. liite 6.)

Apujärjestelmiin kuuluu dieselmoottorin ja generaattorin yhdistelmään liittyvät välttämättömät toiminnot. Näitä toimintoja ovat käynnistysjärjestelmä, dieselin ulkopuolinen polttoainejärjestelmä, jäähdytysjärjestelmä, pakoputki ja mahdollinen palamisilmaputki, varavoimahuoneen ilmastointijärjestelmä ja tilan palosammutusjärjestelmä. Lisätietoa apujärjestelmistä on ST-käsikirjassa 31: 4.4. (Sähkösuunnitteluun kuuluvat järjestelmät ja niiden mitoitus, ks. 5.)

4.4 Varavoimateholähteen ohituskytkimet

Staattinen ohituskytkin on tehoelektroniikalla toteutettu useimmiten UPS:n sisälle rakennettu kytkin. Usein tyristöreilla toteutettu kytkin kykenee siirtämään kuorman

automaattisesti ja katkotta ohitusyötölle. Ohitusyötölle on tarvetta ylikuormitus- tai vikatilanteessa, jolloin tarvitaan suurempia virtoja kuin UPS-laitteisto kykenee syöttämään. Ohituskytkin voi ohjata syötön esimerkiksi verkkosyötölle sen ollessa saatavana tai generaattorisyötölle. UPS-laitteiston on oltava tahdistettuna verkko- tai

generaattorijännitteeseen, jotta kuorman siirto ohituskytkimellä on mahdollista. Automaattisen toiminnan lisäksi ohituskytkimen tulee toimia myös käsiohjauksella.

Huoltokytkimellä UPS-laitteisto tai generaattori voidaan ohittaa erottamalla se verkosta kokonaan. Varmennettu kuorma ei jää ilman syöttöä, vaan saa syötön huolto-ohituksen kautta suoraan verkosta. Huolto-ohituskytkin voi olla laitteistoon sisäänrakennettu tai ulkoinen erillinen ohituslinja. (Huolto-ohituksen toteutuksesta esimerkki generaattorin mallipääkaaviossa, ks. liite 6.)

4.5 Varavoimateholähteet

Teholähteen valinta riippuu varmennettavan kuorman kyvystä kestää sähköjakelun katkoksia sekä vaaditusta varmennusajasta. Mikäli kuorma ei kestä sähkökatkosta ja se halutaan katkeamattoman sähkönsyötön piiriin, on varmennus toteutettava UPS- tai CPS-järjestelmällä. Teholähteitä voidaan yhdistellä erilaisiksi yhdistelmiksi, jolloin varvoimajärjestelmälle saadaan tarvittavat varmennusominaisuudet. On hyvä kuitenkin muistaa järjestelmän selkeyden tärkeys, sillä liian monimutkaisesti suunniteltu ja toteutettu järjestelmä ja sen ohjaus laskevat varavoiman käyttövarmuutta.

Usein käytetty yhdistelmä on staattisen UPS-järjestelmän liittäminen dieselgeneraattorivarmennukseen. Näin saadaan kriittisille laitteille katkeamaton sähkönsyöttö hyvällä jännitteen laadulla sekä muille lyhyen katkon salliville laitteille varmennus pitkällä toiminta-ajalla. Samalla taloudellisuus korostuu rajoittamalla kalliimman UPS-järjestelmän koko vain sitä tarvitseville laitteille ja suuremman kuorman varmentaminen tehoyksikkökustannukseltaan halvemmalla dieselgeneraattorilla.

4.5.1 Varavoimageneraattori

Varvoimulaitoksen avulla voidaan varmistaa sellaiset kuormat, jotka sallivat useampien sekuntien sähkökatkoksen. Automaattisesti käynnistyvä varvoimajärjestelmä on

yleisempi kuin käsin käynnistettävä toteutustapa. Varavoimakoneen käynnistys ja täyden kuormanottokyvyn saavuttaminen voi kestää noin kymmenestä sekunnista muutama minuuttiin. Joskus käynnistysyrityksiä tarvitaan useita, jos varavoimalaitos ei käynnisty ensimmäisellä yrityksellä.

4.5.2 Varavoima-akustot

Varavoimajärjestelmässä käytettävässä akustossa sähköenergia varastoidaan sähkökemiallisiin kennoihin. Avoimia akkukenoja käytettäessä on oltava käytettävissä erillinen akkuhuone. Suljettuja akkuja voidaan tarvittaessa sijoittaa jopa toimistotiloihin. Tyypillisesti UPS-akustot sijoitetaan kuitenkin aina niille tarkoitettuun tilaan tai laitetypistä riippuen jopa UPS-laitteen sisään.

Nykyaikaisissa UPS-laitteissa on akuston valvonta- ja ohjauslaitteet, joiden avulla akustojen elinikä pitenee huomattavasti. Akuston kapasiteetin laskiessa tiettyyn raja-arvoon, saadaan automaattisesti ilmoitus akuston uusimisen tarpeesta. Akustohuoneen suunnittelussa ilmastointiin pitää kiinnittää erityisesti huomiota, sillä se vaikuttaa suoraan akuston käyttöikäen.

Avoimien akustojen käyttö on vähentynyt UPS-laitteiston akustona sen suuren tilantarpeen ja lyhyillä ajoilla huonon purkautumiskyvyn takia. Avoimet akustot tarvitsevat aina oman akustotilan ja riittävän ilmanvaihdon latauksessa syntyvän typpikaasun takia. Käytetyimpiä avoimia akkuja ovat lyijyakut ja kalliimmat, paremmin lämpötilavaihteluita kestävät, nikkeli-kadmiumakut. Hyviä puolia avoimilla lyijyakuilla on luotettavuus ja yli 10 vuoden käyttöikä.

Suljetut akustot eivät tarvitse erillistä akkuhuonetta ja ovat huoltovapaita. Suljetut lyijyakustot soveltuvat erittäin hyvin UPS-käyttöön hyvän tehotehokäytön, kapasiteetin ja lyhyen purkausajan ansiosta. Akut voi asentaa akkukaappiin tai UPS:n sisään.

Käytetyimmät akkutyyppit ovat 5 ja 10 vuoden akku. Suuremmilla tehoilla ja varakäyntiajoilla käytetään usein 10 vuoden akkuja (10). Lyijyakut on luokiteltu eliniän mukaan Eurobat-luokituksessa seuraavasti (sulkuihin kirjattu luokitusryhmän nimi):

- 3 - 5 vuotta (Standard Commercial)
- 6 - 9 vuotta (General Purpose)
- 10 - 12 vuotta (High Performance)
- 12+ vuotta (Long Life).

Suljetun lyijyakun ympäristön lämpötila on hyvä olla vakaa, noin 20 astetta, sillä 10 asteen jatkuva lämpötilan nousu puolittaa akun eliniän. Lämpötilan lasku taas pienentää akkujen kapasiteettia. Lämpötilavaihtelun tulisi pysyä akun eri kohdissa 3 - 5 asteessa. (4, s. 84 - 85.)

4.6 Varavoiman teho ja varmennusaika

Teholähteiden tehoa määritettäessä käytetään pohjana luvussa 3 käsiteltyä varavoiman tarpeiden määrittelyä. Varmennustasoluokittelusta (taulukko 3, s. 8) saadaan varmennusajan määrittelyyn ja varmennuksen tyyppiin tarvittavat tiedot. Lisäksi tarvitsee laskea varmennettavien toimintojen ja mahdollisten muiden järjestelmien vaatima kokonaistehontarve.

Varavoimakonetta mitoitettaessa on otettava huomioon mahdollisen UPS-järjestelmän vaatima ylimitoitustarve, joka varsinkin vanhoissa UPS-järjestelmissä voi olla todella suuri. Kuormasta riippuen myös varavoimakoneen yhtäkkinen kuormanottokyky ja vaikutukset sähkönlaatuun on huomioitava. (UPS-järjestelmien vaatimat ylimitoitustarpeet, ks. 5.4.)

Varmennusaika tarkoittaa järjestelmän kykyä syöttää kuormaa ilman normaalia verkosyöttöä. Varmennustasoa määritellessä päätetään kuorman vaatima varmennusaika. Eräänä raja-arvona voidaan pitää lyhytaikaisella varmennusajalla 40 - 50 kVA:n tehoa ja noin 10 minuutin akustoa. Pitkällä varmennusajalla taloudellisista syistä johtuen varavoimalaitoksella toteuttamisen raja-arvona voidaan pitää yli 50 kVA:n tehoa ja yli 30 minuutin varmennusaikaa. (4, s. 90.)

4.7 Varavoiman redundanttisuus

Redundanttisessa varavoimajärjestelmässä on esimerkiksi $n+1$ yksikköä, josta n yksikköä riittää syöttämään järjestelmälle mitoitettun kuorman. Redundanttisessa järjestelmässä varmennuksen luotettavuus on parempi kuin ei-redundanttisessa järjestelmässä, sillä yhden yksikön vioituessa se voidaan huoltaa ilman varmennustason laskua. 100 %:n käyttövarmuus vaatii vähintään teholähteen redundanttisen toteutuksen.

Myös jakeluverkko voidaan tehdä redundanttiseksi kahdentamalla se osittain tai kokonaan. Suurta varmennustasoa haettaessa myös koko varavoimajärjestelmä varavoimateholähteineen voidaan kahdentaa. Jos järjestelmästä ja sen ohjauksesta tulee tämän takia liian monimutkainen, alentaa sekin osaltaan käyttövarmuutta. Huollon ajaksi varavoimalalle voidaan myös järjestää esimerkiksi vuokraamalla varasyöttölähde, mikä on usein taloudellisempaa kuin varavoimateholähteen kahdentaminen.

Redundanttinen toteutustapa voidaan valita riskiarvion pohjalta. Riskiä ja siitä mahdollisesti aiheutuvia kustannuksia verrataan redundanttisen järjestelmän investointi- tila- ja käyttökustannuksiin.

4.8 Varavoimalaitteiden laitetilat

Laittilojen sijoitukset ja tilanvaraukset on mietittävä jo suunnittelun alkuvaiheessa. Oikeanlaisilla laitetoilla voidaan jopa parantaa varavoimajärjestelmän käyttövarmuutta. Varavoimajärjestelmän aiheuttamat paino- ja lämpökuormitukset tulee ilmoittaa rakenne- ja LVI-suunnittelualan suunnittelijoille.

Varavoimalaitos sijoitetaan yleensä pääkeskuksen läheisyyteen. Toinen vaihtoehto on sijoittaa varavoimalaitos varmistetun kuorman läheisyyteen, kuten esimerkiksi IV-konehuoneeseen. Hajautettu sähkönjakelu palvelee hyvin tilanteessa, jossa tuho, esimerkiksi tulipalo, sattuu lähellä toista sähkönjakelupistettä. Tuhon sattuessa vaarantuu näin vain toinen sähkönjakelu.

Ilmanvaihdon ja varavoimalaitoksen asennuksen kannalta helpointa on sijoittaa laitetoila niin, että siinä on ainakin yksi ulkoseinä. Kone on helpoin tuoda sisään 1. maanpäälliseen kerrokseen. Nostamalla pakoputki tarpeeksi korkealle ei pakokaasuista muodostu

haittaa katutasoon. (2, s. 27, 73 - 74.) Varavoimakoneen aiheuttama lämpökuorma laitetilaan on karkeasti arvioituna 30 % generaattorin sähkötehosta (9).

UPS-laitetilalla on samat vaatimukset kuin sähköpääkeskustilalla. UPS-laitteet kuitenkin on suositeltavaa sijoittaa omaan tilaan, missä ei ole muuhun sähkönjakeluun liittyviä laitteita tai asennuksia.

Laitteiden lämpökuorma on noin 4 - 8 % läpimenevästä tehosta, mikä pitää huomioida ilmanvaihdossa. Akustotilan mitoitus- ja ilmanvaihtovaatimukset ovat standardissa SFS-EN 50272-2. Jos varavoimavarmennetun sähkönjakelun varmennusaika on pitkä, tulee laitetilan jäähdytys liittää myös varavoimajakeluun. Jäähdytyslaitteet on hyvä sijoittaa UPS-laitetilan välittömään läheisyyteen erilliseen huoneeseen, jolloin jäähdytyksen huollot ja viat tapahtuvat tilan ulkopuolella. (3, s. 12.)

4.9 Varavoimajärjestelmän huolto ja ylläpito

Varavoimajärjestelmän hyvän käyttövarmuuden kannalta on erittäin oleellista huolehtia laitteiston huollon ja ylläpidon toimivuudesta. Järjestelmälle tulee suorittaa koekäyttö ja määräaikaistarkastukset, jotta käyttövarmuus ei pääse laskemaan. Tehtävään nimitetään vastuhenkilö, jonka pätevyys ja tehtävään opastus suoritetaan sähkötyöturvallisuusstandardin SFS 6002:n mukaan. (2, s. 111.)

Kiinteistön normaalilla huoltohenkilöstöllä ei ole riittävää erikoisosaamista laitteiston huoltoon. Suunnitteluvaiheessa laitevalintoja tehtäessä on hyvä varmistaa, että varavoimajärjestelmän huoltoon ja ylläpitoon liittyvää teknistä tukea on saatavilla myös vuosien kuluttua. Sähkösuunnittelija voi tilaajan toiveen mukaan huolehtia huolto- ja ylläpitosopimuksen solmimisesta varavoimasuunnittelun yhteydessä.

Koekäyttö suoritetaan halutusta käyttövarmuusvaatimuksesta riippuen sopivin väliajoin, jotta laitteiston käyttövarmuus saadaan pidettyä halutulla tasolla. Generaattorin koekäyttö on hyvä tehdä 1 - 4 viikon välein asetetun käyttövarmuusvaatimuksen mukaan. Koekäytön on kestettävä vähintään 30 - 45 minuuttia, jotta laitos ehtii lämmetä käyttölämpötilaan. Tyhjäkäynti ei ole hyväksi dieselmoottorille, joten kuormituksen tulisi olla vähintään $\frac{1}{4}$ nimelliskuormasta. (2, s. 113 - 114.)

Erityiskohteille koekäyttöjen aikavälit ja muut standardit on esitetty kyseessä olevalle kohteelle tehdyissä SFS-standardisarjan julkaisuissa. Esimerkiksi sairaala- ja lääkintäilojen sähköasennusmääräykset ja toimintakokeiden jaksotus on esitetty standardissa SFS 6000-7-710. Edellä mainitussa standardissa vaadittu varavoimajärjestelmän suorituskykykoe soveltuu käytettäväksi muissakin kohteissa vuoden välein. Sähkönlaatumittaus on hyvä suorittaa samalla mahdollisten muutosten vaikutusten ja yliaaltopitouksien tarkastelun takia.

Määräaikaistarkastukset varavoimajärjestelmälle on hyvä suorittaa esimerkiksi kolmen vuoden välein. Määräaikaistarkastukseen sisältyy teknistä tarkastusta ja dokumenttien tarkastelua. Kohteen laajuudesta riippuen tarkastus voidaan suorittaa myös pistokoeluonteisesti. (2, s. 114.)

Voimassa olevat sähköturvallisuutta koskevat säädökset ja määräykset (KTMp 1996/517) määrittelevät enimmäisvälit laitteistojen määräaikaistarkastuksille. Usein käytössä olevien ja toiminnan kannalta tärkeiden sähkölaitteiden määräaikaistarkastukset on kuitenkin syytä suorittaa enimmäisväliä useammin, jotta käyttövarmuutta saadaan entisestään parannettua.

Huolto tehdään käyttötuntien mukaan. Tyypillinen huoltoväli voi olla esimerkiksi 300 käyttötuntia, jolloin maahantuoja, huoltoliike tai asiakas itse suorittaa huollon. Jos laitteelle ei kerry käyttötunteja, suoritetaan määräaikaishuolto määrätyn kalenteriajan tultua täyteen. (2.)

(Käyttö- ja huolto-ohjekansioon kuuluvat dokumentit, ks. 2.4.)

4.10 Esimerkkikohteen varavoimajärjestelmän valinta

Tässä luvussa varavoimajärjestelmän valinta käydään läpi malliratkaisuesimerkin avulla. Esimerkkikohteena toimii edellisessä kappaleessa jo esitelty tavaratalo.

Varmennuksen tyyppi on varavoimajärjestelmä, sillä siihen ei suoranaisesti liity henkilöturvallisuuteen kuuluvia järjestelmiä. Paloilmoitusjärjestelmä on varmennettu omalla akustollaan paloilmoituskeskuksesta. Varmennettuja tasasähköverkkoja ei

varmennuksen piiriin kuulu. Kohteen varmennustaso on melko korkea, sillä toiminnan halutaan jatkuvan normaalisti sähkökatkoksen sattuessa.

Varavoiman tarpeen määrittelyssä tehdyn varmennustasoluokittelutaulukon (taulukko 3, s. 8) mukaan katkottoman sähkönjakelun piiriin kuuluvat kassakoneet ja atk-laitteisto. Lisäksi katkottoman sähkönsyötön piiriin valitaan seuraavat laitteet:

- kassahihnamoottorit
- osa valaistuksesta
- asiakasportit ja ovikojeet.

Nämä laitteet luovat tarpeen katkottomalle varmennukselle, mitä varten varavoimajärjestelmään valitaan UPS-laitteisto. Varmennettava laitteisto ei tarvitse suurta tehoa toimiakseen, joten valitaan käytettäväksi staattinen UPS. UPS-järjestelmän tyypiksi valitaan kaksoismuunnostekniikalla toteutettu on-line UPS. Tällöin kassakoneet ja muut varmennukseen liitetyt laitteet pysyvät päällä akuston kytkeydyttyä varavoimakäytölle sekä verkon kytkeytyessä takaisin. Kaksoismuunnostekniikalla saadaan toteutettua myös hyvä jännitteen laatu atk-laitteistolle.

Pidempää varmennusaikaa vaativat pakastejärjestelmät, savunpoistojärjestelmät ja ilmanvaihto luovat tarpeen myös varavoimakoneen käyttöön varavoimajärjestelmän tehölähteenä. Loput valaistukset voidaan myös kytkeä aggregaattivarmennettuun verkkoon, jotta liiketoiminta voi jatkua normaalisti pidemmänkin sähkökatkoksen aikana. Dieselgeneraattori on ominaisuuksiltaan sopiva varavoimakone kohteeseen.

Molemmat varavoimateholähteet on suositeltava sijoittaa omiin laitetiloihinsa. Generaattorin laitetilan valinnassa on hyvä ottaa huomioon generaattorin toimitus asennuspaikalleen ja pakoputkiston sijoitus.

5 Varavoimajärjestelmän mitoitus

5.1 Varavoimalla varmennettavat kuormitukset

Kun varmennettavat kuormat ja verkon rakenne on selvitetty sekä varavoimajärjestelmä valittu, voidaan alkaa laskemaan varavoiman mitoitusta. Tässä luvussa käydään läpi UPS-laitteiston ja varavoimakoneen mitoitukseen liittyvät asiat.

5.2 UPS:n mitoitus

Kun järjestelmällä halutaan varmistaa sähkölaitteiston turvallinen alasajo, riittää normaalisti 10 minuutin varakäyntiaika. Varmennettujen laitteiden huipputehot lasketaan yhteen ja muutetaan näin saatu kokonaisteho laitteiston tyyppistä riippuvan tehokertoimen avulla näennäistehoksi. Esimerkiksi IT-laitekuormalla tehokerroin sijoittuu välille 0,7 - 0,98 riippuen laitteiden iästä (uusissa laitteissa korkea tehokerroin). Ohessa ABB:n julkaisema taulukko (4) tyypillisistä tehokertoimista ja loistehon tarpeista.

Taulukko 4. Tyypillisiä tehokertoimia (8.)

Kuorma	$\cos \varphi$ tehokerroin [W/VA]	$\tan \varphi$ loistehon tarve [v_{ar}/W]
Moottorit	0,7 - 0,85	1,0 - 0,62
Loisteputkivalaisimet		
• kompensoidut	0,5	2
• kompensoimattomat	0,9	0,5
Tyristorikäytöt	0,4 - 0,75	2,3 - 0,9
Resistiivinen kuorma	1	0

Hyvään hyötysuhteeseen päästään mitoittamalla UPS-laite niin, että kuormitus normaalisti ei olisi 80 % enempää nimellistehosta, mutta kuormitusaste olisi kuitenkin vähintään 40 % (8).

Varavoimakoneella varmennetun UPS-laitteen akuston kapasiteetin ei tarvitse olla yhtä suuri kuin käytettäessä UPS:n teholähteenä pelkästään akustoa. Akuston varmenusajan ei tarvitse kattaa enempää kuin varavoimakoneen käynnistämisen ja riittävään

kuormituskykyyn saattamisen vaatima aika. Muutama epäonnistunut varavoimakoneen käynnistysyritys ei vielä vaaranna UPS-varmennettuja kuormia.

5.3 Dieselgeneraattorin mitoitus

Sähkösuunnittelijan tehtävä varavoimakonetta mitoittaessa on itse varavoimakoneen tehon mitoittamisen lisäksi varmistaa automaattisen poiskytkennän toiminta varavoimaa käytettäessä. Yleensä dieselgeneraattorin oikosulkuvirta on noin kolminkertainen koneen nimellisvirtaan nähden. Oikosulkuvirran riittävyys on tarkistettava, jotta selektiivisyys saadaan toimimaan halutulla tavalla. Joissakin tilanteissa tarvittava oikosulkuvirran suuruus voi olla määräävä tekijä dieselgeneraattorin mitoituksessa. Yleensä varavoimakone mitoitetaan tehontarpeen mukaan.

UPS-järjestelmää syöttävän generaattorin mitoitus riippuu UPS:n koon lisäksi sen tasasuuntaajan rakenteesta johtuvasta harmonisesta säröstä. FinGenin ohjeen mukaan tasasuuntaajan tyyppille ominainen mitoituskerroin muodostuu seuraavasti:

- 6-pulssinen tasasuuntaus, THDi = 28 %, k = 2,5
- 12-pulssinen tasasuuntaus, THDi = 12 %, k = 1,8
- 12-pulssinen tasasuuntaus harmonisten yliaaltojen suodattimella, THDi = 10 %, k = 1,7
- IGBT-tasasuuntaaja, THDi < 3 %, k = 1,5.

UPS-järjestelmää syöttävän varavoimakoneen mitoitus on siis syytä olla nimellisteholtaan kaksoismuunnostekniikalla vähintään 2 - 2,2 kertaa suurempi ja yksimuunnostekniikalla 1,5 kertaa suurempi. (9.)

Yleisesti ottaen 160 kVA:iin asti käytetään IGBT-tasasuuntausta. 200 - 500 kVA:n staattisissa UPS-laitteissa käytetään 6- tai 12-pulssityristoritasasuuntausta. Harmonisen kokonaissärön vaikutusta voidaan tarvittaessa pienentää yliaaltojen suodattimilla. Tyristorisilta tuottaa paljon erityisesti 5. yliaaltoa. Passiivisuodatinta käytettäessä on varmistettava, ettei se pääse ylikuormittumaan verkkoon liitettyjen muiden yliaaltolähteiden vaikutuksesta (8). Tulolinjaan ennen suodatinta kytketyllä kuristimella voidaan pienentää ylikuormitusvaaraa, sillä oikein mitoitettuna se estää muualla verkossa

aiheutettujen yliaaltojen pääsyn suodattimelle. Jännitteen harmonisen särön ja yliaaltojen laskemiseen, vaimentamiseen ja kompensointiin on ohje ST-käsikirjassa 20: 5.7.

5.4 Erityisesti huomioitavat kuormat ja häiriölähteet

Varavoimajärjestelmän sähkönlaatuun on kiinnitettävä huomiota. Standardin SFS-EN 50160 mukaiset sähkönlaatuvaatimukset on tarkoitettu sovellettavaksi jakeluverkon jännitteeseen, joten se ei suoraan sovellu varavoiman jännitteen standardointiin. Pääkohdittain varavoimalta vaaditun sähkönlaadun määrittely tapahtuu riskikartoituksen yhteydessä. Sähkön saatavuus, jakelun luotettavuus ja jännitteen ominaisuudet ovat keskeisiä osa-alueita sähkön laatua tarkastellessa.

Moottorit on erityisesti otettava huomioon kuormana niiden käynnistysvirran takia. Oikosulkumoottorin käynnistysvirta on noin 6 - 7 kertaa sen nimellisvirta. UPS-laitteisto pystyy tyypillisesti syöttämään noin 1,5-kertaista nimellisvirtaa 5 sekunnin ajan. Tästä johtuen UPS-varmennettuun verkkoon voidaan kytkeä sellaisenaan moottori, jonka nimellisvirta on vain noin yksi viidesosa UPS:n nimellisvirrasta.

Varavoimakoneen syöttäessä verkkoa oikosulkumoottorin käynnistysvirta saa olla enintään varavoimakoneen nimellisvirran suuruinen. Tämä kuitenkin vain jos verkossa on sallittu enintään 15 %:n hetkellinen jännitteenalenema.

Varavoiman perässä käytettävien oikosulkumoottorien käynnistysvirtaa on syytä pienentää, mikäli ne ovat lähellä edellä mainittuja raja-arvoja. Tapoja käynnistysvirtojen rajoittamiseen:

- muuntaja/kuristin $I_s = 2.5 - 4 * I_n$
- tähti-kolmiokytkentä $I_s = 2.5 * I_n$
- pehmökäynnistin $I_s = 1.5 - 3 * I_n$
- taajuusmuuttaja $I_s = I_n$,

jossa I_s on käynnistysvirta ja I_n on moottorin nimellisvirta. (4, s. 104.)

Tietokoneiden tehollähteet aiheuttavat paljon 3. ja 5. yliaaltoa. Yliaallot voivat summautumalla aiheuttaa ylikuormituksen nollajohtimeen. Tällöin nollajohdin on mitoitettava suuremmaksi tai yliaaltopitoisuuksia on suodatettava pienemmäksi. Parempi vaihtoehto on sähkön laatua parantava yliaaltopitoisuuksien suodattaminen.

Muuntajan verkkoonkytkennässä esiintyy moottorin käynnistysvirran tapainen hetkellinen virtapiikki. Tavallisella muuntajalla kytkentävirtasysäys on noin 10-kertainen nimellisvirtaan nähden. Muuntajan kytkentävirtasysäystä voidaan pienentää ajastamalla kytkentä oikeaan vaihekulmaan. Jos muuntajia on useampia, tulee ne kytkeä varavoimaverkkoon porrastetusti. Varavoimakoneella verkkoa syötettäessä on hyvä säätää alijännitelaukaisun asettelu hidastetulle laukaisulle muuntajan kytkeytyessä verkkoon.

5.5 Varavoimajärjestelmän kaapelointi

Kaapelit on mitoitettava standardien mukaisesti. Kaapeleiden mitoitukseen käytettävät asennustapakohtaiset kuormitettavuustaulukot on esitetty D1-2009 käsikirjan luvussa 523. (Esimerkkikohteen kaapeleiden mitoitus D1-2009:n tapaan, ks. 6.5.)

Kaapelia suojaavan suojalaitteen on toimittava ennen kuin johtimet saavuttavat suurimman sallitun rajalämpötilan. Tämä ehto täyttyy, kun suojaus toimii vähintään standardin SFS 6000 luvun 434.5.2 yhtälön (1) sallimassa ajassa (11).

$$t_k = \left(\frac{k \cdot A}{I_k} \right)^2, \quad (1)$$

jossa t_k on oikosulun suurin sallittu kesto, k on johdinkerroin, A on johtimen pinta-ala (mm^2) ja I_k on oikosulkuvirran suuruus.

Johdinkertoimet on esitetty standardisarja SFS 6000:n taulukossa 43A. Seuraavassa taulukossa (5, seur. s.) esitetään kyseiset k -arvot. Kyseinen arvo määräytyy johtimessa käytetyn eristeen, johdinmateriaalin ja johtimen paksuuden perusteella.

Taulukko 5. Kertoimen k arvot vaihejohtimille (12.)

	Johtimen eristys					
	PVC ≤ 300 mm ²	PVC ≥ 300 mm ²	EPR/PEX	Kumi 60 °C	Mineraali	
					PVC:llä päällystetty	paljas
Alkulämpötila °C	70	70	90	60	70	105
Loppulämpötila °C	160	140	250	200	160	250
Johtimen materiaali						
Kupari	115	103	143	141	115	135/115
Alumiini	76	68	94	93	-	-
Tinalla juotetut kuparijohtimien liitokset	115	-	-	-	-	-

Edellä mainittua yhtälöä voidaan käyttää silloin, kun oikosulun kesto on enintään viisi sekuntia. Tässä ajassa lämmön siirtymistä ympäristöön ei tarvitse ottaa huomioon. Pidempikestoilla oikosuluilla on otettava huomioon kaapelin ympäristöön luovuttama lämpö, mikä vaikeuttaa mitoituksen laskemista.

Mitoitus voidaan myös tarkistaa valmistajien antamien käyrästöjen ja taulukoiden avulla. Usein kaapelinvalmistajilla on tarjolla oikosulkusuojuukseen kaapeleille ominaiset käyrästöt ja taulukot.

5.6 Esimerkkikohteen mitoitus

Mitoituksen ensimmäinen askel on laskea varmennettuihin verkkoihin kuuluvien kuormien tehot. Taulukossa 6 (seur. s.) esitetään tavaratalon UPS-varmennettujen kuormien teholaskelma. UPS-varmennettaviksi kuormiksi on valittu kyseiseen tilaan keskitetty atk-laitteisto, kassajärjestelmä sekä osa valaistuksesta. Toiminnan halutaan siis jatkuvan keskeytymättömänä normaalin sähkönsyötön häiriötilanteessa.

Taulukko 6. UPS-varmennetut kuormat

UPS varmennus		Huipputeho [kW]	$\cos \varphi$
atk-laitteisto		10	0,8
Kassahihnamoottorit		10	0,8
Kassakoneet		5	
Valaistus 1.krs R1	3 W / m ²	15	0,9
Asiakasportit		1	
Ovikojeet		1	
Yhteensä		42	
Tasauskerroin		0,85	
Tasauskerroin huomioituna		35,7	

Taulukossa 6 on laskettu tavaratalon UPS-varmennuksen huipputehoksi 42 kW ja tasauskerroin huomioituna 36 kW. Lasketaan seuraavaksi kuorman näennäisteho taulukon 4 (s. 22) mukaan määritellyillä tehokertoimilla. UPS-laitteiston kuormasta tietokone-laitteet, valaistus ja kassahihnamoottorit luovat loistehontarvetta, joten lasketaan niiden näennäistehot seuraavalla yhtälöllä (2):

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}, \quad (2)$$

jossa S on näennäisteho, P on pätöteho ja $\cos \varphi$ on tehokerroin.

Esimerkkilaskuna kassahihnamoottorien näennäisteho yhtälöä 2 käyttäen:

$$S = \frac{10 \text{ kW}}{0,8} = 12,5 \text{ kVA}$$

Kassahihnamoottorien ($\cos \varphi = 0,8$) näennäisteho on 12,5 kVA, tietokone-laitteiden ($\cos \varphi = 0,8$) näennäisteho 12,5 kVA sekä valaistuksen ($\cos \varphi = 0,9$) näennäisteho 16,7 kVA.

Kuorman kokonaisnäennäistehoksi saadaan 48,7 kVA ja tasauskerroin huomioituna 41,4 kVA. Lisätään UPS-laitteiston mitoitukseen 20 %, jotta päästään hyvään

hyötysuhteeseen. Tämän lisäksi lisätään vielä 20 % laajennusvaraa. Lasketaan UPS-laitteiston laskennallinen mitoitus-teho.

$$S = 41,4 \text{ kVA} * 1,2 * 1,2 = 59,6 \text{ kVA}$$

Valitaan UPS-laitteiston mitoitus-tehoksi 60 kVA. Akuston kapasiteetin ei tarvitse olla kovin suuri, sillä pidemmässä sähkökatkoksessa varavoimakone tulee mukaan syöttämään varmennettua verkkoa ja UPS-laitteistoa. Esimerkin UPS-laitteistolle riittää 10 minuutin akusto. Muutama varavoimakoneen epäonnistunut käynnistysyritys ei tällöin vielä vaaranna UPS-varmennettuja kuormia.

Taulukko 7. Generaattorin kuormat

Generaattorivarmennus		Huipputeho [kW]	<i>cos φ</i>
Valaistus 1.krs R2 – R4	12 W / m ²	60	0,9
Kulunvalvonta		1	
Turvajärjestelmä		1	
Savunpoisto		40	0,75
Pakastejärjestelmä		60	0,75
Pakastejärj. lauhduttimet		6	
IV-koneet		60	0,75
LVI-pumput		12	
Kylmäkoneet		160	0,75
Jäähdytyslaitteisto		10	
Yhteensä		405	
Tasauskerroin		0,75	
Tasauskerroin huomioituna		303,75	

Generaattorivarmennetun kuorman (taulukko 7) laskettu huipputeho on 405 kW ja tasauskerroin huomioituna 304 kW. Generaattorin kuormien näennäistehot lasketaan taulukon 4 mukaisilla tehokertoimilla. Generaattoriin on kytketty paljon loistehontarvetta synnyttäviä kuormia, joten näennäisteho on oletettavasti huomattavasti pätötehoa suurempi. Näennäisteho lasketaan yhtälöllä 2 (edell. s.).

Valaistuksen näennäistehoksi ($\cos \varphi = 0,9$) saadaan 66,7 kVA, savunpoiston ($\cos \varphi = 0,75$) näennäisteho on 53,3 kVA, IV-koneiden ($\cos \varphi = 0,75$) näennäisteho 80 kVA, pakastejärjestelmän ja kylmäkoneiden ($\cos \varphi = 0,75$) näennäisteho on 293,3 kVA.

Generaattorivarmennetun verkon kokonaisnäennäistehoksi saadaan nyt noin 520 kVA ja tasauskerroin huomioon otettuna noin 390 kVA. Lisätään generaattorin mitoitus-tehoon vielä UPS-laitteiston aiheuttama kuorma ja 20 % lisäkapasiteettia mahdollisesti myöhemmin lisättäville kuormille. Esimerkin UPS-laite on toteutettu kehittyneellä tasasuuntauksella, joka ei vaadi sitä syöttävän generaattorin ylimitoitusta. Lasketaan dieselgeneraattorin mitoitus-teho.

$$S = (390 \text{ kVA} + 60) * 1,2 = 540 \text{ kVA}$$

Valitaan dieselgeneraattorin mitoitus-tehoksi 550 kVA. Nyt varavoimalaitteiden mitoitus-tehojen ollessa tiedossa etsitään laitteille sopivat valmistajat ja laitemallit. Valmistajan antamista laitetiedoista selviää usein laitteisiin kuuluvat suojalaitteet ja sähkönjakeluun sopivien kaapeleiden tyypit. Muun muassa näitä tietoja tarvitaan seuraavassa kappaleessa käsiteltävässä suojauksen suunnittelussa.

6 Varmennetun verkon suojaus

Varasyöttöjärjestelmällä varmennetun verkon suojaukseen vaikuttaa varavoimalähteen usein huomattavasti heikompi oikosulkuvirran syöttökyky. Suojalaitteet on valittava ja asetettava toimimaan oikein varavoimakäytöllä normaalin verkkosyötön puuttuessa. Dieselgeneraattori- ja UPS-laitteistojen sisäinen suojaus kuuluu valmistajan toimitukseen. Tässä kappaleessa käsitellään varavoimalähteen ulkopuolisen suojauksen toteuttamista varavoimalähteiltä jakelukeskuksille.

Suojalaitteet voidaan luokitella kolmeen eri tyyppiin suojaustapojen mukaan. Sähköverkko ja siihen kytketyt laitteet on suojattava ylikuormitukselta sekä oikosulkuvirroilta. Molemmat suojaukset voidaan toteuttaa erikseen erillisillä suojalaitteilla. Edellä mainittua tapaa useammin käytetään suojalaitetta, joka toteuttaa suojauksen sekä ylikuormitus- että oikosulkuvirroilta.

Valaistus- ja moottorikuormaa sisältävässä varmennetussa verkossa sallitaan suojalaitteiden toiminnasta aiheutuvat lyhyet katkokset. Sähkönlaadun kannalta kriittistä kuormaa sisältävässä verkossa sen sijaan on otettava huomioon kuorman sallimat katkokset suojausta mitoittaessa. Tietokonekuormaa varmentavan verkon suojauksen toiminnan aiheuttamien häiriöiden vaikutukset tietokonekuormaan ilmoitetaan ITI (CBEMA)-käyrästössä (liite 7). Käyrästöstä nähdään, että pisin normaalilla toiminta-alueella sallittu jännitteetön aika on yksi verkkojakso eli 20 ms. Tämä katkos tai voimakkaasti alijännitteinen aika syntyy oikosulkuutilanteessa ennen suojauksen toimimista. (4, s. 152.)

6.1 Varmennetun verkon ylikuormitussuojaus

Varavoimajärjestelmän ylikuormitussuojaukseen kuuluu syöttöjohdon sekä siihen liitettävien laitteiden ja järjestelmien suojauksen toteutus. Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa tässä kappaleessa käsiteltyyn tapaan D1-2009 käsikirjan mukaan.

Johdonsuojakatkaisijoilla ylikuormitussuoja voidaan valita suoraan johdon kuormitettavuuden perusteella, kun suojalaitteen terminen toimintarajavirta on korkeintaan 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta. Tämä käsittää B-, C-, D- sekä K-tyypin johdonsuojakatkaisijat. (Erään valmistajan johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät, ks. liite 8.)

Katkaisijoilla (esim. ilmakatkaisijat tai kompaktikatkaisijat) toimintavirran asettelu tulee tehdä niin, että releasettelu on enintään johdon kuormitettavuuden suuruinen.

Sulakkeilla ylempi sulamisrajavirta on suurempi kuin 1,45 kertaa suojalaitteen nimellisvirta, jolloin ylikuormitussuojan mitoitus on laskettava seuraavalla yhtälöllä (3):

$$k * I_n \leq 1,45 * I_z , \quad (3)$$

jossa I_n on suojalaitteen nimellisvirta, I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus ja k on sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja nimellisvirran suhde. Seuraavissa taulukoissa (8, 9, seur. s.) on ilmoitettu eri virta-arvoille ominaiset k -arvot.

Taulukko 8. D-tyyppin sulakkeet

k	I_n	I_n
2,1	$\leq 4 \text{ A}$	$\leq 0,69 I_z$
1,9	$4 \text{ A} < I_n \leq 10 \text{ A}$	$\leq 0,76 I_z$
1,75	$10 \text{ A} < I_n \leq 25 \text{ A}$	$\leq 0,82 I_z$
1,6	$> 25 \text{ A}$	$\leq 0,90 I_z$

Taulukko 9. gG-tyyppin sulakkeet

k	I_n	I_n
2,1	$\leq 4 \text{ A}$	$\leq 0,69 I_z$
1,9	$4 \text{ A} < I_n < 16 \text{ A}$	$\leq 0,76 I_z$
1,6	$\geq 16 \text{ A}$	$\leq 0,90 I_z$

D1-2009 käsikirjassa on taulukoitu (43.1) valmiiksi gG-sulaketta ylikuormitussuojana käytettäessä pienimmät johtojen kuormitettavuudet. Nämä arvot on laskettu yhtälöä 2 (s. 27) käyttäen.

Rinnankytkettyjä johtimia voidaan käyttää silloin, kun johdinten poikkipinnat ovat suuria eikä suuremman johtimen käyttö ole mahdollista esimerkiksi asennusteknisistä syistä. Rinnankytkettyjen johtimien ylikuormitussuojaukset tulee käsitellä erikseen, jos johtimien virrat poikkeavat toisistaan yli 10 %. Virranjako saadaan tasaiseksi käyttämällä samaa johtoreittiä molemmilla johtimilla. Johtimien tulee olla saman pituiset ja poikkipinta-aiset eikä niihin saa kytkeä erotus- tai kytkinlaitteita. Tasaisella virranjaolla johtimien suojaus voidaan toteuttaa yhdellä suojalaitteella. Suojalaite mitoitetaan molempien johtimien virtojen summalla.

Nollajohtimen ylikuormitussuojaus on otettava huomioon silloin, kun käytetään poikkipinnaltaan vaihejohtimia pienempää nollajohdinta. Nollajohtimen voi jättää suojaamatta jos vaihejohtimien suojalaite suojaa myös nollajohtimen oikosululta tai nollajohtimessa todennäköisesti kulkeva virta on huomattavasti nollajohtimen kuormitettavuutta pienempi. Harmonisten yliaaltojen osuus ei saa olla yli 10 %:a käytettäessä vaihejohtimia pienempää nollajohdinta. Nollajohtimen suojauksen määräykset ovat standardisarjassa SFS 6000: 473.3. (4, s. 157.)

Tietokonekuormitetussa verkossa kuorma jakaantuu helposti epätasaisesti vaiheiden välillä, jolloin nollajohtimessa voi esiintyä suuriakin virtoja. Tällöin nollajohdin on oltava suojattu ylikuormitukselta.

6.2 Varmennetun verkon oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojauksen tulee pystyä katkaisemaan suurin piirissä esiintyvä oikosulkuvirta ennen kuin suojalaitteen suojaamat piirit vaurioituvat. Käytettävän oikosulkusuojan katkaisukyvyyn on oltava katkaisukohdan maksimioikosulkuvirtaa suurempi. Ylikuormitussuojauksen tavoin oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa katkaisijalla, johdonsuojakatkaisijalla tai sulakkeilla. Nykyään suurin osa oikosulkusuojauksista toteutetaan katkaisijoilla. Olemassa olevista asennuksista valtaosa on kuitenkin vielä toteutettu sulakkeellisella suojauksella.

Staattisen ohituskytkimen sisältävässä UPS-verkossa molempien jakelulinjojen oikosulkusuojaus toteutetaan normaalisti sulakkeilla ja johdonsuojakatkaisijoilla. Tällöin suojauksen tulee toimia normaalisti myös normaalin jakeluverkon puuttuessa. UPS-laitteiston oikosulkuvirta on tyypillisesti noin kaksinkertainen nimellisvirtaansa nähden. UPS-verkon ylikuormitussuojat tulee mitoittaa toimimaan enintään 80 % oikosulkuvirralla.

Vian ilmetessä syöttö siirtyy ohituspiiriin, josta saadaan suurempi virta suojausten toimimiseen. Myös ohituspiirin syöttökyky on rajoitettu, mikä on otettava huomioon suojausta suunnitellessa.

Toteutettaessa suojaus ilman ohituskytkintä vika voidaan joutua selvittämään UPS-laitteiston syöttämällä oikosulkuvirralla. UPS-laitteiston syöttämää oikosulkuvirtaa joudutaan myös käyttämään jos ohituksessa käytettävä sähköverkko ei ole vian sattuessa jännitteinen. Sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden valinta tehdään UPS-laitteen ylikuormitettavuutta tarkastelemalla. Suojausten tulee täyttää määräysten mukaiset poiskytkentäajat.

Generaattorikäytöllä on huomioitava oikosulkusuojauksessa generaattorin normaaliin verkkoon verrattuna huomattavasti pienempi oikosulkuvirran syöttökyky. Suojausta suunniteltaessa on tarkistettava generaattorin syöttämän oikosulkuvirran suuruus ja

kesto. Jos generaattori ei kykene syöttämään tarpeeksi oikosulkuvirtaa suojausten toimimiseen, voidaan oikosulkusuojaukseen käyttää alijännitelaukaisua ja TN-S-järjestelmässä vikavirtasuojia.

Shunt-magnetoitu generaattori ei pysty syöttämään jatkuvaa oikosulkuvirtaa suojausten toimintaan, jolloin tällaisella generaattorilla suojausten tulee perustua vikavirtasuojaukseen ja alijännitelaukaisuun. PMG- ja AREP- magnetoidut generaattorit kykenevät syöttämään nimellisvirtaan nähden noin kolminkertaista oikosulkuvirtaa 10 sekunnin ajan.

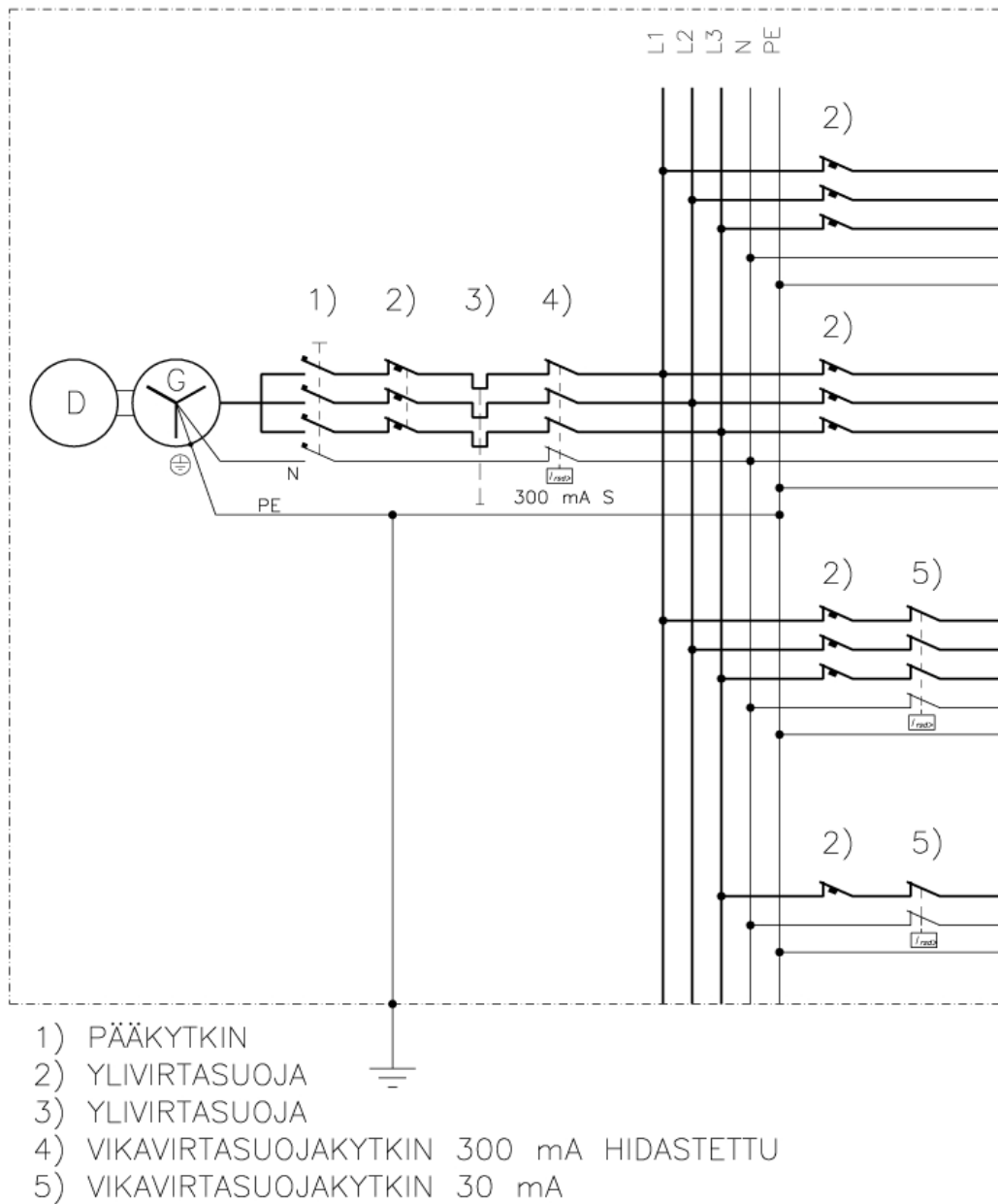
6.3 Varmennetun verkon kosketusjännitesuojaus

Suojalaitteiden on pystyttävä kytkemään syöttö pois standardisarjan SFS 6000 edellyttämässä ajassa. Suurimmat vian poiskytkentäajat TN-järjestelmässä:

- 230 V:lla 0,4 s
- 400 V:lla 0,2 s
- > 400 V:lla 0,1 s.

(4, s. 172.)

Esimerkiksi TN-S järjestelmään kytketyn generaattorin (kaavio 6, seur. s.) kosketusjännitesuojaus voidaan päävirtapiirissä hyvin toteuttaa 300 mA:n vikavirtasuojakytkimellä. 30mA:n vikavirtasuojan käyttö päävirtapiirissä voi aiheuttaa turhia katkoksia liiallisen herkkyytensä takia. (9.)



Kaavio 6. Malliratkaisu generaattorin kytkennästä TN-S-järjestelmään

Maasulkusuojausta ei tarvitse erikseen ottaa huomioon TN-järjestelmissä. Näissä järjestelmissä maasulku vastaa käytännössä oikosulkua, jolloin syötön automaattinen poiskytkentä ylivirtasuojilla ja vikavirtasuojilla toimii samalla maasulkusuojaana.

IT-järjestelmässä ensimmäinen maasulku ei yleensä heti laukaise suojausta. Suuriohmisesti tähtipisteestä maadoitetussa IT-järjestelmässä maasulkusuojaus toteutetaan tähtipistevastuksen rinnalle kytkettävällä ylijännitereleellä. IT-järjestelmää käytetään pääsääntöisesti vain lääkintätiloissa.

6.4 Varmennetun verkon suojausten selektiivisyys

Suojauksen selektiivisyys on käsiteltävä erikseen normaalista verkkosyötöstä poikkeavassa tilanteessa. Normaalissa syöttötilanteessa muuntajan suhteellinen oikosulkuiimpedanssi on noin 5 - 6 %. Muuntajan kautta saatava oikosulkuvirta noin 15 - 18 -kertainen nimellisvirtaan nähden. Näin ollen vaaditut poiskytkentäajat ja selektiivisyys peräkkäisissä sulakeportaissa on helppo toteuttaa. Muuntajan ollessa verkon syöttölähteenä myös alajakelu on mahdollista.

UPS-laitteistosta akkukäytöllä saadaan oikosulkuvirraksi noin 1,5 - 3 -kertaista nimellisvirtaa oikosulkutilanteessa. UPS-laitteistossa on vaihtosuuntaajan maksimivirran rajoitus sekä vikatilanteen jatkuessa vaihtosuuntaajan automaattinen sammutus. Selektiivisyyden kannalta paras vaihtoehto UPS-käytöllä on siirtää oikosulkutilanteessa syöttö staattisella ohituskytkimellä verkko- tai generaattorisyötölle. Normaalin verkon ollessa jännitteetön oikosulkuvirta otetaan generaattorilta. Staattisen ohituskytkimen toiminta-aika on 0 - 1 ms. Ohitusyötöllä suojauslaitteet voidaan yleensä suunnitella selektiivisesti toimiviksi. Staattisella ohituksella yhden verkkojakson, eli 0,02 sekuntia, kestävä oikosulkuvirta on yleensä noin 10-kertainen nimellisvirtaan nähden.

6.4.1 Verkon selektiivisyys normaalissa syöttötilanteessa

Normaalin syötön tilanteessa selektiivinen suojauksen toteutus määräytyy muuntajan syöttämän oikosulkuvirran suuruudesta ja näin ollen muuntajan koosta. Selektiivinen toteutus on normaalisyötöllä yleensä helposti toteutettavissa, sillä varavoimateholähteen huono oikosulkuvirransyöttökyky ei rajoita suojalaitteiden suunniteltua toimimista.

6.4.2 Generaattorin syöttämän verkon selektiivisyys

Varavoimageneraattorin syöttämä jatkuva oikosulkuvirta on maksimissaan noin 3 - 3,5 kertaa nimellisvirta. Oikosulkuvirran syöttökyky riippuu generaattorissa käytetystä magnetoinnista. Suojausta suunniteltaessa on tarkistettava käytettävän generaattorin oikosulkuvirran suuruus ja kesto valmistajan antamista tiedoista.

Generaattorin syöttö voidaan esimerkiksi suojata ylivirtasuojauksen sisältävällä katkaisijalla selektiivisyyden saavuttamiseksi. Tällöin suojaus toimii sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojana.

Generaattorin syöttämässä varmennetussa verkossa on syytä välttää alajakelua. Alajakelussa selektiivisyyden toteuttaminen sulakkeiden kokojen porrastamisella kasvattaa generaattorilta vaadittua oikosulkuvirtaa ja näin myös generaattorin kokoa. (4.)

6.5 Esimerkkikohteen suojaus

Suojauksen toteutuksen esimerkkiin on valittu suojattavaksi varavoiman pääjohdot. Esimerkin ulkopuolelle on rajattu varavoimakeskuksen alakeskuksista jatkuvien ryhmäjohtojen suojaus.

UPS-laitteen ylikuormitussuojaus toteutetaan mitoitusvahvuuden perusteella valitun varavoimateholähteen valmistajan antamien sulake ja kaapelitietojen perusteella. Esimerkin 60 kVA:n UPS-laitteelle on valmistaja antanut taulukoiden 10 ja 11 mukaiset suoritusarvot. (UPS-laitteen asennuskaavio, ks. liite 9.)

Taulukko 10. 60 kVA UPS monisäikeisten kaapelien ja sulakkeiden koot (13, s. 18).

UPS	Tasasuuntaajan tulo		Ohituksen tulo		Kuorma	PE-kaapeli	Akustokaapeli
	Sulakkeet	Kaapeli	Sulakkeet	Kaapeli	Kaapeli		
60 kVA	3x100 A	3x50 mm ²	3x100 A	3x50 mm ²	3x50 mm ²	25 mm ²	2x95 mm ²

Taulukko 11. 60 kVA UPS-järjestelmän lähtö (13, s. 70).

UPS	60 kVA
Harmoniset komponentit	3 % VHD nimellisen lineaarisella kuormalla
Nimellisvirta	93 A
Oikosulkuvirta	240 A, 300 ms
Ylikuormitettavuus	110 %, 10 min (ei ohitusta) 125 %, 30 s (ei ohitusta) 150 %, 10 s (ei ohitusta) 1 000 %, 20 ms (sisäänrakennetulla staattisella ohituksella)

Esimerkkikohteen 550 kVA:n generaattoriksi valitaan AREP-magnetoinnilla toteutettu generaattori, jonka oikosulkuvirran syöttökyky on noin kolminkertainen nimellisvirtaan nähden 10 sekunnin ajan. Nimellisvirta 550 kVA:n generaattorilla on noin 790 A, joten siihen nähden kolminkertainen 10 sekunnin oikosulkuvirta on luokkaa 2370 A.

Suojaukset valitaan vertailemalla gG-sulakkeiden sulamiskäyriä laitevalmistajien antamien oikosulku-aikojen perusteella piirrettyihin generaattorin ja UPS-laitteen oikosulkukäyriin. (14.) (gG-sulakkeiden sulamiskäyrät sekä generaattorin ja UPS-laitteen oikosulkuvirrat, ks. liite 10.) Käyrästössä on piirretty oranssilla generaattorin syöttämän oikosulkuvirran käyrä ja lilalla UPS-laitteen vaihtosuuntaajan oikosulkukäyrä. UPS-laitteen sisäisten 100 A:n sulakkeiden sulamiskäyrä on korostettu punaisella värillä.

UPS-laitteen tulolinjojen sulakkeiden ja kaapeleiden mitoitus toteutetaan UPS-laitteen sisäisten sulakkeiden mukaan. UPS-laite vaatii kaksi tuloa generaattorilta, ohiuslinjan sekä tasasuuntaajan tulot. Molemmat tulot suojataan generaattorin kiskostolta samankokoisilla sulakkeilla. UPS:n tulolinjojen suojaukseen käytetään samaa sulaketta, kuin UPS:n sisällä olevat laitevalmistajan määrittämät sulakkeet. Sulakkeeksi määräytyy tällöin 100 A:n gG-sulake. Sulamiskäyrästöstä (liite 10) nähdään generaattorin oikosulkuvirtaa ja sulakkeen sulamiskäyrää tarkastelemalla että UPS-laitteessa tai tulolinjoissa tapahtuvassa vikatilanteessa suojaus toimii 0,01 sekunnissa.

Kaapeli valitaan D1:n luvun 523 mukaisesti. Kaapelit asennetaan kaapelitikkaille, joten asennustavaksi määräytyy asennustapa E. Kaapelit ovat osan reitistä rinnakkain, joten D1:n taulukon 52.11 mukaan korjauskertoimeksi viidelle kaapelille määräytyy 0,8. Ympäristön lämpötila on kaapeleiden reitillä 25 °C, joten lämpötilan korjauskerroin on 1. Johtimen pinta-ala voidaan nyt valita D1:n taulukosta 52.3. Johtimeksi määräytyy 70 mm² alumiinijohdin.

Kaapeliksi valitaan siis kolmivaiheinen 4 x 70 + 35 mm² kaapeli alumiinijohtimilla. Suurimmat sallitut johtojenpituudet saadaan laskettua D1-2009 käsikirjassa esitetyllä yhtälöllä (4, seur. s.) 4.7.

$$l = \left(\frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k} - Z_v \right) / (2 \cdot z) , \quad (4)$$

jossa l on johdon pituus (km), c on kerroin 0,95, U_n on pääjännite, I_k on vaaditussa ajassa poiskytkennän aiheuttava oikosulkuvirta, Z_v on impedanssi ennen suojalaitetta ja z on suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km).

Sulamiskäyrästä (liite 10) saadaan 100 A:n gG-sulakkeen poiskytkentäaikoihin tarvittavat oikosulkuvirtojen suuruudet. Sen lisäksi tarvitaan generaattorivalmistajan ilmoittama generaattorin impedanssi sekä kaapelivalmistajan ilmoittama johdinimpedanssi, jotta saadaan laskettua suurimmat sallitut johdonpituudet. Yhtälöllä 4 (edell. s.) lasketaan suurimmat sallitut pituudet 0,1 ja 0,01 sekunnin poiskytkentäajoilla.

$$l_{0,01s} = \frac{\left(\frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 2200 \text{ A}} - 0,0375 \Omega \right)}{\left(2 \cdot 0,557 \frac{\Omega}{\text{km}} \right)} = 0,0559 \text{ km} = 55,9 \text{ m}$$

$$l_{0,1s} = \frac{\left(\frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 1100 \text{ A}} - 0,0532 \Omega \right)}{\left(2 \cdot 0,557 \frac{\Omega}{\text{km}} \right)} = 0,1313 \text{ km} = 131,3 \text{ m}$$

Generaattorin ja UPS-laitteen välisen kaapelin suojauksessa päästään siis 0,01 sekunnin poiskytkentäaikaan, jos käytetään alle 55 metrin pituista kaapelia. Jos varavoimatehonlähteet ovat kauempana toisistaan ja tarvitaan pidempää kaapelia, päästään vielä riittävään ja määräykset täyttävään 0,1 sekunnin poiskytkentäaikaan.

UPS-lähdön sulakkeiden ja kaapeleiden mitoitus toteutetaan UPS-laitteen ja ohituspiirin oikosulkuvirran syöttökykyjen mukaan. Mitoitus suunnitellaan toimivaksi tilanteessa, jolloin ohitusyöttöä ei ole käytettävissä. Tämä tarkoittaa sitä, että verkossa on kolme samanaikaista vikaa, syöttöverkon puuttuminen ja generaattorisytön puuttuminen sekä UPS-kuorman vikatilanne, mikä on jo erittäin epätodennäköistä. Suojaustasoksi ei tällöin vaadita ITI (CBEMA)-käyrästä (liite 7) normaalin toiminnan vaatimia poiskytkentäaikoja, vaan valitaan suojaustasoksi määräysten asettamat arvot.

UPS-lähdön kosketussuojauksen on määräysten mukaan toteuduttava 230 V:n jännitteellä 0,4 s:n poiskytkentäajalla. Tarkastellaan sulamiskäyrästössä (liite 10) esitettyjä oikosulkuvirtoja ja sulakkeiden sulamiskäyriä. Käyrästöstä katsotaan UPS-laitteen oikosulkuvirran (lila käyrä) mukaan suurimman sulakkeen koko. 32 A:n sulakkeella päästään 0,2 s:n poiskytkentäaikaan. 0,4 s:n poiskytkentäaika on sulamiskäyrän ulkopuolella, joten tehdään mitoitus 0,2 sekunnin poiskytkentäajalla. Nämä sulakkeet toimivat selektiivisesti UPS:n sisäisten 100 A:n sulakkeiden kanssa.

Johtimen pinta-alan määrittäminen tehdään D1-2009 käsikirjan mukaan, jolloin gG-sulake toimii sekä oikosulku- että ylikuormitussuojana. Kaapelit kulkevat rei'itetyllä kaapelihyllyllä ja niitä on vierekkäin enintään 8 kappaletta. Korjauskertoimeksi määritetty 0,72. Lämpötilan korjauskerroin on 1, kun lämpötila on noin 25 °C. Asennustapa on pinta-asennus, joten johdinpaksuudeksi määritetty asennustavan C mukaisesti 10 mm² kuparijohdin.

32 A:n sulakkeiden kaapeliksi valitaan kolmivaiheinen 4 x 10 + 10 mm² kuparikaapeli. Suurimmat sallitut johtojenpituudet saadaan laskettua yhtälöllä 4 (s. 37). On huomiotava UPS-laitteen teoriassa olematon impedanssi, sillä UPS-laitteen virransyöttökykyä säätelee virranrajoitin, eikä virtaa muodosteta generaattorin tapaan magneettikentillä.

$$l_{0,2s} = \frac{\left(\frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 200 \text{ A}} \right)}{\left(2 * 2,246 \frac{\Omega}{\text{km}} \right)} = 0,2442 \text{ km} = 244,2 \text{ m}$$

Kun ohitusyöttö on käytettävissä, poiskytkentä toimii 32 A:n sulakkeilla staattisen ohiuksen kautta syötettävällä oikosulkuvirralla 0,01 sekunnissa. Pienempiä sulakkeita käytettäessä saadaan akkukäytön poiskytkentäaika pienennettyä. Toteuttamalla sähkönjakelu kuormille suoraan UPS-keskukselta, voidaan sulamiskäyrästön (liite 10) mukaan päästä jopa 0,01 sekunnin poiskytkentäaikoihin käyttämällä 16 A gG-sulakkeita. Tässä esimerkissä käsiteltävä suojaus on rajattu pääjohtojen suojauksiin, joten ei sähkönjakelua suoraan UPS-keskukselta kuormille ei käsitellä enempää.

Generaattorin oikosulkuvirta on valmistajan tietojen mukaan yhden jakson ajan n. 6 000 A. Sulamiskäyrästöstä (liite 10) nähdään, että 100 A:n gG-sulake toimii jo 2 200 A:n oikosulkuvirralla käyrästön mukaan 0,01 sekunnissa. Sulakkeen toiminta-aika on

tällöin ITI (CBEMA)-käyrästön (liite 7) mukaan normaalin toiminnan alueella, jolloin viasta johtuva jännitteenalenema ei pääse aiheuttamaan ongelmia muihin generaattorin syöttämiin kuormiin.

Generaattorin syöttäessä UPS-laitetta tai sen ohituslinjaa jää generaattorin nimellisvirrasta 790 A noin 700 A muulle kuormalle. Luvussa 5.6 lasketun generaattorin kuorman nimellisvirta on noin 690 A. Normaali kuormitus ei ole kuitenkaan koko huipputehon suuruinen, joten voidaan arvioida 600 A:n sulakemitoituksen riittävän kuormille. Sulamiskäyrästön (liite 10) mukaan generaattorin oikosulkukäyrää tarkastellessa 300 A:n gG-sulakkeella suojauksen luotettava toiminta-aika on noin 1,5 sekuntia, joten on valittava pienempi sulake. Seuraava sopiva sulakekoko on esimerkiksi 200 A, jolloin syöttö jaetaan kolmeen linjaan. Valitaan käytettäväksi 200 A:n sulake, sillä sen toiminta-aika generaattorin oikosulkuvirralla on 0,01 sekuntia.

Seuraavaksi valitaan generaattorin 200 A:n jakelulinjoille sopiva kaapeli. D1-2009 käsikirjan taulukoiden 52.3 ja 52.11 mukaan kaapelin korjauskerroin on 0,8. D1-2009:n taulukon 52.3 perusteella valitaan johtimeksi 185 mm²:n alumiinijohdin.

Valitaan käytettäväksi kaapeliksi nyt kolmivaiheinen 4 x 185 + 57 mm² kaapeli alumiinijohtimilla sekä kuparisuojajohtimella. Suurimmat sallitut johtojenpituudet saadaan laskettua yhtälöllä 4 (s. 37).

$$l_{0,01s} = \frac{\left(\frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 4400 \text{ A}}\right) - 0,0375 \Omega}{\left(2 * 0,222 \frac{\Omega}{\text{km}}\right)} = 0,0278 \text{ km} = 27,8 \text{ m}$$

$$l_{0,1s} = \frac{\left(\frac{0,95 * 400 \text{ V}}{\sqrt{3} * 1800 \text{ A}}\right) - 0,0532 \Omega}{\left(2 * 0,222 \frac{\Omega}{\text{km}}\right)} = 0,1547 \text{ km} = 154,7 \text{ m}$$

Tulosten perusteella huomataan generaattorin syöttöjohdon pituuden olevan varsin rajoitettu 0,01 sekunnin poiskytkentäajalla. Käytettäessä jakelussa yli 27 metrin pituisia kaapeleita päästään kuitenkin 0,1 sekunnin poiskytkentäaikaan, mikä on riittävä ja määräykset täyttävä.

Sulakesuojauksella saadaan toteutettua selektiivinen pääjohtojen suojaus. Varavoimailaitokseen liitettyjen pääjohtojen suojaus saadaan sulakkeilla toteutettua 0,1 sekunnin poiskytkentäajalla. Ohituspiirillä UPS-kuormat saadaan suojattua ITI (CBEMA)-käyrästön (liite 7) normaalin toiminnan edellyttämällä tavalla. Atk-laitteet ovat silloin suojattu UPS-verkossa tapahtuvan vian aiheuttamalta jännitteenalenemalta.

7 Yhteenveto

Insinöörityön tarkoitus oli antaa sähkösuunnittelijalle tarvittava erityisosaamistieto ja työkalut varavoimaverkon ja -laitteiston sähkösuunnitteluun. Työssä käytiin läpi portaittain varavoiman suunnittelun eri vaiheet ja niihin liittyvät valinta- ja mitoitusongelmat. Varavoimajärjestelmän sähkösuunnitteluun tarvittava sähkötekninen tieto tuotiin esille teoriamuodossa ja yleisiin suunnitteluongelmiin esitettiin ratkaisumalleja.

Työn alussa selvitettiin varavoiman suunnitteluprosessin yleinen etenemistapa ja sähkösuunnittelijan tehtävät. Seuraavaksi käsiteltiin varavoiman tarpeen määrittelyä ja erilaisten muuttujien vaikutusta varmennustason optimaaliseen valintaan. Oikeilla varavoimavarmennusten valinnoilla taloudelliset ja henkilöturvallisuuteen liittyvät riskit saatiin hallintaan ja toimintavarmuus kasvatettua halutulle tasolle.

Varvoimajärjestelmien ja -laitteiden pääperiaatteet ja toiminnot selvitettiin niin, että aiheeseen perehtymättömällekkin saatiin riittävä suunnitteluun tarvittava erityisosaamistieto aiheesta. Työssä käsitellyt varvoimateholähteet, staattiset ja dynaamiset UPS:t sekä dieselgeneraattorit, soveltuvat Optiplan Oy:n yleisiin suunnittelukohteisiin.

Jotta suunniteltu varvoimavarmennettu verkko saadaan toimimaan oikein ja sille suunniteltuun tapaan, perehdyttiin työssä verkon ja laitteiden mitoitukseen sekä suojausten toteutukseen. Väärin suunniteltuna varvoimavarmennuksesta saadaan helposti käyttötarkoitukseensa täysin sopimaton, joten mitoitukseen ja suojausten toteutukseen on syytä kiinnittää paljon huomiota.

Insinöörityössä selvitettiin varvoimajärjestelmän sähkösuunnittelun prosessi onnistuneesti ja päästiin työssä asetettuihin tavoitteisiin. Jatkotoimenpiteinä työlle voidaan kehittää sähköiset laskentapohjat avustamaan suunnitteluun liittyvässä mitoituksessa.

Lähteet

- 1 Kavonius, Kari. 2011. Suunnittelupäällikkö, Optiplan Oy, Helsinki. Keskustelu 21.12.2011.
- 2 Sandback, Ismo (toim.). 2000. Varavoimailaitokset, ST-käsikirja 31. Espoo: Sähkötieto ry.
- 3 Poikonen, Pasi. 2010. UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelu ja toteutus, ST 52.35. Espoo: Sähkötieto ry.
- 4 Hakanen, Pertti (toim.). 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät, ST-käsikirja 20. Espoo: Sähkötieto ry.
- 5 Ryyänen, Eero. 2012. Projektimyynti, Energian tuotanto, Witraktor Oy, Vantaa. Puhelinkeskustelu 12.1.2012.
- 6 Nurmi, Marko. 2012. Toimitusjohtaja, kW-set Oy, Nuppulinna. Puhelinkeskustelu 12.1.2012.
- 7 Westerholm, Cecilia. 2012. Tuotepäällikkö, Eurolaite Oy, Helsinki. Puhelinkeskustelu 23.1.2012.
- 8 Teknisiä tietoja ja taulukoita -käsikirja. 2000. Luku 3, UPS-laitteet. s. 28-48. ABB Oy.
- 9 FinGen suunnitteluopas. 2010. Verkkodokumentti. Fingrid Oy. <<http://www.fingen.fi/suunnittelu.htm>>. Luettu 19.9.2011.
- 10 UPS-käsikirja. 2005. Verkkodokumentti. Eaton Power Quality Oy. <http://pqlit.eaton.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=4936>. Luettu 20.12.2011.
- 11 Tiainen, Esa (toim.). 2009. D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- 12 SFS-käsikirja 600, Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus. 2007. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- 13 9030 Manual FIN Rev C. 2008. Verkkodokumentti. Eaton Power Quality Oy. <http://lit.powerware.com/ll_download.asp?file=9390_manual_FIN_1023294_rev_C.pdf>. Luettu 10.1.2012.

- 14 Kahvasulakkeet. 2009. Verkkodokumentti. ABB Oy. <[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/\\$file/1SCC317002C1801.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/$file/1SCC317002C1801.pdf)>. Luettu 21.1.2012.
- 15 Energiatehokas konesali 2010. 2010. Verkkodokumentti. Insinööritoimisto SIR-Sähkö Oy. <http://www.csc.fi/sivut/e-infra/ekotehokkaatkonesalit/2010/ekokonesali_tier.pdf>. Luettu 19.10.2011.
- 16 ITI (CBEMA) *Curve Application Note*. 2007. Verkkodokumentti. *Information Technology Industry Council*. <<http://microblog.routed.net/wp-content/uploads/2007/09/iticurv.pdf>>. Luettu 19.9.2011.

Liite 1: Tier-luokitus

Taulukko 1. Tier-luokitus (15.)

Tier-luokka	Perusvaatimukset ja käytettävyys	Suorituskyvyn testi	Alttius katkoille			Vaikutukset käytettävyyteen
			Suunnittelemattomat	Suunnitellut	Operatiiviset	
I	Perustaso Ei redundanttia kapasiteettia tai jakelua 99,67 % tai 28,8 h	Mikä tahansa komponentti tai jakelun osa vaikuttaa IT-järjestelmiin. Suunnitellut katkot vaativat suurimman osan tai koko jakelun alasajon	X	X	X	Koko konesaliympäristön infra joudutaan ajamaan alas vuosittain, jotta voidaan suorittaa turvallisesti ennakoivat huollot ja korjaukset
II	Redundanteja syöttölähteitä , ei redundanttia jakelua 99,75 % tai 22,0 h	Syöttölähteen komponentin vika voi vaikuttaa konesalin toimintaan. Jakelun vika aiheuttaa konesalin alasajon. (N+1)	X	X	X	Kuten yllä
III	Käytön aikana huollettavissa Redundantit <i>stand-by</i> komponentit ja kerrannaiset jakelutiet 99,98 % tai 1,6 h	Jokainen teholaähde ja jakelujärjestelmän elementti voidaan ottaa huoltoon suunnitellusti ilman että konesalitoiminnoille aiheutetaan katkoa (N+1)	X			Suunnitellut konesaliympäristön huollot voidaan suorittaa käyttäen redundanteja syöttöjärjestelmiä ja jakeluteitä käyttöturvallisesti Edellyttää kaikilta tietojärjestelmän laitteilta kahdennettuja virtalähteitä
IV	Vikasietoinen Kerrannaiset aktiiviset sähkön ja jäähdytyksen jakelutiet ja redundantit komponentit 99,99 % tai 0,8 h	Yksittäiset pahimmat viat teholahteissa tai jakeluteissa eivät aiheuta katkoja konesalitoiminnoille (N minkä tahansa vian jälkeen)				Kuten yllä

Liite 2: Riskienhallintakortti**RISKIENHALLINTAKORTTI****Riski** (riskilaji: talotekniset järjestelmät)

Sähkökatko

Aiheuttaja

- Ukonilma, myrsky, runsas lumisade, kova pakkaneen
- sähkölinjalle kaatunut puu tai oksa, eläimen osuminen jakelujohtoon
- Voimalan putoaminen tuotannosta
- Huolimaton tai tahallinen käyttäjän tekemä vahinko

Seuraukset

- Toiminnan häiriintyminen tai katkeaminen
- Taloudellinen ja materiaallinen tappio
- Laitteiden hajoaminen

Riskin suuruus (todennäköisyys ja vakavuus)

10 (2x5)

Kustannukset riskin toteutuessa

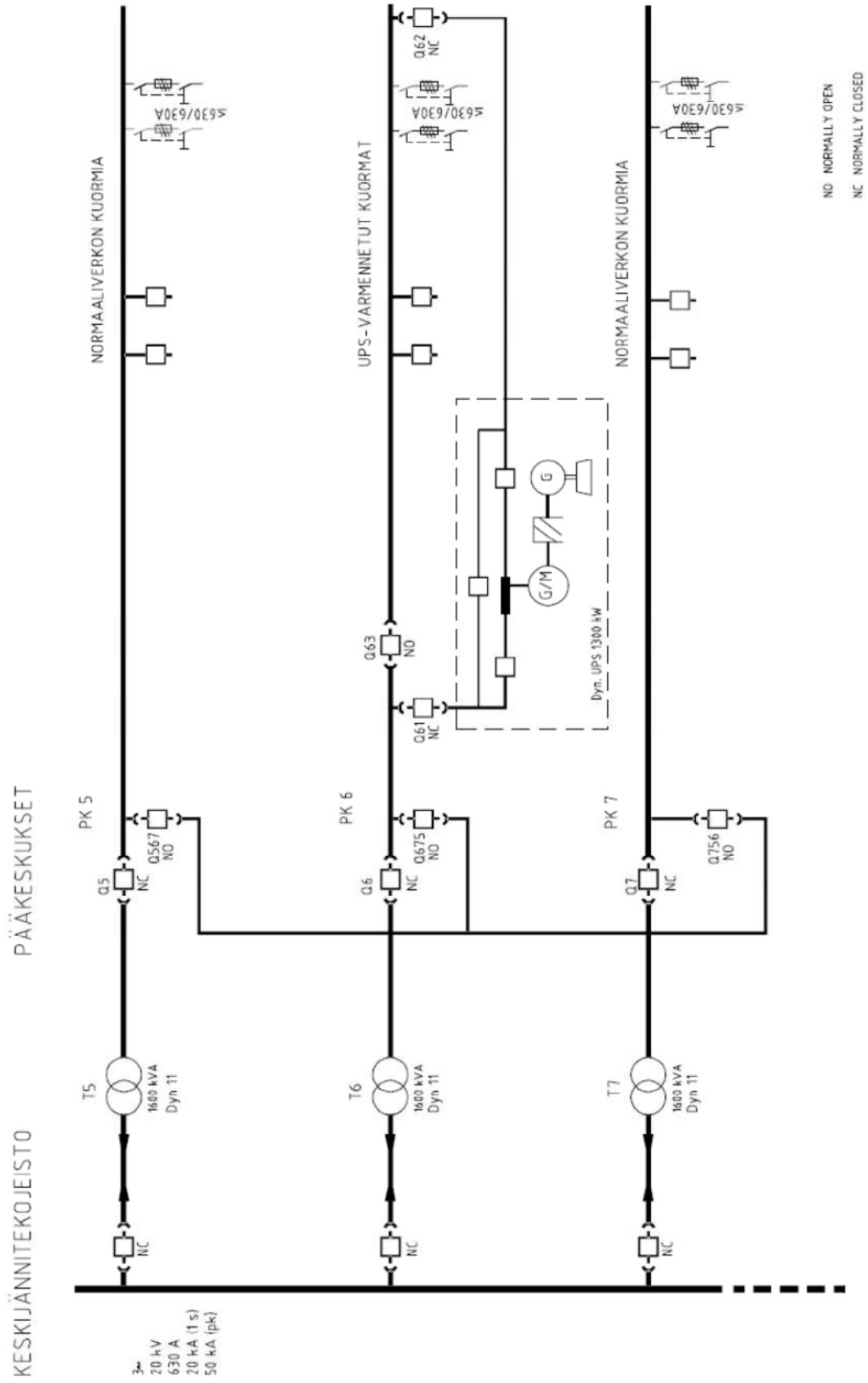
Kustannusarvio riskin toteutuessa (2 000 € - 20 000 €)

Riskin hallinta

- Varmennettavien toimintojen määrittäminen ja riskien hallinta varavoimalla
- Katkeamaton sähkönjakelu varavoimavarmistuksella (UPS)
- Pitkän sähkökatkoksen varalle varavoimalaitos (Diesel-generaattori)

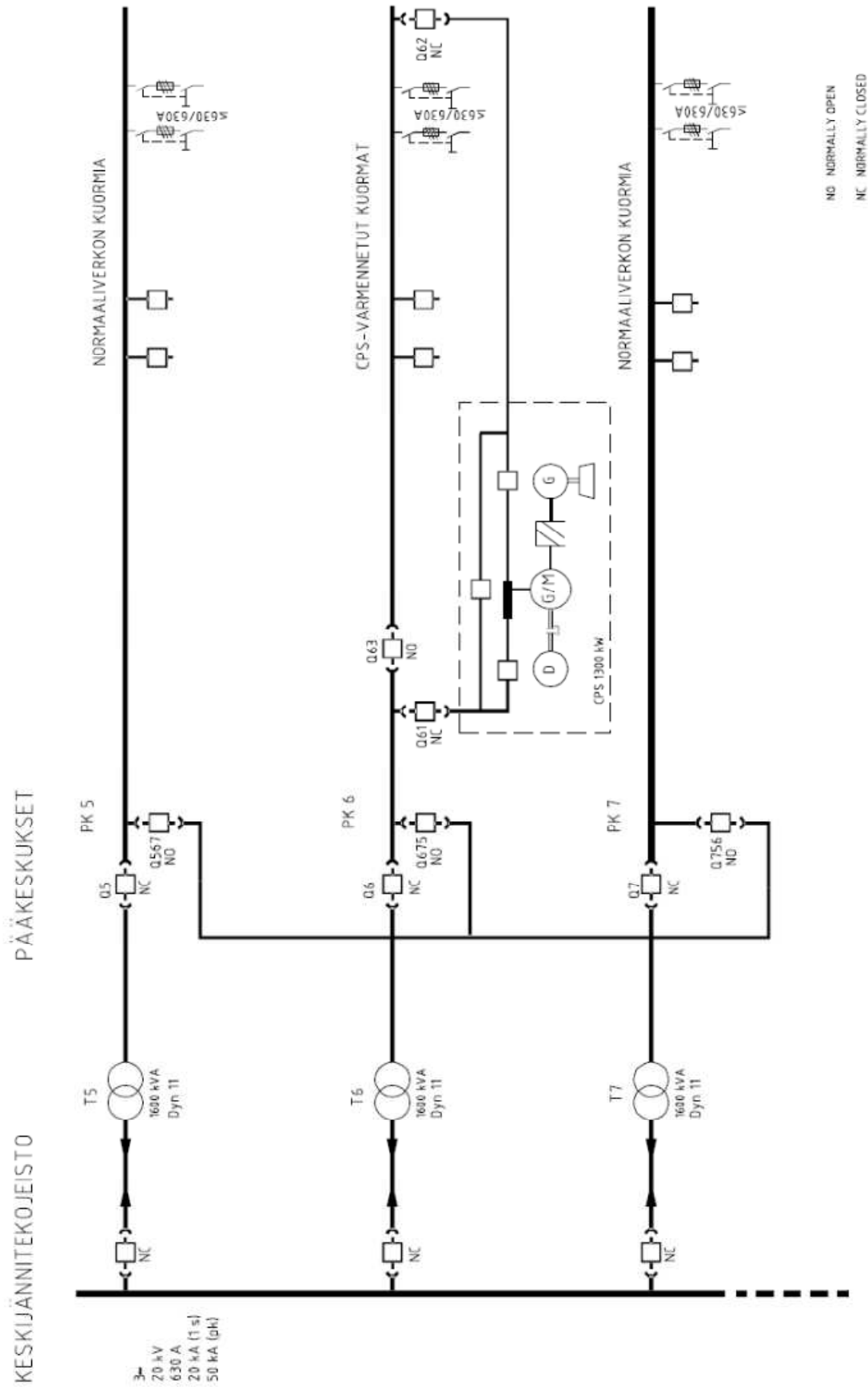
Vastuhenkilö

Liite 3: Dynaaminen UPS-laitteisto



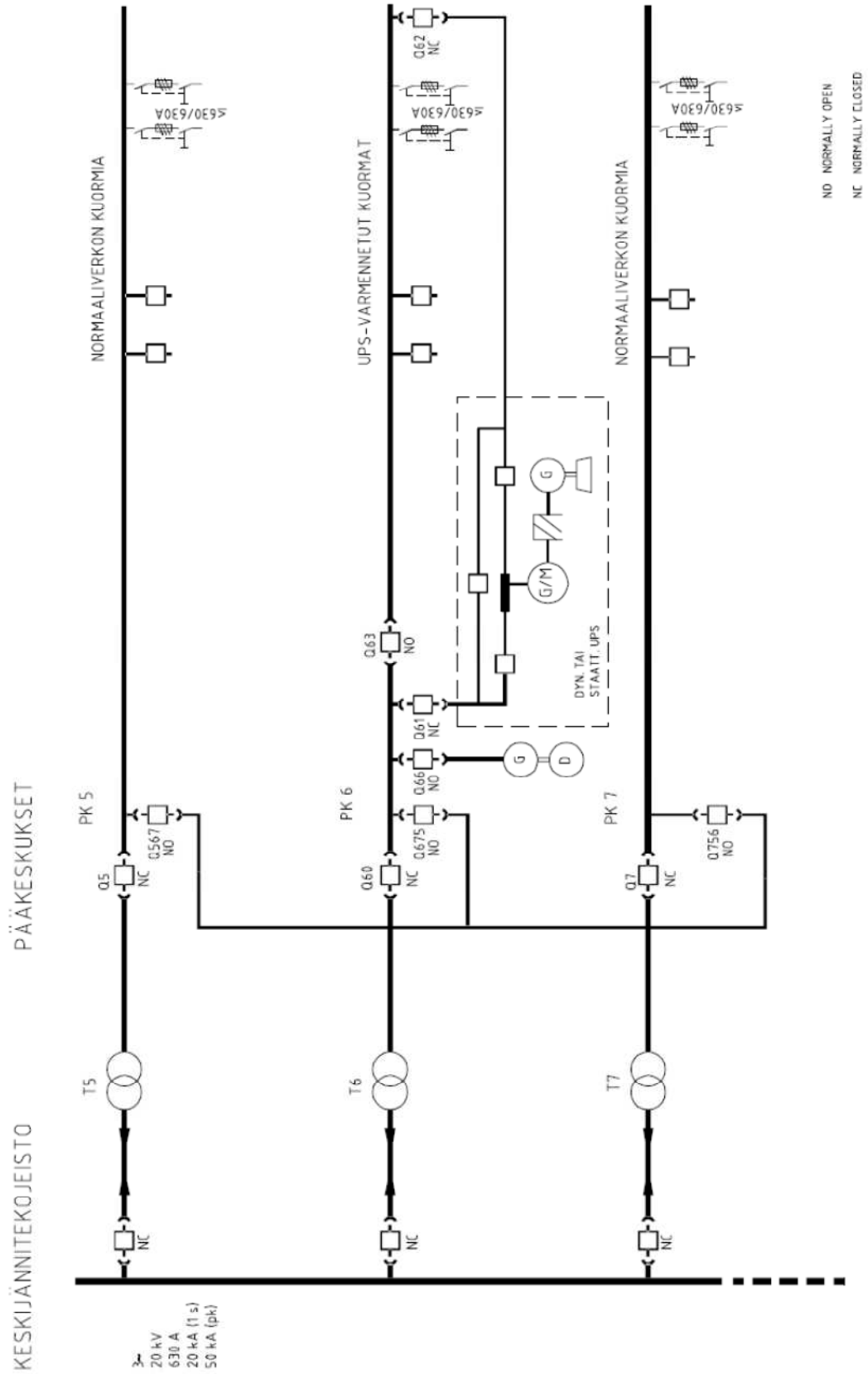
Kaavio 1. Dynaamisen UPS-laitteiston kytkentäesimerkki (4, s. 97.)

Liite 4: CPS-laitteisto



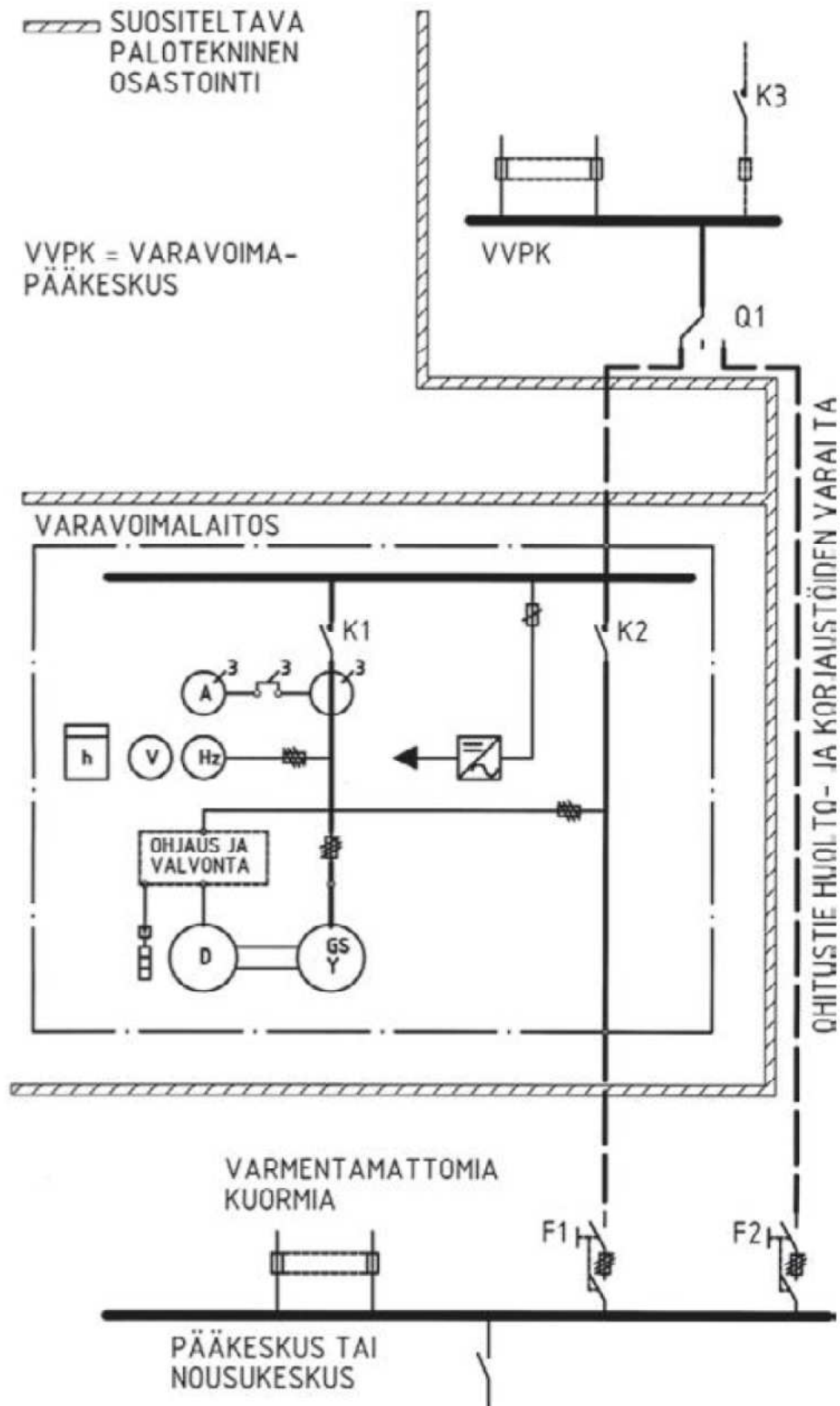
Kaavio 1. CPS-laitteiston kytkentäesimerkki (4, s. 98.)

Liite 5: Varavoimakone ja dynaaminen tai staattinen UPS-laitteisto



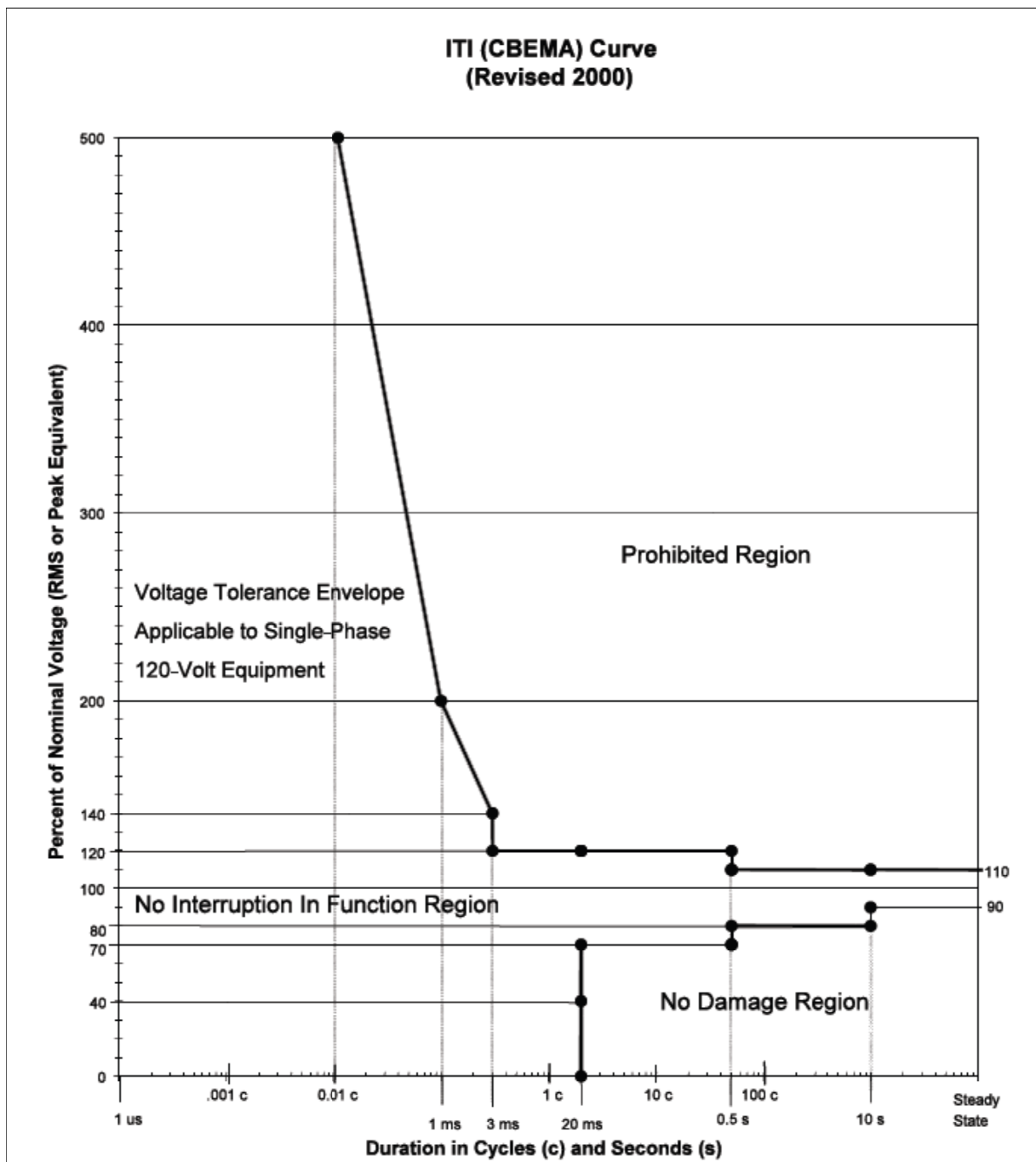
Kaavio 1. Varavoimakoneen ja dynaamisen tai staattisen UPS-laitteiston kytkentäesimerkki (4, s. 99.)

Liite 6: Generaattorin mallipääkaavio



Kaavio 1. Generaattorin mallipääkaavio (4, s. 75.)

Liite 7: ITI (CBEMA)-käyrästä



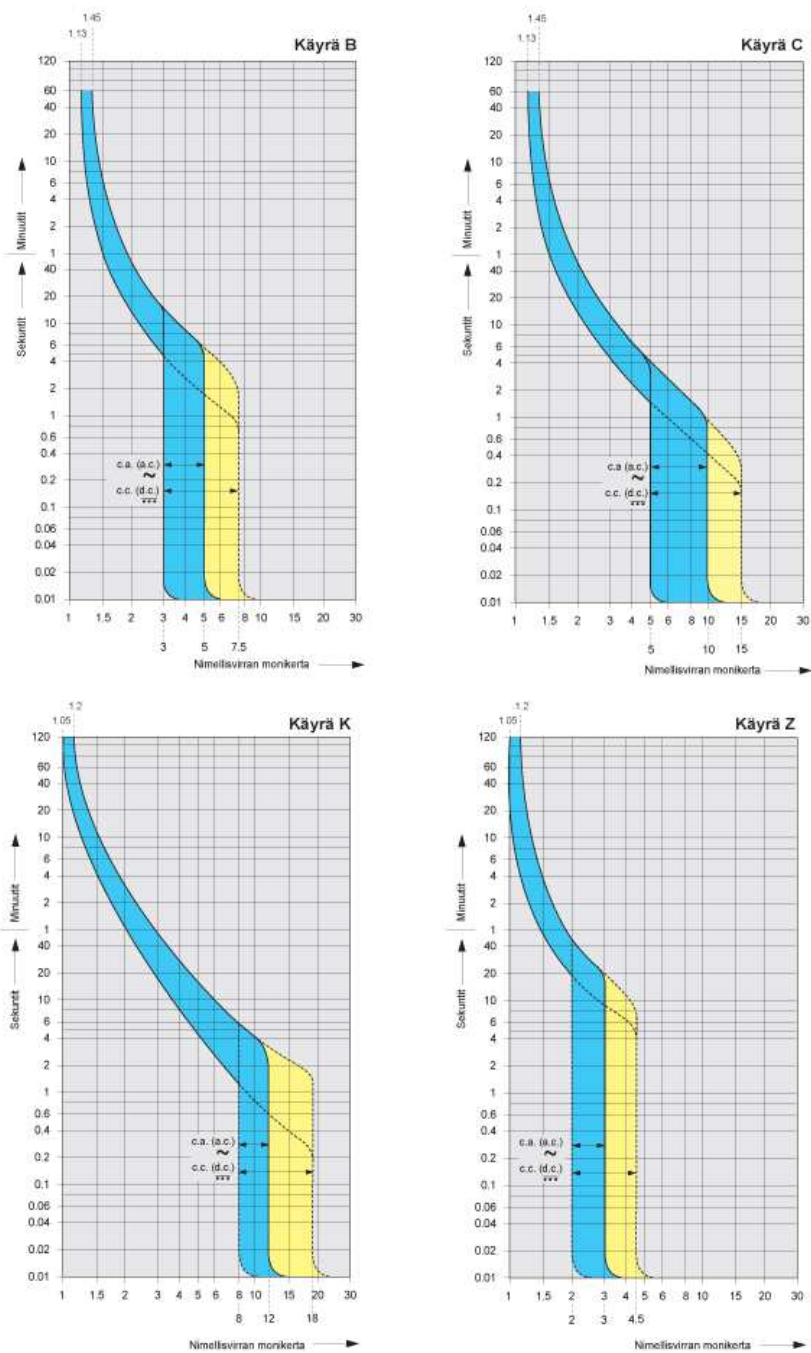
Published by:

Information Technology Industry Council (ITI)
 1101 K Street NW, Suite 610, Washington DC 20005
 (202) 737-8888
<http://www.itic.org>

May be reprinted with permission.

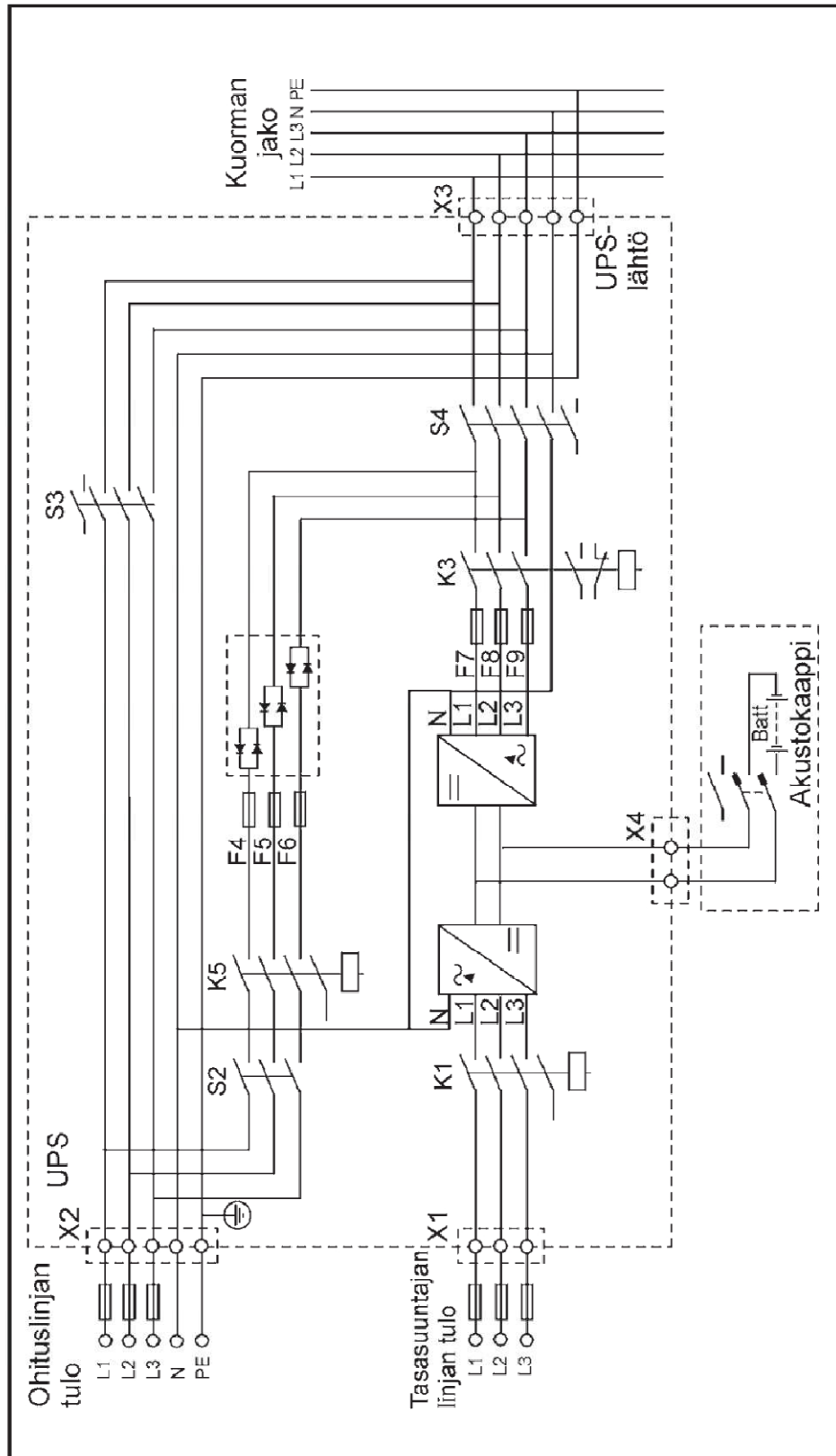
Liite 8: Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät

System pro M compact® Laukaisukäyrät



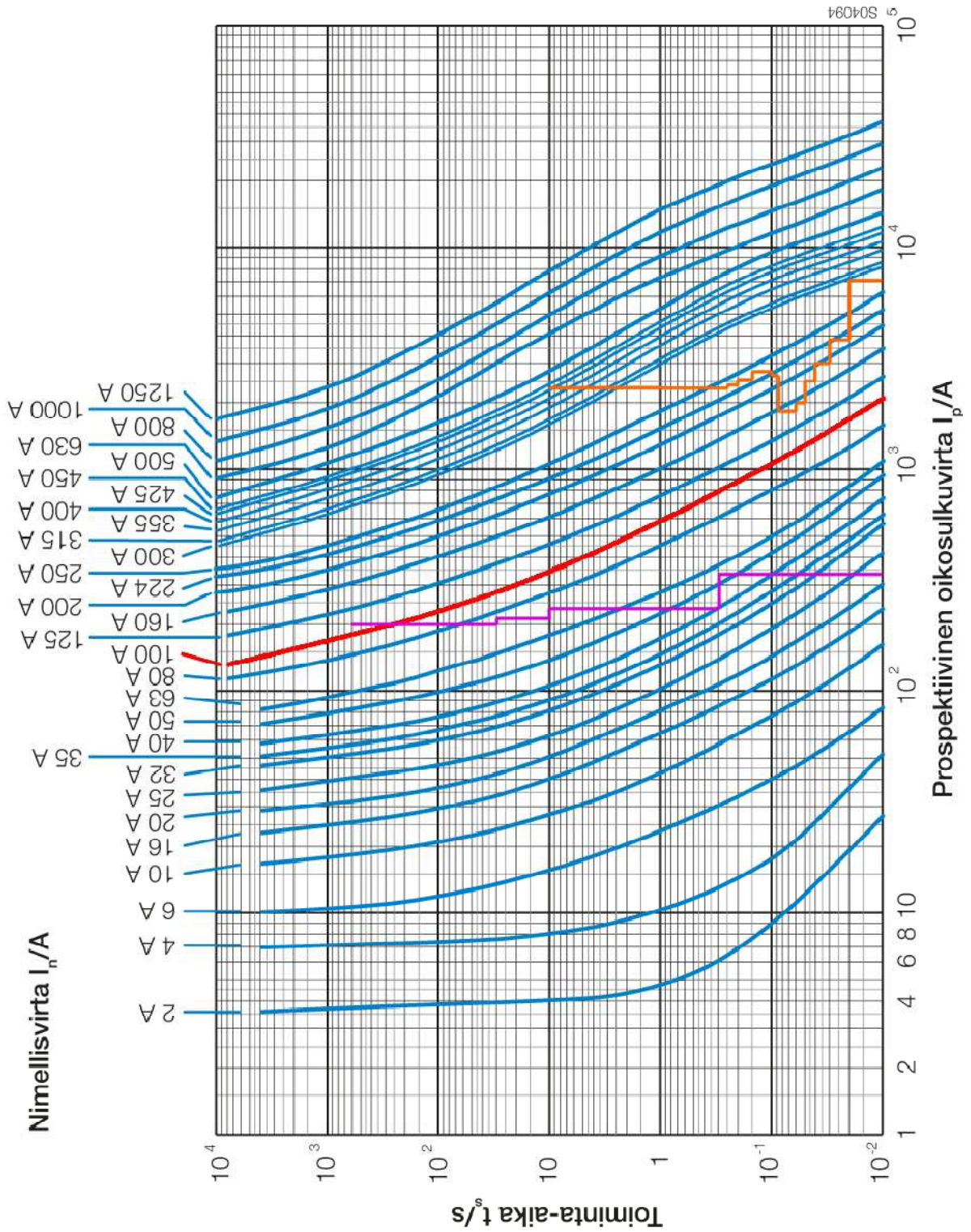
Kuva 1. Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät (14.)

Liite 9: UPS-laitteen asennuskaavio



Kaavio 1. UPS-laitteen asennuskaavio (13.)

Liite 10: gG-sulakkeiden sulamiskäyrät



Kuva 1. gG-sulakkeiden sulamiskäyrät (14.)