

Varmennettu sähkönjakelu ja suojaukset

Lauri Sinisalo

Opinnäytetyö

Toukokuu 2015

Automaatiotekniikka

Tekniikan ja liikenteenala





Tekijä(t) Sinisalo, Lauri	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 27.05.2015
	Sivumäärä 83	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Varmennettu sähköjakelu ja suojaukset		
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Pasi Puttonen		
Toimeksiantaja(t) Sirpa Hukari, Jyväskylän ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua varmennetun sähköjakelun sekä suojausten teoriaan ja tuottaa aiheesta opetusmateriaali Jyväskylän ammattikorkeakoululle. Lisäksi tarkoituksena oli tuottaa opetuskäyttöön soveltuva laboratoriotyö, jossa perehdytään ABB:n valmistamaan REM 545 Konekennotermiinaaliin ja sen käyttöön varavoimageneraattorien suojauksessa. Samantyylinen laboratoriotyö toteutettiin syksyllä 2014 aiheesta UPS-järjestelmä.</p> <p>Teoriaa tutkittiin kirja- ja internetlähteistä sekä eri valmistajien laitteiden manuaaleista ja oppaista. Teorian avulla toteutettiin myös laboratoriotyö. Laboratoriotyössä keskityttiin konekennotermiinaali REM 545:n suojausominaisuuksiin. Ominaisuuksia testattiin simuloimalla erilaisia vikatilanteita.</p> <p>Tuloksena saatiin kattavasti tietoa varmennetusta sähköjakelusta sekä opetuskäyttöön soveltuva laboratorio työ sekä siihen toimiva ohjeistus. Työ tulee opetuskäyttöön syksyllä 2015.</p> <p>Jatkossa laboratorioskäyttöön kannattaa toteuttaa samantyyllisiä töitä, koska ne palvelevat tilaajaa, joka saa opetuskäyttöön soveltuvan laboratoriotyön sekä työn toteuttava opiskelija pääsee tutustumaan aiheen teoriaan sekä käytännössä tuottamaan ja mahdollisesti ohjaamaan kyseistä työtä laboratorioskäytössä. Tämä taas palvelee jatkossa myös työelämässä tiimityöskentelyssä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Varavoima, UPS, varmennettu, sähköjakelu, suojaus, generaattori, varavoimakone		
Muut tiedot		



Author(s) Sinisalo, Lauri	Type of publication Bachelor's thesis	Date 27.05.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 83	Permission for web publication: x
Title of publication Verified electrical distribution and protection		
Degree programme Automation Engineering		
Tutor(s) Puttonen, Pasi		
Assigned by Sirpa Hukari, JAMK University of applied science		
Abstract <p>The purpose of the thesis was to explore the theory of verified electrical distribution and protection, and also to produce material for educational use for JAMK University of Applied Sciences. Additionally, another purpose was to produce a laboratory assignment on ABB's REM 545 Machine terminal and its use in protection of emergency standby generators for educational use. A similar laboratory assignment had been designed in fall 2014 about the use of UPS.</p> <p>The theory is based on books and internet sources as well as different manuals of the equipment manufacturers. The laboratory assignment was made in accordance with the theory. The main focus of the laboratory work was on the protection abilities of REM 545 machine terminal. The abilities were tested in different kinds of failure situations.</p> <p>The objective of the thesis was to obtain plenty of information on verified electrical distribution, a laboratory assignment for educational use and functional guidelines for it. The laboratory assignment will be used for educational purposes in fall semester 2015.</p> <p>In the future, there should be more projects for the laboratory use designed by students. The projects will produce laboratory assignments for educational use and for the students the projects provide a great deal of information on the subject theory at hand, and also a possibility for the students to take part in the guidance of the laboratory work, which will benefit them in future team work in working life.</p>		
Keywords/tags (subjects) Reserve power, UPS, verified, electrical distribution, protection, generator, emergency stand-by diesel generators		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	SÄHKÖVERKON KATKOKSET JA HÄIRIÖT.....	6
3	VARMENNETTU SÄHKÖNJAKELU.....	8
3.1	Vaatimukset.....	9
3.2	Verkon rakenne.....	10
3.3	Suojaus.....	11
3.3.1	Ylikuormitussuojaus.....	12
3.3.2	Oikosulkusuojaus	18
3.3.3	Kosketusjännitesuojaus eli vikasuojaus	20
3.3.4	Kosketussuojaus	25
3.3.5	Yli- ja alijännitesuojaus.....	27
3.3.6	Selektiivisyys	29
3.4	Redundanttisuus.....	30
4	UPS-JÄRJESTELMÄT.....	31
4.1	Staattinen UPS	32
4.1.1	Online UPS.....	34
4.1.2	Line-Interactive UPS.....	36
4.1.3	Off-Line UPS	38
4.2	Dynaaminen UPS	39
4.2.1	Huimamassan avulla toteutettu UPS-järjestelmä	40
4.3	Suunnittelu.....	42
4.4	Valvonta.....	44
4.5	Mitoitusperiaatteet	46
4.6	UPS-järjestelmän laite- ja pääkeskustila	47
4.7	UPS-järjestelmän akusto.....	48
5	VARAVOIMAGENERAATTORIT.....	50
5.1	Rakenne	52
5.2	Apujärjestelmät.....	54
5.3	Automaatiikka	54
5.4	Generaattorin suojaus	56
5.4.1	Relesuojaus.....	57
5.4.2	Staattorin ylivirta- ja ylikuormitussuojaus	57

5.4.3	Staattorin maasulkusuojaus	58
5.4.4	Ylijännitesuojaus	60
5.4.5	Alimagnetointi- ja epätahtikäyttösuojaukset	61
5.4.6	Takatehosuojaus	62
5.5	Suunnittelu	63
5.6	Varavoimakonetilat	63
5.7	Mitoitus	65
6	KONEKENNOTERMINAALI REM 545	67
6.1	Käyttökohteet	68
6.2	Perus- ja yleistoiminnot	69
6.3	Ohjaustoiminnot	70
6.4	Suojaustoiminnot	70
7	VARAVOIMAGENERAATTORIN SUOJAUS (LABORATORIOTYÖ)	71
7.1	Käytännön toteutus	71
7.2	Esitettävät	76
7.3	Mittausohje	76
7.4	Mittausraportti	76
8	POHDINTA	77
	LÄHTEET	79

LIITTEET

Liite 1. REM 545 suojaustoimintojen konfiguraatio

Liite 2. KytKentäkuva

Liite 3. Mittausohje

KUVIOT

Kuvio 1	Keskeytystilasto 2013 (Energiateollisuus 2014)	7
Kuvio 2	Yleisimmät sähköverkon häiriöt (Eaton N.D. 9)	7
Kuvio 3	Varmennetusta sähköjakeluverkon kaavio (Lopponen, A, 2011)	10
Kuvio 4	Ylikuormitussuojauksen toteutumisehto (Harsia, P, N.D.)	13
Kuvio 5	Johdonsuojakatkaisijoiden rajavirrat sekä toiminta-ajat (ST 53.45, 4)	14
Kuvio 6	Toimintakäyrät B-, C-, ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoille (Hager. N.D.)	15
Kuvio 7	Sulakkeiden toiminta-aikakäyrä (Harsia, P, 2008)	16
Kuvio 8	Siemensin valmistama kompaktikatkaisija (Siemens 2015)	19

Kuvio 9 TN-S järjestelmä (Lyytikäinen, H. 2011, 16).....	20
Kuvio 10 TN-C järjestelmä (Lyytikäinen, H. 2011, 17)	21
Kuvio 11 TN-C-S järjestelmä (Lyytikäinen, H. 2011, 17).....	21
Kuvio 12 IT-järjestelmä (Lyytikäinen, H. 2011, 18)	21
Kuvio 13 Vikasuojaukseen vaaditut virrat (Suunnittelutoimisto Hakala Oy, N.D.)....	23
Kuvio 14 Suurimmat sallitut poiskytkentäajat (SFS 6000-4-41, 93)	23
Kuvio 15 IP-luokituksen muodostuminen (Virtuaali AMK, N.D.).....	26
Kuvio 16 Ylijänniteluokat (SFS 6000-4-44, 156).....	28
Kuvio 17 Redundanttisuuden toteutus (ST-käsikirja 20, 39).....	31
Kuvio 18 Eatonin 550 kVA:n UPS-laitteisto (Eaton 2015)	33
Kuvio 19 On-Line UPS-laitteiston toimintaperiaate (ST 52.35.02, 4).....	34
Kuvio 20 Tasajännitemuuttaja UPS-laitteiston toimintaperiaate (ST 52.35.02, 4).....	35
Kuvio 21 Line-Interactive UPS-laitteiston toimintaperiaate (ST-käsikirja 20, 62)	36
Kuvio 22 Säätovaihtosuuntaajalla varustetun UPS-laitteisto. (ST-käsikirja 20, 63) ...	37
Kuvio 23 Off-Line UPS-laitteiston toimintaperiaate (ST20, 60)	38
Kuvio 24 Säästömuuntajalla varustettu Off-Line UPS (ST20, 61).....	39
Kuvio 25 Dynaaminen UPS, johon liitetty dieselgeneraattori (Jantunen M, 25).....	39
Kuvio 26 Staattinen kahden muunnoksen UPS huimamassalla (ST-käsikirja 20, 70)	41
Kuvio 27 Kahden muunnoksen dynaaminen UPS-toteutus (ST-käsikirja 20, 71).....	41
Kuvio 28 Samalle akselille jäykästi kytketty huimamassa (ST-käsikirja 20, s.72)	42
Kuvio 29 UPS, jossa säädetty suhteellinen voimansiirto. (ST-käsikirja 20, 72)	42
Kuvio 30 UPS-järjestelmäkoonpanojen luotettavuusvertailu (ST 52.35.02, 4).....	44
Kuvio 31 Eatonin UPS-laitteen valvontasovellus	45
Kuvio 32 Akkuhuone (Axen, A, 2012, 10).....	49
Kuvio 33 Dieselgeneraattorin rakenne (Leppänen, A. 2008, 5).....	53
Kuvio 34 Ylijännitekestoisuudet (Ahokas, T. 2011, 41).....	60
Kuvio 35 Konekennotermiinaali REM 545 (ABB N.D. 10).....	67
Kuvio 36 CAP 505 käyttöliittymä.....	69
Kuvio 37 Konekennotermiinaalin tilatiedot	70
Kuvio 38 Kytkenässä vaadittavat pääkomponentit	72
Kuvio 39 Kytkenässä vaadittavat apukomponentit.....	73
Kuvio 40 Vikavirtasuojattu lähtö	73
Kuvio 41 Säädetty vaihtojännitelähde 0-400V / 0-10 A	73
Kuvio 42 REM545:n mimiikkanäyttö.....	74

1 JOHDANTO

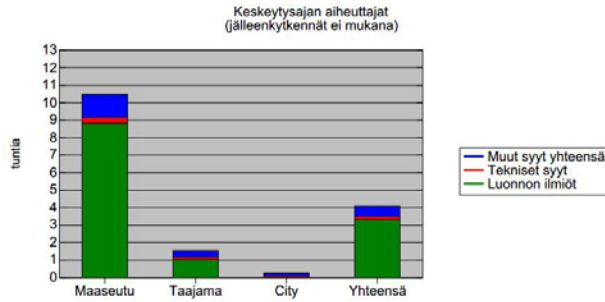
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä varmennettuun sähkönjakeluun ja sen suojauksiin. Lisäksi opinnäytetyöhön sisältyi laboratoriotyön suunnittelu sekä toteutus Jyväskylän ammattikorkeakoululle. Laboratoriotyö otetaan opetuskäyttöön syksyllä 2015. Laboratoriotyötä tehdessä tutustuin konekennotermiinaali REM 545:een ja sen ominaisuuksiin. Konekennotermiinaalilta valittiin tietyt suojausominaisuudet laboratoriotyötä varten, jonka jälkeen suojaukset simuloitiin. Simuloinnin jälkeen laadittiin ohjeistus laboratoriotyötä varten.

Opinnäytetyön tavoitteena oli oppia mahdollisimman paljon varmennetusta sähkönjakelusta sekä sen suojauksista. Lisäksi tavoitteena oli laatia toimiva laboratoriotyö opetuskäyttöön.

Aihealue rajattiin koskemaan varavoimajärjestelmiä sekä niiden suojausta. Generaattorin suojaus -osuudessa keskityttiin samoihin suojauksiin, joita käsiteltiin laboratoriotyössä.

2 SÄHKÖVERKON KATKOKSET JA HÄIRIÖT

Sähköverkoissa tapahtuvat jakeluhäiriöt ovat suurin syy miksi tarvitaan varavoimaa. Pääsääntöisesti häiriöt johtuvat teknisistä vioista tai luonnonilmiöistä. Teknisten vikojen aiheuttamat katkokset ovat yleensä kestoaltaan lyhyitä ja vika-alue saadaan rajattua erilleen muusta verkosta. Sään aiheuttamia riskejä ovat kova pakkanen, salammat, tulvat, lumi- ja jääkuormat sekä linjoille kaatuvat puut. Katkon pituus ja laajuus riippuu myös pitkälti säästä. Esim. kovan myrskyn aikana vikoja esiintyy paljon ja korjaustyöt hankaloituvat. Valtaosa sähköverkon vioista johtuu ilmassa kulkevista avojohdoista. Maahan kaivettu kaapelointi on varmempi, mutta myös kalliimpi ratkaisu. Kuviossa 1. on kuvattu vuoden 2013 keskeytystilasto ja kuviossa 2 yleisimmät sähköverkon häiriöt sekä niiden aiheuttajat. (Energiateollisuus 2014)



Kuvio 1 Keskeytystilasto 2013 (Energiatieteellisyys 2014)

1	Sähkökatko		Ei verkkovirtaa	Voi olla monta eri syytä:salamaniskut, voimajohtojen häiriöt, verkon ylikuormittuminen, onnettomuudet ja luonnonkatastrofit.
2	Lyhytaikainen alijännite		Lyhytaikainen jännitetason lasku	Syynä voi olla suurien kuormien käynnistäminen, sähkölaitoksen kytkentä tai laitteistovika, ukkonen tai sähkönsyöttö ei ole ollut riittävä kattamaan tarvetta. Muiden laitevikojen lisäksi alijännite voi vahingoittaa myös tietokonelaitteistoa.
3	Lyhytaikainen ylijännite		Lyhytaikainen ylijännite yli 110 % nimellisyjännitteestä	Salamanisku, joka voi nostaa pääjännitteen yli 6 000 voltin tasolle. Ylijännitepiikki aiheuttaa lähes aina tietojen häviämisen tai tietokonelaitteiston vaurioitumisen.
4	Pitkäaikainen alijännite		Jännitteen lasku, voi kestää muutamista minuuteista muutamiin päiviin.	Verkkojännitteen laskeminen sähkökulutuksen säästämiseksi, kun sähköntuotanto on hupussaan tai muiden suurten kuormitusten aikana, jotka ylittävät syöttökapasiteetin.
5	Pitkäaikainen ylijännite		Jännitteen nousu, voi kestää muutamista minuuteista muutamiin päiviin.	Syynä äkkinäinen tehokuormien lasku verkossa, raskaat laitteistot kytketty pois päältä tai sähkölaitoksen kytkentä. Voi aiheuttaa vaurioita tietokonelaitteistolle.
6	Suurtaajuinen häiriö		EMI-häiriön aiheuttama korkeataajuuksinen aaltomuoto	Syynä voi olla lähettimien, hitsauslaitteiden, SCR-käyttöisten tulostimien, salmaniskun trns. aiheuttama RFI- tai EMI-häiriö.
7	Taajuuden vaihtelut		Muutos taajuuden vakaudessa	Johtuu generaattorin tai pienten lisägeneraattorilaitosten latautumisesta tai tyhjentymisestä. Taajuuden vaihtelu voi aiheuttaa epäsuunnollista toimintaa, tietojen häviämistä, järjestelmän vikaantumisen ja laitevaurion.
8	Kytkeä-transientit		Äkillinen alijännite (notkahdus)	Samassa verkossa (kiinteistössä) sijaitsevat laitteet esim. kahvinkelvin, jääkaappi ja loistevalaisimet.
9	Harmoninen särö		Normaalin aaltomuodon vääristymä, yleensä epälineaaristen kuormien välittämä	Nopeussäätöiset moottorit ja käytöt, kopiokoneet ja faksit ovat esimerkkejä epälinearisista kuormista. Voi aiheuttaa tietoliikennehäiriöitä, ylikuormenemista ja tietokonelaitteiston vaurioita.

Kuvio 2 Yleisimmät sähköverkon häiriöt (Eaton N.D. 9)

Vuoden 2013 syyskuussa voimaantulleessa sähkömarkkinalaissa on määritelty sallitut pituudet sähkökatkoille:

Jakeluverkko on suunniteltava, rakennettava ja ylläpidettävä siten, että sähkönjakelu saa keskeytyä lumikuorman tai myrskyn vuoksi korkeintaan kuudeksi tunniksi taajama-alueella. Haja-asutusalueella sähkökatko saisi kestää korkeintaan 36 tuntia.

(588/2013 Sähkömarkkinalaki.)

3 VARMENNETTU SÄHKÖNJAKELU

Varmennetulla sähkönjakelulla tarkoitetaan verkkoa tai verkon osaa, jonka sähkönsaanti esim. sähkökatkon aikana halutaan turvata. Varmennetun sähkönjakelun järjestelmät jaetaan kahteen järjestelmätyyppiin: turvasyöttöjärjestelmiin sekä varavoimajärjestelmiin.

Turvasyöttöjärjestelmän avulla varmistetaan ihmisen turvallisuudelle tärkeiden laitteiden toiminta. Järjestelmä sisältää jännitelähteen ja johdon varmennettavalle kojeelle saakka sekä tietyissä tapauksissa myös varmennettavan kojeen. Turvasyöttöjärjestelmä toimii joko automaattisesti tai on käynnistettävä erikseen. Turvasyöttöjärjestelmien automaattiset kytketymsajat määritellään seuraavasti:

- katkeamaton
- hyvin lyhyt katko (alle 0,15 s)
- lyhyt katko (alle 0,5 s)
- keskipitkä katko (alle 15 s)
- pitkä katko (yli 15 s).

(SFS 6000-1, 84)

Lisäksi turvasyöttöjärjestelmän tehonlähteet tulee mitoittaa niin, että ne pystyvät ylläpitämään syöttöä tarpeeksi pitkän aikaa sekä ne on suojattava tulipalolta riittävän pitkäksi aikaa, mikäli laitteiston on toimittava tulipalon aikana. Turvasyöttöjärjestelmän kuormituskyky sekä kytkeytymisaikaluokka määräytyvät tapauskohtaisesti viranomaismääräysten sekä standardien mukaan. (ST-käsikirja 20, 53 - 54)

Tyypillisesti turvasyöttöjärjestelmää käytetään normaalin jakeluverkon rinnalla. Turvasyöttöjärjestelmiä käytetään mm. turvavalistus-, automaattisissa paloilmoitin- ja palovaroitin-, hoitajakutsu-, poistumisvalvonta- sekä päällekkäisyysjärjestelmissä. Tehonlähteinä turvasyöttöjärjestelmissä käytetään akustoja, paristoja sekä normaalista sähkönsyötöstä riippumattomia generaattoreita/erillistä jakeluverkon syöttöä. (SFS-6000-1, 84)

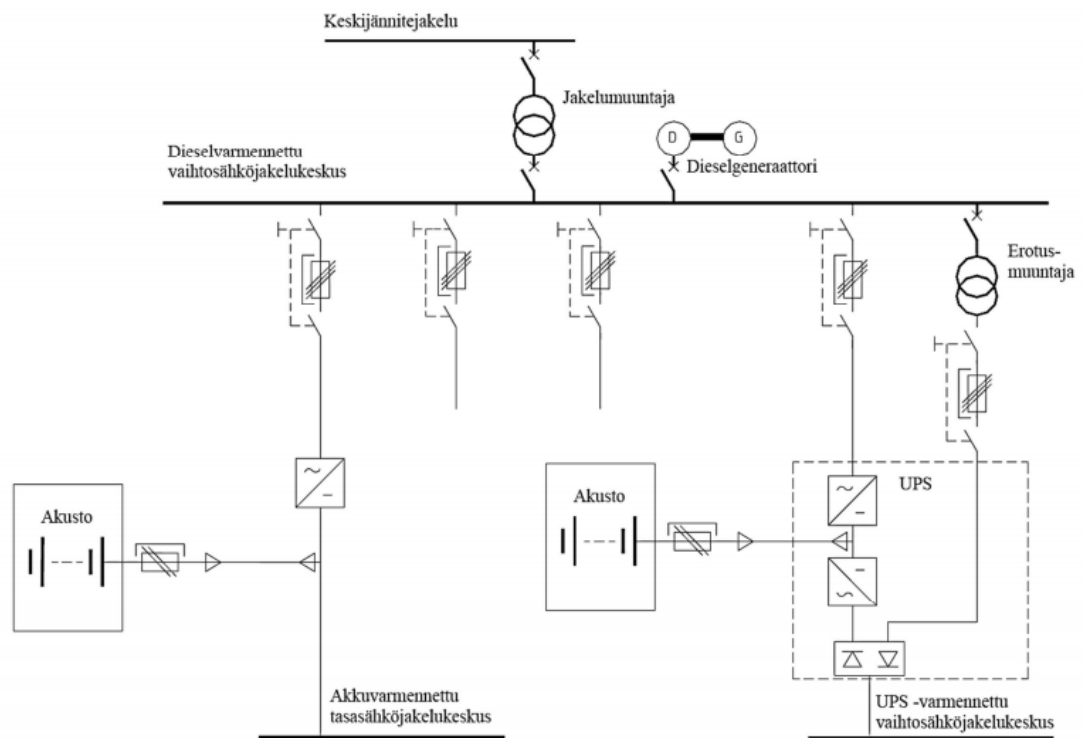
Varavoimajärjestelmän tarkoituksena taas on varmistaa muuhun kuin henkilöturvallisuuden liittyvän laitteen tai verkon toiminta normaalin syötön keskeytyessä. Varavoimajärjestelmän ominaisuudet, kuten kuormitettavuus, luotettavuus sekä käynnistysaika, on määriteltävä erikseen, mikäli viranomainen/asennuksen tilaaja esittää vaatimuksia varavoimajärjestelmän käyttöön liittyen. (Mts. 82)

3.1 Vaatimukset

Suunniteltaessa varmennettua sähkönsyöttöä on tehtävä tarvekartoitus jokaisesta projektiin vaikuttavasta seikasta, joita ovat mm. viranomaismääräykset (esim. yleisötilat, sairaalat, väestönsuojat), kohteen omat tarpeet (häiriötön toiminnan jatkuvuus/hallittu alasajo, taloudellisten vahinkojen välttäminen), laitevalinnoista sekä varmennuskohdeesta johtuvat mitoitusvaatimukset, ylläpitomahdollisuudet sekä mahdolliset järjestelmien muutokset käyttöaikana. Lisäksi varmennettavat kuormitukset on jaettava varmennuskeinon (varavoima/UPS) sekä kuorman hankaluuden mukaisiin ryhmiin. Esimerkiksi vastustyyppiset kuormat tai pienehköt nimellistehonsa mukaan käsiteltävät kolmivaihemoottorit ovat helppoja kuormia kun taas vaikeita ovat suuret, raskaasti käynnistyvät oikosulkumoottorit tai -ryhmät, jotka käynnistyessään alentavat taajuutta/jännitettä. (ST-käsikirja 20, 18–19)

3.2 Verkon rakenne

Varmennettu sähköjakoalue voidaan toteuttaa joko keskitetysti tai hajautetusti. Suunniteltaessa varmennettua verkkoa on pyrittävä säilyttämään se mahdollisimman yksinkertaisena. Yksinkertainen verkko on tarvittaessa helpompi huoltaa aiheuttamatta ylimääräisiä käyttöriskejä sekä sitä on myös helpompi hallita. Yli 1 MVA:n varmennetun verkon toimintaa on syytä hajauttaa, jotta verkon hyvä käytettävyys säilyisi. Hajautetut laajemmat verkot käsittävät myös usein vaihtoehtoisia syöttöreittejä mikäli käytön aikana esiintyy poikkeuksellisia tilanteita. Kuviossa 3 on esimerkkikaavio varmennetusta sähköjakoalueesta.



Kuvio 3 Varmennetusta sähköjakoalueen kaavio (Lopponen, A, 2011)

Jakoalueen suunnittelussa tulee huolehtia sen eri osa-alueiden sovittamisesta turvalliseksi sekä toimivaksi sähköjakoalueksi. Esim. jakoalue, joka sisältää useita teholähteitä (UPS-laitteita, varavoimageneraattoreita, muuntajia) on vaativa suunnittelukohta. Verkon suunnitteluun vaikuttavia osa-alueita ovat mm. kaikissa verkon käyt-

tötilanteissa voimassa olevien määräysten täytyminen sekä vikasuojauksen toteutuminen, suojalaitteiden selektiivinen toiminta mahdollisissa häiriötilanteissa, varasyötöyhteyksissä käytettävät useat syöttölähteet sekä tarvittavien viankorjaus- ja ylläpito-toimenpiteiden suorittaminen ilman merkittävää käytettävyyden heikkenemistä. (ST-käsikirja 31, 32-33)

3.3 Suojaus

Varmennetun verkon suojaus toteutetaan pitkälti samalla periaatteella ja ehdoilla kuin normaali jakeluverkko, jonka tilalla varmennettu verkko tarvittaessa toimii. Varmennetun verkon olosuhteet ja ehdot poikkeavat normaalista verkosta siten, että varmennetun verkon vikavirran syöttökyky on pienempi kuin normaalissa syöttötilanteessa. Tämän vuoksi suojalaitteiden toiminta on suunniteltava sekä määriteltävä toimimaan myös varmennetun verkon suojana. (ST-käsikirja 20, 151)

Varmennetussa verkossa sähkön syöttölähteinä käytetään generaattoreita, UPS-laitteita tai akustoja. Esimerkiksi generaattorin tuottama oikosulkuvirta on pieni verrattuna normaalissa jakeluverkossa muuntajan kautta tulevaan vikavirtaan. Oikosulkuvirta rajoittaa UPS-laitteen käyttötilanteessa sen puolijohteiden ylivirtasuojaus. Usein UPS-laitteet on varustettu staattisella ohituskytkimellä, jonka avulla vikatapauksessa siirretään UPS-verkon syöttö normaalin verkon puolelle. Syöttö palautuu automaattisesti UPS-laitteelle vian poistuttua. (Mts. 151)

Varmennettua verkkoa suunniteltaessa sekä toteutettaessa on huomioitava kuormitusvirta, oikosulku- ja maasulkuvirrat sekä niiden vaihtelut. Verkon terminen sekä mekaaninen lujuus tulee toteuttaa vastaamaan käyttöä sekä kestäämään virtojen vaihtelut. Lisäksi verkon laitteiden sekä johtojen on kestävä aiheuttamatta vaaraa ympäristölle kuormituksen lisäksi ulkopuolisessa verkossa tapahtuvien oiko- ja maasulkujen aiheuttamat termiset sekä mekaaniset rasitukset. (Mts. 152)

Turvallisuuden edellyttämien vaatimusten täytyminen toiminta-aikojen ja toimintojen suhteen tulee ensisijaisesti huomioida suunniteltaessa sekä toteutettaessa varmennetun

verkon suojausta. Tärkein tavoite käytön kannalta on suojauksen toteutus siten, että toiminta, jota verkolla varmennetaan, jatkuisi mahdollisimman häiriöttömästi. (Mts. 152)

3.3.1 Ylikuormitussuojaus

Ylikuormitussuojan täytyy aina täyttää seuraavat ehdot:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (2)$$

I_b = virtapiirin mitoitusvirta

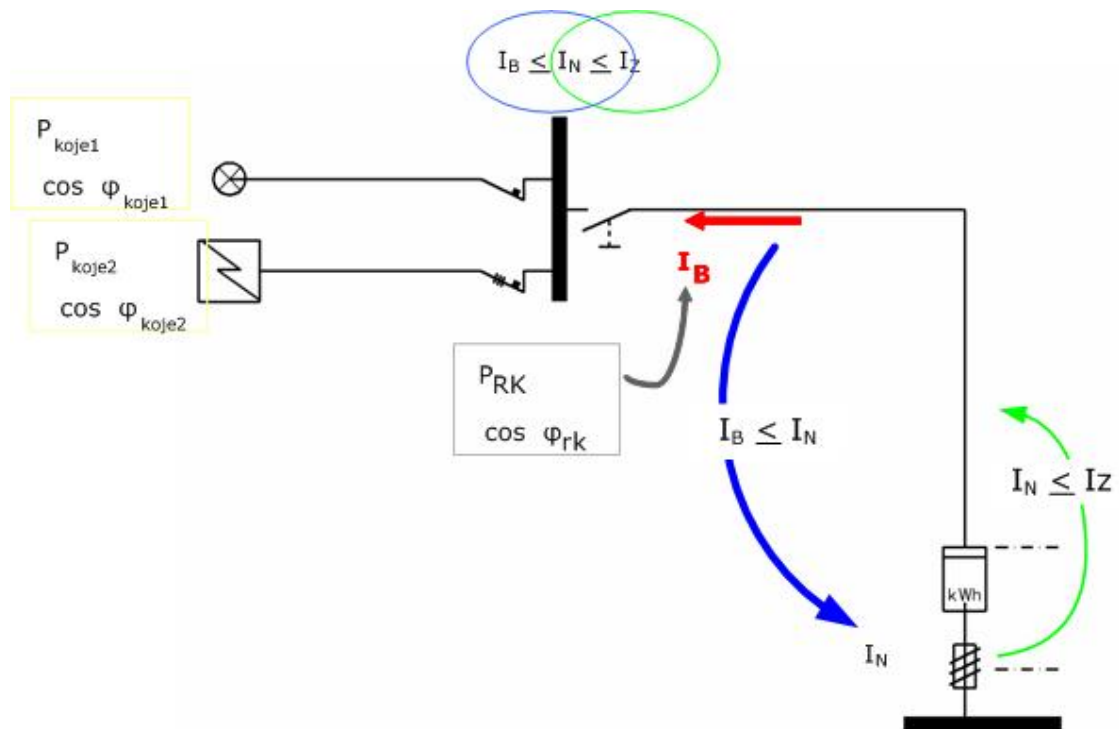
I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus

I_n = suojalaitteen nimellisvirta tai säädettävässä releessä asetusarvo

I_2 = suojalaitteen toimintarajavirta

(SFS 6000-4-43, 130)

Kaavan (1) mukaan suojalaitteen mitoitusvirta I_n pitää olla suurempi kuin johdon normaali kuormitusvirta I_b . Johdon kuormitettavuuden (eli virta, jolla johto ei vielä lämpene liikaa asennusolosuhteissaan) I_z pitää olla suurempi kuin sitä suojaavan suojalaitteen mitoitusvirta I_n . Tämä käy ilmi myös kuviossa 4. (Harsia, P, 2008)



Kuvio 4 Ylikuormitussuojauksen toteutumisehto (Harsia, P, N.D.)

Kaavan (2) mukaan virta I_2 , jolla suojalaite toimii tavanomaisessa ajassa, tulee olla pienempi kuin $1,45 \cdot$ johdon suurin sallittu kuormitusvirta I_Z niissä olosuhteissa, joihin se on asennettu. Toimintarajavirta I_2 riippuu suojalaitteesta ja se saadaan laites-tandardeista. (Virtuaali AMK, N.D.)

Varmennetun verkon ylikuormitussuojaus toteutetaan verkon syöttöjohdon, siihen liit-tyvien järjestelmien syöttölähtöjen sekä laitteiden osalta. Kaapeleiden suurin sallittu virta I_Z määritellään standardin SFS 6000-5-52 mukaan. Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa seuraavilla suojilla:

- Johdonsuojakatkaisijoilla
- Katkaisijan avulla
- Sulakkeilla

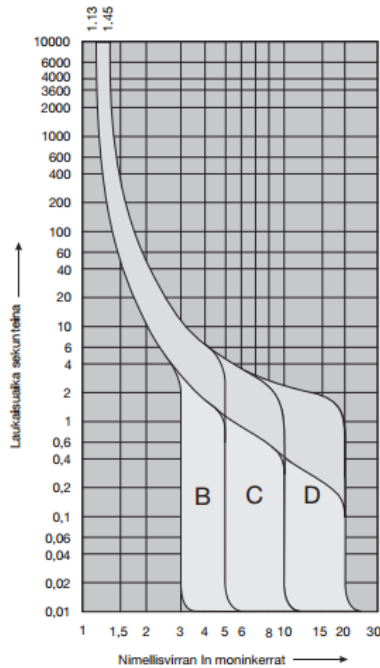
(ST-käsikirja 20, 153-154)

Johdonsuojakatkaisijoilla toteutettaessa voidaan ylikuormitussuoja valita johdon kuormitettavuuden I_z mukaan. Esim. jos johdon kuormitettavuus I_z on 10 A, valitaan ylikuormitussuojaksi 10 A johdonsuojakatkaisija. Kuviossa 5 on esitelty johdonsuojakatkaisijoiden toimintakäyrien rajavirrat sekä toiminta-ajat. Mitoituksessa tulee huomioida myös suojalaitteen terminen rajavirta, joka on B-, C- ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoilla $1,45 \cdot I_n$ ja K- ja Z-tyypin johdonsuojakatkaisijoilla $1,2 \cdot I_n$. (Mts. 153-154)

	Ylikuormitussuojaus		Oikosulkusuojaus	
	$>1 \text{ h}$ $\times I_n$ Pito	$<1 \text{ h}$ $\times I_n$ Laukaisu	$>100 \text{ ms}$ $\times I_n$ Pito	$<100 \text{ ms}$ $\times I_n$ Laukaisu
B	1,13	1,45	3	5
C	1,13	1,45	5	10
D	1,13	1,45	10	20
K	1,05	1,2	8	12
Z	1,05	1,2	2	3
A	1,13	1,45	2	3

Kuvio 5 Johdonsuojakatkaisijoiden rajavirrat sekä toiminta-ajat (ST 53.45, 4)

B-tyypin johdonsuojakatkaisijat soveltuvat resistiivisten kuormien, lämmityksen, valaistuksen sekä ohjauspiirien suojaukseen, C-tyypin katkaisijat soveltuvat samoihin kuin B-tyyppi, mutta lisäksi myös induktiivisten sekä kapasitiivisten kuormien suojaukseen. D-tyypin katkaisijoita käytetään voimakkaasti kapasitiivisten tai induktiivisten kuormien suojaukseen. K-tyypin katkaisijat soveltuvat myös samoihin tilanteisiin kuin D-tyypin katkaisijat sekä lisäksi automaation, instrumentoinnin, moottorien, muuntajien, kojeiden sekä laitteiden suojaukseen. Z- ja A-tyypin johdonsuojakatkaisijat taas soveltuvat puolijohteiden ja mittamuuntajien suojaukseen. Johdon kuormitettavuudessa on huomioitava myös asennustapa ja siitä johtuvat korjauskertoimet standardin SFS 6000-5-52:n mukaisesti. Kuviossa 6 on kuvattu B-, C ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden toimintakäyrät. (Mts. 153-154)



Kuvio 6 Toimintakäyrät B-, C-, ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoille (Hager. N.D.)

Katkaisijalla toteutettavassa ylikuormitussuojauksessa aseteltavan suojarleen pitkäaikaisasettelu saa olla enintään johdon kuormitettavuuden I_z suuruinen. Säädetävällä releellä varustetussa katkaisijassa edellä kaavassa 1 mainittu suojalaitteen mitoitusvirta I_n on releen säätöarvo. Tällöin on huomioitava, että ylikuormitussuojarleen maksimiasetusarvo voi olla suurempi kuin I_z ja on varmistuttava siitä, ettei releen asetteluarvoja muuteta liian suureksi. (ST-kortti 53.45, 4-5)

Sulakkeilla toteutettaessa ylikuormitussuojausta tulee huomata, että sulakkeiden ylempi sulamisrajavirta on yleensä suurempi kuin $1,45 * \text{sulakkeen nimellisvirta}$. Tästä johtuen ylikuormitussuojaa ei voi suoraan valita johtimen kuormitettavuuden mukaan, vaan sulakkeen nimellisvirran I_n tulee olla kaavan 3 mukainen. Kuviossa 7 on esitettyä sulakkeiden toiminta-aikakäyrä.

$$I_n \leq \left(\frac{1}{k}\right) * 1,45 * I_z \quad (3)$$

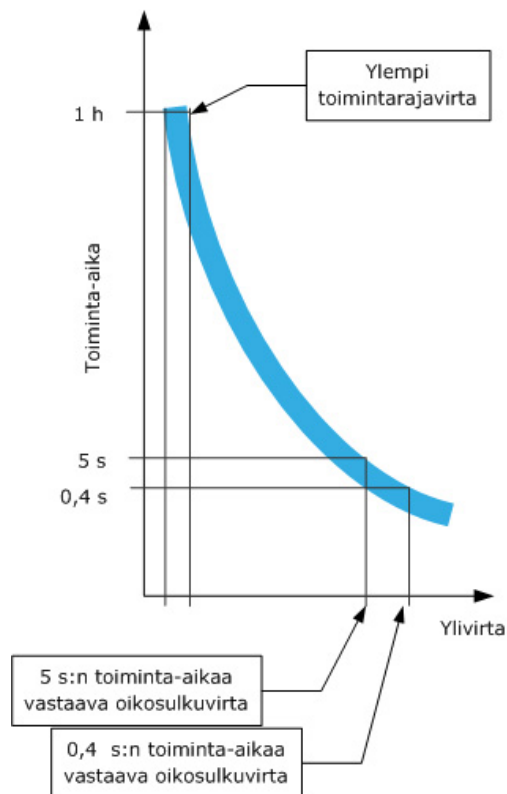
I_n = suojalaitteen nimellisvirta [A]

I_z = johtimen jatkuva kuormitettavuus [A]

k = sulakkeen ylempään sulamisrajavirran ja sulakkeen nimellisvirran suhde.

Sulaketyypit:

- A- ja Z-tyyppi, joita käytetään puolijohteiden, tyristorien, diodien ja mitta-
muuntajien suojaukseen
- D-tyyppi, eli kosketussuojalla varustettu sulake
- g-tyyppi, joka soveltuu oikosulku- sekä ylikuormitussuojaksi
- G-tyyppi, joka on tarkoitettu johdonsuojaukseen
- a-tyyppi, joka on oikosulkusuojaksi soveltuva sulake
- M-tyyppi, jota käytetään moottoripiirin suojaukseen



Kuvio 7 Sulakkeiden toiminta-aikakäyrä (Harsia, P, 2008)

Suojauksessa tulee myös ottaa huomioon mahdollinen nollajohtimen kuormitus. Normaaliikäytössä nollajohtimen virta on lähes 0, koska kuormituksen pitäisi jakautua tasaisesti vaiheiden kesken. Mikäli jossain vaihejohtimessa on epätasapainoa, saattaa nollajohtimessa kulkea virtaa. Virta saattaa johtua myös kolmivaihepiirien harmoni-

sista yliaalloista. Mikäli yliaaltojen osuus on yli 10 %, nollajohdin ei saa olla vaihejohtimia pienempi. Nollajohdin tulee suojata, mikäli sen poikkipinta-ala on pienempi kuin vaihejohdinten. Suojan pitää kytkeä vaihejohtimet pois, muttei nollajohdinta. (ST-käsikirja 20, 157; SFS 6000-4-43, 128)

Nollajohtimen saa kuitenkin jättää suojaamatta mikäli molemmat seuraavista ehdoista täyttyvät:

- Nollajohtimen oikosulkusuojaus hoidettu vaihejohtimien suojalaitteen avulla
- Nollajohtimen läpi kulkeva suurin todennäköisin virta on huomattavasti pienempi kuin johtimen kuormitettavuus

Nollajohtimen poikkipinnan on oltava vähintään yhtä suuri kuin vaihejohtimen

- yksivaihepiirissä johtimen poikkipinnasta riippumatta
- monivaihepiirissä, kun vaihejohtimien poikkipinta on enintään 16 mm^2 Cu tai 25 mm^2 Al.

(SFS 6000-5-52, 225)

Monivaihepiireissä, joissa kaikkien vaihejohtimien poikkipinta on suurempi kuin 16 mm^2 Cu tai 25 mm^2 Al, nollajohtimen poikkipinta saa olla pienempi kuin vaihejohtimien, jos

- nollajohtimessa esiintyvä suurin virta on pienempi kuin nollajohtimen kuormitettavuus
- nollajohdin on suojattu yllä olevan periaatteen mukaan
- nollajohtimen poikkipinta on vähintään 16 mm^2 Cu tai 25 mm^2 Al

(ST-käsikirja 20, 157)

Ylikuormitussuojien valinnat sekä asetelut on tehtävä niin, ettei yhden virtapiirin ylikuormitus estä muiden virtapiirien oikeaa toimintaa. Myös virtapiirin selektiivisyys ja riittävän nopea vian erottaminen tulee varmistaa. (Mts. 158)

3.3.2 Oikosulkusuojaus

Oikosulkusuojaus tulee olla jokaisessa virtapiirissä ja sen tulee toimia siten, että se katkaisee piirin oikosulkuvirran ennen kuin piirin johdinten ja liitosten lämpötilan nousu tai mekaaniset vaikutukset ehtivät aiheuttaa vaaraa. Oikosulkuvirta on määriteltävä asennusten eri pisteissä joko mittaamalla tai useimmiten laskemalla. Laskennan avulla voidaan määrittää virrat sekä minimi-, että maksimitilanteissa. Minimitilanteessa laskentaa hyödynnetään suojauslaitteiden toiminnan tarkistamiseksi ja maksimitilanteessa johtojen sekä kojeiden kestoisuuksien määrittelyä varten. (ST-käsikirja 20, 158)

$$t = \left(\frac{k \cdot A}{I} \right)^2 \quad (4)$$

$$t = \left(\frac{I_{TH}}{I_{Term}} \right)^2 \quad (5)$$

t = aika, jonka kuluessa johtimen lämpötila nousee sallittuun rajalämpötilaan. [s]

k = johdinmateriaalista, – eristyksestä sekä johtimen alku- ja loppulämpötiloista riippuva kerroin.

A = johtimen poikkipinta-ala [mm²]

I = oikosulkuvirran tehollisarvo [A]

I_{TH} = kaapelin sallittu termisen 1 sekunnin oikosulkuvirran tehollisarvo [A]

I_{Term} = termisen 1 sekunnin oikosulkuvirran tehollisarvo

Oikosulkusuojaus suurin sallittu toiminta-aika lasketaan joko kaavan 4 tai kaavan 5 avulla. (Puttonen, P, N.D.)

Oikosulkusuojaus kuuluu yleensä osaksi ylivirtasuojausta, johon lisäksi kuuluu ylikuormitussuojaus. Oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa joko sulakkeilla, johdonsuojakatkaisijalla tai katkaisijalla. Katkaisijoilla toteutettua suojausta kutsutaan myös sulakkeettomaksi suojaukseksi. Suurin osa asennusten ylivirtasuojauksista perustuu sulak-

keelliseen suojaukseen. Valitun oikosulkusuojauksen katkaisukyvyyn tulee olla suurempi kuin katkaisukohdalla esiintyvä oikosulkuvirta. Mikäli suojalaitteen syöttöpuolella on riittävän katkaisukyvyyn omaava toinen suojalaite, sallitaan poikkeuksena pienempi katkaisukyky. (SFS 6000-4-43, 132) Tämä poikkeus esiintyy yleensä asennuksissa, joissa jakelu on suojattu tulppasulakkeilla/johdonsuojakatkaisijoilla ja näiden ryhmien edessä on kahvasulake, joka toimii oikosulkuvirtaa rajoittavasti. Kahvasulakkeen I_n yleensä riittää 630 A:iin saakka. Yleisin katkaisukyky niillä on 50 kA. Johdonsuojakatkaisijoilla nimellisvirta ulottuu 125 A:iin ja niiden katkaisukyky on 3-50 kA.

Pienjännitteisten kompaktikatkaisijoiden nimellisvirta- ja katkaisukykyalueet puolestaan ovat 63–1600 A ja 1–100 kA ja ilmakatkaisijoiden vastaavasti 800–6300 A ja 40–150 kA. Kuviossa 8 on esiteltyä ABB:n valmistama kompaktikatkaisija (Mts. 159)



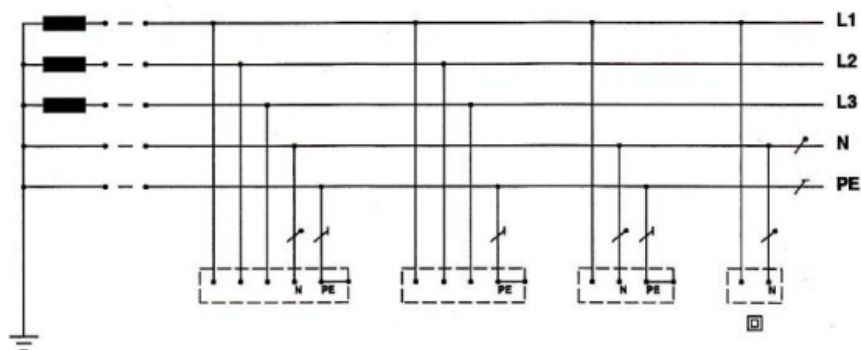
Kuvio 8 Siemensin valmistama kompaktikatkaisija (Siemens 2015)

3.3.3 Kosketusjännitesuojaus eli vikasuojaus

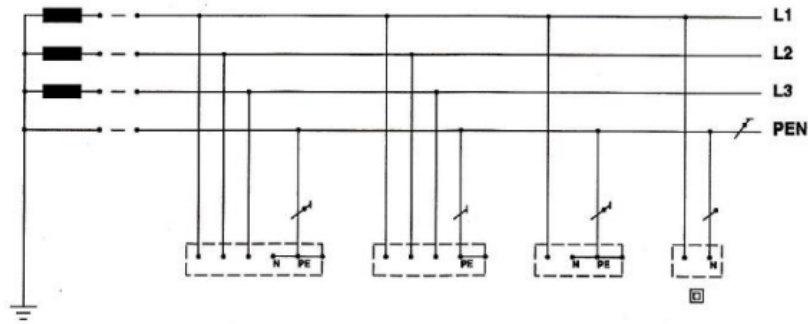
Kosketusjännitesuojauksen on tarkoitus estää ihmisiä tai kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteelliseksi tulleita johtavia osia niin, että siitä aiheutuisi vaaraa. Vikatapauksissa yleisimmin käytetty suojausmenetelmä on syötön automaattinen poiskytkentä. Vian sattuessa se kytkeytyy automaattisesti pois tai kosketusjännitettä rajoitetaan. (SFS 6000-1, 30)

Mikäli johdossa on suojajohdin, toteutetaan suojaus TN- ja TT-järjestelmissä sekä IT-järjestelmissä automaattisen poiskytkennän avulla. Suojalaitteina käytetään ylivirtasuojalaitteita sekä vikavirtasuojakytkimiä, IT-järjestelmissä eristystilan jatkuvaa valvontaa. Suomessa 400/230 V jakelujärjestelmänä käytetään yleisimmin TN-S-järjestelmää (Kuvio 9), ja osittain vanhemmissa asennuksissa TN-C-järjestelmää (Kuvio 10). Käytössä on myös näiden yhdistelmä TN-C-S-järjestelmä (Kuvio 11). Teollisuuden prosessisähköjakelussa 500 V:n ja 690 V:n tasolla on yleisimmin käytössä suurirohmisesti maadoitettu IT-järjestelmä (Kuvio 12). Sairaaloiden leikkaussaleissa on käytössä IT-järjestelmä, jossa ensimmäinen maasulku ei aiheuta käyttökeskeytystä. TT-järjestelmää ei juurikaan käytetä Suomessa. (ST-käsikirja 20, s. 170-171)

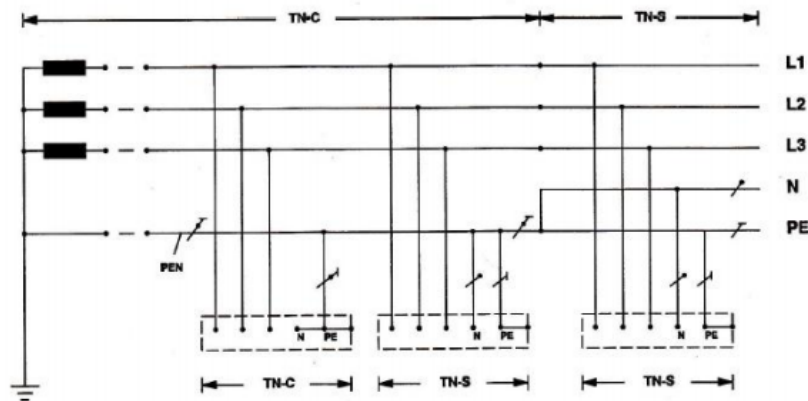
Mikäli johdossa ei ole suojajohdinta, automaattista poiskytkentää ei käytetä, vaan suojausvaihtoehdot ovat: suojaeristys, käyttöpaikan eristys, maasta erotettu paikallinen potentiaalitasaus tai suojaerotus.



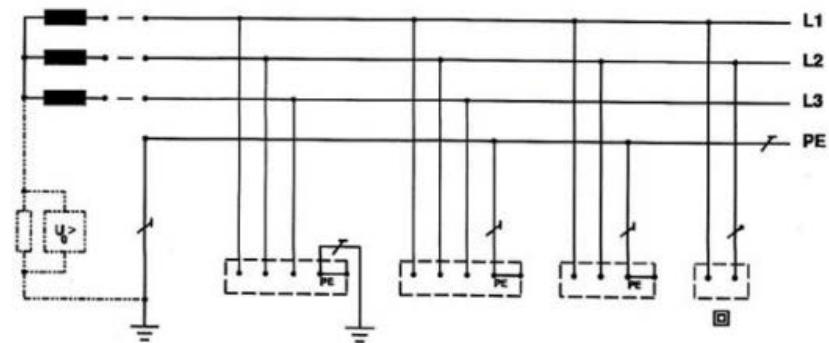
Kuvio 9 TN-S järjestelmä (Lyytikäinen, H. 2011, 16)



Kuvio 10 TN-C järjestelmä (Lyytikäinen, H. 2011, 17)



Kuvio 11 TN-C-S järjestelmä (Lyytikäinen, H. 2011, 17)



Kuvio 12 IT-järjestelmä (Lyytikäinen, H. 2011, 18)

Automaattisen syötön poiskytkennän on toimittava niin, että jännitteisen ja jännitteelle alttiin osan välisen vian aikana normaaleja kosketusjännitteen raja-arvoja (50 VAC ja 120 VDC) suurempia arvoja ei esiinny niin kauan, että siitä aiheutuisi haitallisia vaikutuksia henkilöön.

Lisäksi piirin impedanssin sekä suojalaitteiden ominaisuuksien on oltava sellaisia, että syöttö kytkeytyy pois vaaditussa ajassa. Poiskytketymisen on tapahduttava missä tahansa kohdassa piiriä tapahtuvassa oikosulussa, joka syntyy suoja- ja äärijohtimien tai jännitteelle alttiin osan välille alhaisen impedanssin kautta.

Kaavan 6 mukaisen ehdon on oltava voimassa:

$$Z_s * I_a \leq U_0 \quad (6)$$

Z_s = vikapiirin impedanssi, joka käsittää jännitelähteen, äärijohtimen vikapaikkaan saakka sekä suojajohtimen vikapaikan ja jännitelähteen välillä [Ω]

I_a = virta, jolla suojalaite toimii standardin mukaisessa ajassa enintään 32 A suojalla suojatuilla ryhmäjohdoille, tai 5 sekunnissa pääjohdoille ja yli 32 A suojalla suojatuilla ryhmäjohdoilla. [A]

U_0 = vaihejännite (nimellisjännite maahan) [V]

(SFS 6000-4-41, 95)

Suurimmat sallitut vian poiskytkentäajat vaihejännitteillä TN-järjestelmässä ovat:

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

(SFS 6000-4-41, 93)

Kuviossa 13 on esitetty vaadittuja oikosulkuvirtoja joilla erityyppiset suojalaitteet toimivat 0,2, 0,4 tai 5 sekunnissa.

Pienimmät oikosulkuvirrat, jolla erilaiset suojalaitteet toimivat 0,2, 0,4 tai 5,0 sekunnissa					
Suojalaitteen nimellisvirta A	Pienin sallittu yksivaiheinen oikosulkuvirta A				
	Johdonsuojakatkaisijat				
	B-tyyppi 0,2, 0,4 s ja 5,0 s	C-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	C-tyyppi 5,0 s	D-tyyppi 0,2 ja 0,4 s	D-tyyppi 5,0 s
	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo/ mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo	Lask.arvo / mitattu arvo
6	30 / 38	60 / 75	42 / 55	120 / 150	42 / 55
10	50 / 65	100 / 125	70 / 90	200 / 250	70 / 90
16	80 / 100	160 / 200	112 / 140	320 / 400	112 / 140
20	100 / 125	200 / 250	140 / 180	400 / 500	140 / 180
25	125 / 160	250 / 320	175 / 220	500 / 630	175 / 220
32	160 / 200	320 / 400	225 / 280	640 / 800	225 / 280
40	200 / 250	400 / 500	280 / 350	800 / 1000	280 / 350
50	250 / 320	500 / 630	350 / 440	1000 / 1250	350 / 440
63	315 / 400	630 / 790	440 / 550	1260 / 1600	440 / 550
80	400 / 500	800 / 1000	560 / 700	1600 / 2000	560 / 700
125	625 / 780	1250 / 1570	875 / 1100	2500 / 3130	875 / 1100

Kuvio 13 Vikasuojaukseen vaaditut virrat (Suunnittelutoimisto Hakala Oy, N.D.)

Kuviossa 14 on esitetty suurimmat sallitut poiskytkentäajat korkeintaan 32 A:n suojalaitteella suojatuille ryhmäjohtoille. Suuremmat (enintään 5 s.) poiskytkentäajat ovat sallittuja pääjohtoilla sekä yli 32 A:n ylivirtasuojalla suojatuilla johtimilla.

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

Taulukko 41.1 Suurimmat sallitut poiskytkentäajat

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

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

U_0 on nimellinen tasa- tai vaihtojännite äärijohtimesta maahan.

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

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

Kuvio 14 Suurimmat sallitut poiskytkentäajat (SFS 6000-4-41, 93)

Mikäli samaan pääjohtoon/jakokeskukseen on kytketty ryhmäjohtoja, joilta edellytetään yllä mainittuja lyhempiä pois kytkentäaikoja, pitää toisen seuraavista ehdoista olla voimassa:

- Suojajohtimen impedanssi ei ylitä jakokeskuksen ja sen pisteen välillä arvoa $50 V/U_0 * Z_s$, jossa suojajohdin on kytketty pääpotentiaalintasaukseen.
- Jakokeskuksen luona on potentiaalinen tasaus, johon on liitetty paikalliset johtavat osat kuin pääpotentiaalintasaukseen.

(ST-käsikirja 20, 172)

Kosketusjännitesuojauksen luotettava toteutus edellyttää, että tunnetaan seuraavat arvot:

- Jännitelähteen impedanssi
- Johtojen impedanssit ja pituudet
- Sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät, joiden avulla tarkistetaan poiskytkentäajat.

(Mts. 172)

Varmennettuun verkkoon toteutettaessa kosketusjännityssuojausta on ongelmana, että varmentava syöttölähde (generaattori, UPS-laitteisto tai akusto) ei yleensä kykene tuottamaan niin suurta oikosulkuvirtaa kuin normaali verkko. Tästä syystä automaattisesti irti kytkeytyvän suojauksen toteutus katkaisijoilla, johdonsuojakatkaisijoilla tai sulakkeilla ei aina ole mahdollista. Tällöin suojaus toteutetaan vikavirtasuojakytkimillä tai alijännitelaukaisuilla. Suojausehtojen tarkistus edellyttää oikosulkuvirtojen laskemista sekä verkon tuntemista. (Mts. 173)

Mikäli syötön nopealla poiskytkennällä ei pystytä toteuttamaan vaadittua kosketusjännitesuojausta, on tehtävä lisäpotentiaalintasaus, johon pitää sisällyttää kaikki samanaikaisesti kosketeltavat kiinteiden sähkölaitteiden jännitteelle alttiit sekä muut johtavat osat. Jos mahdollista, siihen on lisäksi yhdistettävä rakennuksen betonirakenteiden pääteräkset. Lisäpotentiaalintasausjärjestelmä on liitettävä yhteen tilassa olevien lait-

teiden, myös pistorasioiden, suojohtimien kanssa. Edellä esitetty lisäpotentiaalintasaus soveltuu silloin, kun lattia on eristävä tai se voidaan liittää lisäpotentiaalintasaukseen. (Mts. 175)

Samanaikaisesti kosketeltavien jännitteelle alttiiden osien ja muiden johtavien osien välisen resistanssin pitää olla kaavan 7 mukainen:

$$R \leq \frac{50 \text{ V}}{I_a} \quad (7)$$

I_a = suojalaitteen toimintavirta [A] eli vikavirtasuojakytkimellä I_n [A] ja ylivirtasuojilla 5 sekunnin toiminta-aika. (SFS 6000-4-41, 107)

3.3.4 Kosketussuojaus

Kosketussuojauksen tarkoituksena on estää ihmisiä joutumasta kosketuksiin jännitteisiin osiin sähkölaitteiden ollessa ehjiä sekä normaalissa käyttötilassa.

Kosketussuojaus voidaan toteuttaa seuraavilla menetelmillä:

- suojaus käyttämällä eristystä tai kotelointia ja suojuksia
- suojaus käyttämällä esteitä tai sijoittamista kosketusetäisyyden ulkopuolelle
- suojaus käyttämällä herkkää vikavirtasuojakytkintä.

Eristyksen avulla estetään kaikenlainen jännitteisten osien koskettelu. Jännitteiset osat on peitettävä kokonaan eristyksellä. Eristysten on täytettävä kyseistä laitetta koskevien standardien vaatimukset. Kosketussuojaukseen käytetyn peruseristyksen lisäksi pitää kosketusjännitesuojaus toteuttaa yleensä myös soveltuvalla menetelmällä. Koteloinnin ja suojuksien avulla estetään jännitteisten osien kaikenlainen koskettaminen. (ST-käsikirja 20, 176)

Jännitteisten osien on oltava sellaisen kotelon sisällä tai sellaisen suojuksen takana, joka antaa vähintään kotelointiluokan IP2X tai IPXXB mukaisen suojan. (SFS 6000-4-41, 108)

Osat	Numerot tai kirjaimet	Merkitys laitesuojauksessa	Merkitys henkilösuojauksessa
Ensimmäinen tunnus-Numero IPXX	0 1 2 3 4 5 6	Suojattu vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsystä Suojaamaton Kun halkaisija ≥ 50 mm Kun halkaisija $\geq 12,5$ mm Kun halkaisija $\geq 2,5$ mm Kun halkaisija $\geq 1,0$ mm Pölysuojatusti pölytiiviisti	Vaaralliset osat kosketussuojattu: suojaamaton nyrkiltä sormelta työkalulta langalta langalta langalta
Toinen tunnus-Numero IPxX	0 1 2 3 4 5 6 7 8	Suojattu veden sisäänpääsyn haitalliselta vaikutukselta Suojaamaton Pystysuoraan tippuvalta vedeltä Tippuvalta vedeltä (kallistus 15°) Satavalta vedeltä Roiskuvalta vedeltä Vesisuihkulta Voimakkaalta vesisuihkulta Lyhytaikaisesti upotettuna Jatkuvasti upotettuna	
Lisäkirjaimet	A B C D		Vaaralliset osat kosketussuojattu: Nyrkiltä Sormelta Työkalulta langalta
Täydentävä kirjain	H M S W	Suurjännitelaitte Vesisuojaus koestettu laitteen ollessa käynnissä Vesisuojaus koestettu laitteen ollessa pysähdyksissä Laitte on koestettu erityisiin sääolosuhteisiin	

Kuvio 15 IP-luokituksen muodostuminen (Virtuaali AMK, N.D.)

IP-koodi määritellään seuraavasti:

- ensimmäinen numero ilmaisee kosketussuojauksen asteen
- toinen numero ilmaisee suojauksen veden sisäänpääsyn suhteen
- lisäkirjain ilmaisee vaarallisen kosketussuojauksen asteen.

Lisäkirjainta käytetään vain, jos todellinen kosketussuojaus on parempi kuin ensimmäisellä tunnusnumerolla esitetty tai vain vaarallisten osien kosketussuojaus ilmoitetaan sekä ensimmäinen tunnusnumero on korvattu kirjaimella X. IP-koodin muodostus esitelty myös kuviossa 15. (ST-käsikirja 20, 176-177)

Alempi kotelointiluokka kuin edellä mainitut sallitaan, mikäli osia esim. lamppuja/varokkeita vaihdettaessa syntyy suurempia aukkoja. Tällöin on varotoimin estettävä jännitteisten osien tahaton koskettelu. Helposti kosketeltavien suojuksien ja koteloiden vaakasuorien yläpintojen on muodostettava vähintään kotelointiluokan IP4X tai IPXXD mukainen suojaus. Tiloissa, joissa lapset oleskelevat ja leikkivät, tulee pistorasioiden olla turvapistorasioita, ellei niitä ole sijoitettu niin, etteivät lapset pääse niihin käsiksi. (Mts. 178)

Jännitteisten osien tahaton kosketus pyritään suojaamaan esteiden avulla. Tahallinen kosketus onnistuu kuitenkin esteen kiertämällä. Esteen on estettävä tahaton ylettyminen jännitteellisiin osiin ja paljaiden jännitteisten osien tahaton koskettaminen laitteen ollessa normaalissa käytössä. Suojausta sijoittamalla jännitteiset osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle sovelletaan esimerkiksi ilmajohdoissa. (Mts. 178)

Eristyksen/koteloinnin pettäessä esimerkiksi puutteellisen huollon, eristeiden heikentymisen tai sähkölaitteen käyttäjien huolimattomuuden seurauksena käytetään täydentävänä suojana enintään 30 mA:n vikavirtasuojakytkimiä, joiden toiminta perustuu summavirran mittaukseen. Summavirtamuuntajan läpi menevien virtojen (L1, L2, L3, N) summa on terveessä tilanteessa nolla. Vian tai sähkötapaturman seurauksena vaihejohtimesta tai nollajohtimesta syntyy virtapiiri PE-johtimeen. Tällöin summavirta poikkeaa nollasta vikavirran verran, jonka vaikutuksesta magneettirele ja laukaisukanismi toimivat. (Mts. 174)

3.3.5 Yli- ja alijännitesuojaus

Ylijännitesuojaus toteutetaan laitteiden oikealla mitoituksella ja tarvittaessa käyttämällä ylijännitesuojia. Sähköverkko ja siihen liitettävät laitteet jaetaan ylijännitekestoisuuden perusteella kuvion 16 mukaisiin ylijänniteluokkiin.

Asennuksen nimellisjännite V*	Laitteille vaadittu impulssijännitteen kestävyys kV**			
Kolmivaihejärjestelmä	Laitteet asennuksen liittymiskohdassa (ylijänniteluokka IV)	Pää- ja ryhmäjohtojen laitteet (ylijänniteluokka III)	Laitteet (ylijänniteluokka II)	Erityisesti suojatut laitteet (ylijänniteluokka I)
230/400	6	4	2,5	1,5
400/690	8	6	4	2,5
1000	12	8	6	4
* SFS-EN 60038 mukaan. ** Tämä jännite johdetaan äärijohtimien ja suojajohdinpiirin läpi				

Kuvio 16 Ylijänniteluokat (SFS 6000-4-44, 156)

Ylijännitteillä tarkoitetaan ilmastollisia ja kytkentäylijännitteitä sekä verkkotaajuisia ylijännitteitä. Ilmastolliset eli salaman aiheuttamat ylijännitteet voivat siirtyä jakeluverkkoon ja sen varmennettuun osaan jakeluverkkoa pitkin. Suorat salamaniskut varmennettuun verkkoon lienevät käytännössä poissuljettuja kiinteissä sähköasennuksissa. Kytkentäylijännitteet taas syntyvät kytkentätapahtumien yhteydessä ja ovat yleensä ilmastollisia ylijännitteitä pienempiä. Verkkotaajuiset ylijännitteet syntyvät jännitteensäätäjien tai käämikytkinten viallisesta toiminnasta. (SFS 6000-4-44, 154)

Varmennettuun verkkoon sekä sen laitteisiin ja asennuksiin voidaan käytännössä soveltaa ylijänniteluokkia I, II ja III. Ylijännitesuojaus toteutetaan siten, että ylijännitesuojien suojatasot alittavat ylijänniteluokkien vaatimukset ja syöksyvirratt vastaavat asennuskohteen todennäköisiä syöksyvirtoja. Suojaus toteutetaan portaittain eri ylijänniteluokkia vastaavasti:

- 1. porras, pääkeskus, luokka IV
- 2. porras, ryhmäkeskus, luokka III
- 3. porras, kulutuskoje, luokka II ja I

(ST-käsikirja, 180)

Alijännitesuojaukseen toteutetaan silloin, kun jännitteenalenemasta tai – katkoksesta sekä siitä seuraavasta jännitteen jälleen kytkeytymisestä voi aiheutua vaaraa, omaisuudelle, ihmisille tai kotieläimille. Alijännitesuojaukseen voi toimia hidastuksella, mikäli suojattava asennuksen osa kestää lyhyen jännitteenaleneman tai – katkoksen. (SFS 6000-4-44, 187)

Alijännite syntyy jännitteen hävitessä. Yli- ja alijännitteet havaitaan yli- ja alijännitereleiden avulla, joiden asettelut määritellään siten, että laitteiden kestoisuudelle tai toiminnalle liian suuria/pieniä jännitteitä ei esiinny verkossa liian kauan. Automaattisesti käynnistyvä varavoimakone saa signaalinsa alijännitereleeltä, joka asetellaan seuraavien ehtojen mukaan:

- Jänniteasettelu pienempi kuin käytön aikainen alijännite käynnistyksissä
- Aika-asettelu on pidempi kuin oikosulkusuojien laukaisuaika.

(ST-käsikirja 20, 181)

3.3.6 Selektiivisyys

Suojauksen selektiivisyydellä tarkoitetaan sitä, että vikatapauksissa verkosta irtoaa vain se osa, joka on vioittunut. Eli vain vikapaikkaa lähinnä olevat sulakkeet/suojalaitteet laukeavat. Seuraavan portaan varasuojina toimivat suojalaitteet havahtuvat, mutta eivät laukea. Selektiivisyys saavutetaan:

- ylivirtasuojien virta-asetteluilla
- peräkkäisten portaiden aika-asetteluilla (tai näiden yhdistelmällä)
- virtaporrastuksella jakelumuuntajien tai kuristimien suojauksessa
- sulakekokojen porrastuksella.

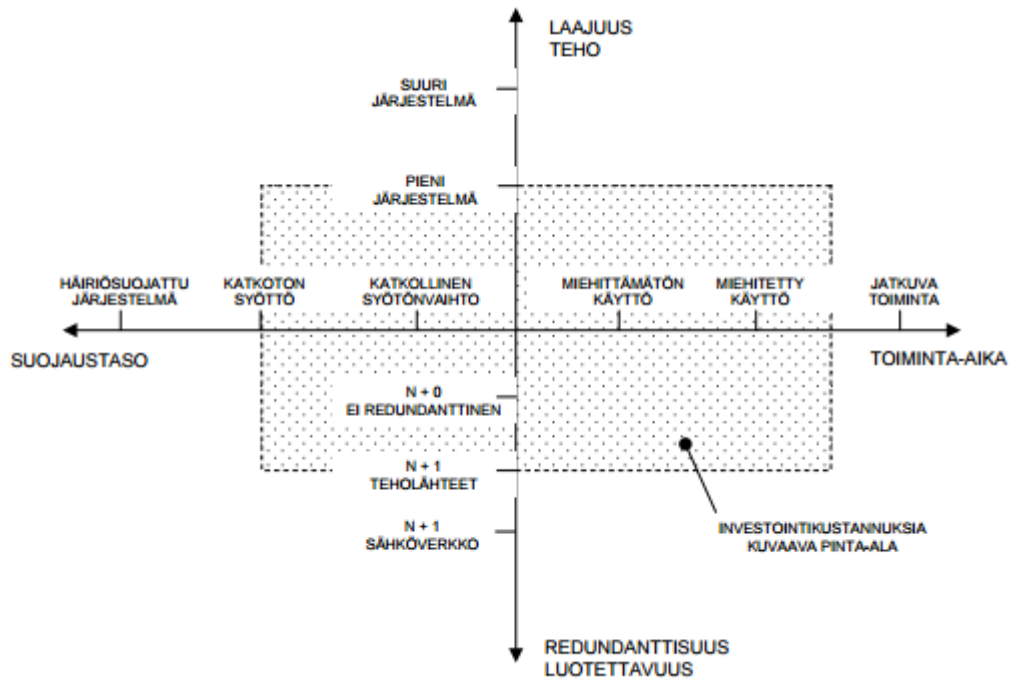
Mikäli suojaus toteutetaan sulakkeilla ja johdonsuojakatkaisijoilla, perustuu suojaus selektiivisyys suojan laukaisukäyrän mukaisiin toiminta- ja sulamisaikoihin sekä virran suuruuteen. Katkaisijoita käytettäessä selektiivisyyttä voidaan parantaa virta- ja

aika-asettelujen lisäksi käyttämällä hyväksi nykyaikaisten laitteiden lukitusmahdollisuuksia. Sulakkeilla toteutetun suojausten peräkkäisten sulakkeiden kokoeron tulee olla vähintään yksi porras selektiivisyyden saavuttamiseksi. Mikäli mahdollista on käytännössä varminta käyttää selektiivisyyden aikaansaamiseksi kahden sulakekoon porrastusta. (ST-käsikirja 20, 181)

Sijoittamalla tarkasteltavan verkon suojalaitteiden laukaisukäyrät samalle virta-aikaminaiskäyrästä saadaan suunniteltua sekä tarkistettua suojattavan verkon selektiivisyys. Verkon eri osissa laskettujen minimi- ja maksimioikosulkuvirtojen avulla tarkistetaan, että suojien laukaisujärjestys on oikea. Vikojen haittavaikutusten minimoimiseksi suojausten selektiivinen toiminta on tavoittelemisen arvoista, mutta ensisijainen tavoite on kuitenkin suojien toiminta vaatimusten mukaisesti. Välillä selektiivisyydestä joudutaan tinkimään, kun halutaan varmistaa suojien riittävän nopea toiminta ja ennen kaikkea henkilöturvallisuus. (Mts. 182)

3.4 Redundanttisuus

Redundanttisuudella tarkoitetaan varmennusta. Redundanttinen järjestelmä on järjestelmä, jossa rinnakkaisia yksiköitä on enemmän kuin kuormituksen syöttäminen edellyttää. Redundantisessa järjestelmässä yhden yksikön vioittuminen tai huolto ei vaaranna järjestelmän toimintaa. Järjestelmään sisältyy $n + 1$ yksikköä/jakeluverkkoa, joista n yksikköä riittää syöttämään mitoituskuorman. Redundanttisuus määritellään varmennetun verkon tarvemäärittelyn yhteydessä. Redundanttisuus vaikuttaa investointi-, tila- ja käyttökustannuksiin yleensä merkittävästi. Redundanttisuus voidaan toteuttaa vain teholähteiden osalta tai jakeluverkon osalta. (ST-käsikirja 20, 91)



Kuvio 17 Redundanttisuuden toteutus (ST-käsikirja 20, 39)

Tärkeissä kohteissa järjestelmän huollettavuus ilman varmennustason laskua saadaan varmistettua tehonlähteiden redundanttisuudella. Redundanttisuuden tavoittelusta huolimatta on järjestelmästä tehtävä mahdollisimman käyttövarma sekä selväpiirteinen. Liian monimutkaiset ohjaukset laskevat monesti järjestelmän luotettavuutta. Redundanttisuuden toteutumista on kuvattu myös kuviossa 17. (Mts. 91)

4 UPS-JÄRJESTELMÄT

UPS-laitteistoa (Uninterruptable Power Systems) käytetään varmentamaan sähkönsaanti ja tehonsyöttö sähkökatkosten aikana. UPS-laitteen avulla voidaan syöttää häiriötöntä ja katkeamatonta vaihtosähköä kriittisille kuormille. UPS-laitteisto syöttää sen perässä olevaa verkkoa akustoon varastoidulla energialla sähkökatkoksen aikana. Verkon palautuessa normaaliin tilaansa UPS-järjestelmä lataa akustojaan sekä suodattaa häiriöitä pois verkkovirrasta. UPS-järjestelmä koostuu UPS-laitteesta tai rinnankytketyistä UPS-laitteista, keskuksista ja varmennetun sähköksen keskuksista. Suurta luo-

tettavuutta vaativissa ratkaisuissa käytetään useampia rinnankäyviä UPS-laitteita kriittisen kuorman, kuten konesalin, sähkönsyötön varmistamiseen. Redundanttisuus saadaan UPS-järjestelmässä toteutettua kytkemällä rinnan UPS-laitteistoja. Laitteistoja mitoitetaan periaatteella $n + 1$ kpl tai $n + 2$ kpl, joten UPS-laitteita on yksi tai kaksi yli tarvittavan mitoitus-tehon. (ST 52.35.01, 1)

UPS-laitteistojen koot vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Pienimmät laitteistot ovat n. 500–1600 VA ja soveltuvat tietokoneiden tai muiden elektronisten laitteiden sähkönsaannin varmistukseen. Palvelin sekä tietoverkko tapauksissa käytetään 650 VA:n suuruisista laitteistoista aina 30 kVA:n suuruisiin järjestelmiin, joilla saadaan suojattua sekä varmennettua keskitetysti suuretkin järjestelmät. Teollisuuskäyttöön löytyy 3-vaihe ratkaisuja muutaman kilowatin tehoisista laitteistoista aina parin sadan kilowatin suuruisiin järjestelmiin. Lisäksi teollisuus käyttöön löytyy ratkaisuja muutamasta kVA:sta yli 1 MVA:n tuottaviin järjestelmiin. (Eaton, 2015)

4.1 Staattinen UPS

Staattisen UPS-laitteiston (Kuvio 18) perustoimintoihin kuuluu verkosta saatavan vaihtosähkön muuttaminen tasasähköksi, jolloin se soveltuu akkujen lataukseen, sekä tasasähkön muuttaminen vaihtosähköksi puolijohdesiltojen avulla. Ylikuormitus- sekä vikatilanteita varten UPS-laitteiston perustoimintoihin kuuluu myös automaattinen UPS-laitteen ohitustoiminto. Ohitustoiminnossa staattinen UPS-laite tahdistaa itsensä automaattisesti ohitussyöttöön, mikäli laitteisto ei kykene syöttämään tarpeeksi virtaa. Paluu suuntaajasyöttöön tapahtuu ilman katkoa tilanteen normalisoiduttua. Ohituslinja voi saada syöttönsä esim. varavoimakoneelta/pääkeskukselta tai toisesta jakeluverkosta. Huoltotilanteita varten voi laitteisto sisältää myös manuaalisen ohitustoiminnon. UPS-laitteessa on suodin, joka suodattaa verkossa esiintyviä jännitepiikkejä. (ST 52.35.01, 1)



Kuvio 18 Eatonin 550 kVA:n UPS-laitteisto (Eaton 2015)

Staattisia UPS-laitteistoja on saatavissa erikokoisiin tarpeisiin. Pienimmät ovat muutamman sadan watin pöytämalleja ja suurimmat laitteistot pystyvät syöttämään jopa 750 kVA:n tehoa. (Mts. 1-2)

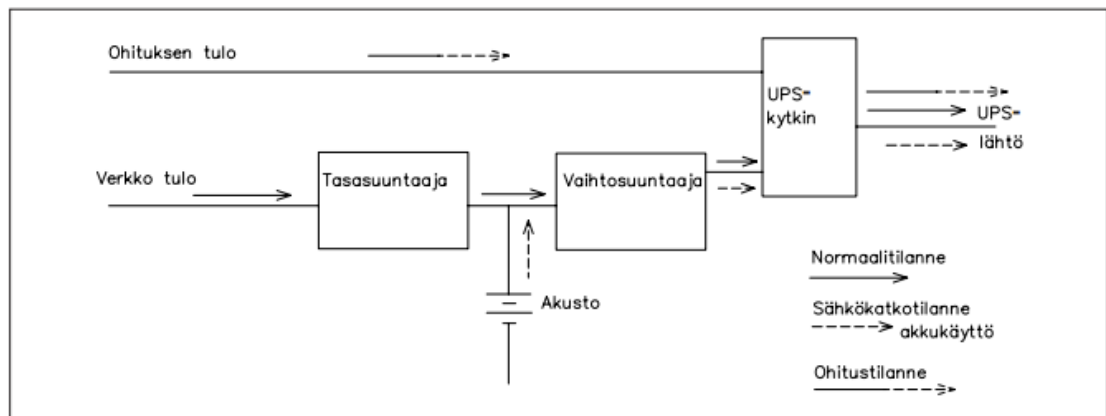
Staattiset UPS-laitteistot luokitellaan kolmeen eri tyyppiin:

- On-Line UPS
 - Jännitteestä sekä taajuudesta riippumaton tekniikka (VFI-UPS, output Voltage and Frequency Independent from mains supply)
 - Jännite sekä taajuus pysyvät vakioina
- Line-Interactive UPS
 - Jännitteestä riippumaton tekniikka (VI-UPS, output Voltage Independent from mains supply)
 - Jännite pysyy koko ajan vakiona, mutta taajuus voi vaihdella
- Off-Line UPS
 - Ei sisällä jännite- tai taajuuskorjausta (VDF-UPS, output Voltage and Frequency Dependent from mains supply)
 - Taajuus sekä jännite saattavat vaihdella
 - Matalin luokituksen taso

(Emerson Network Power N.D. 3)

4.1.1 Online UPS

On-line UPS (Double Conversion) eli kahden muunnoksen UPS-laitteisto on jatkuvasti aktiivisena ja laitteisto sisältää sekä vaihto-, että tasasuuntaajan. Online UPS on riippumaton syöttöverkon jännitteen ja taajuuden vaihteluista. Laitteiston toiminta perustuu siihen, että sähköverkon vaihtovirta muunnetaan tasasuuntaajalla tasavirraksi, jolla saadaan akustoa ladatuksi. Tasavirtaa ohjataan myös vaihtosuuntaajalle, jolla se muunnetaan takaisin vaihtovirraksi kriittisille kuormille. UPS-laitteiston lähdöstä saatava sähkövirta on täysin häiriötöntä, koska laitteiston sisällä tapahtuvan kaksoismuunnoksen aikana jännite- sekä taajuushäiriöt korjaantuvat. Lisäksi On-Line UPS-laitteiston hyötyihin kuuluu sen nopeus. Verkkosyötöstä akkukäytölle siirtyminen ei vaadi ollenkaan kytkentätoimintoja, koska akusto sekä tasasuuntaaja ovat rinnankytkettyjä. Siirtyminen verkosta akkukäytölle ei myöskään aiheuta jännite- tai taajuusvaihteluja. Takaisin verkkokäytölle siirtyminen käy myös ilman katkoksia tai vaihteluita kriittisten kuormien syötölle. Laitteiston toimintaperiaate on kuvattu kuviossa 19. (ST 52.35.02, 3)

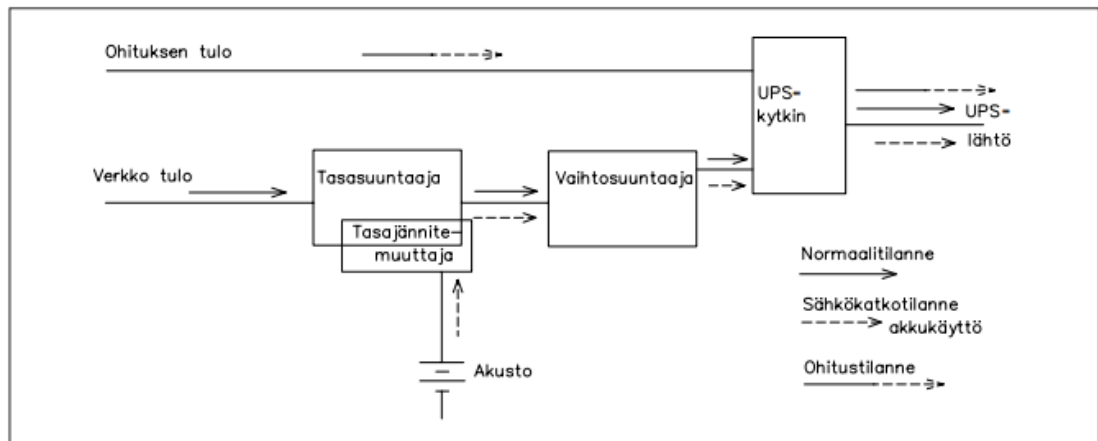


Kuvio 19 On-Line UPS-laitteiston toimintaperiaate (ST 52.35.02, 4)

Vika- sekä ylikuormitustilanteiden tai huollon aikana UPS-laitteisto toimii ohituskytkimen avulla. Lisäksi oikosulkuutilanteessa kuormalle tarvittava oikosulkuvirta saadaan syötettyä sähköverkosta. Ohituskytkimen avulla voidaan myös syöttää suuria käynnistysvirtoja, mikäli UPS-laitteisto ei suoriudu niin suurista virroista. Ohituskäytölle siirtyminen saattaa aiheuttaa jännitteen notkahduksen tai katkoksen kriittisten kuormien

syötössä, mikäli sähköverkossa on häiriöitä ohitustilanteen aikana. Ohituskytkiminä On-Line UPS-laitteistoissa käytetään yleisimmin tyristorikytkimiä. (Mts. 4)

On-Line UPS-laitteisto voidaan toteuttaa myös ratkaisulla, jossa akuston ja vaihtosuuntaajan välille sijoitetaan tasajännitemuuttaja, joka akuston purkautuessa antaa vaihtosuuntaajalle vakiojännitteen (toimintaperiaate kuviossa 20). Verkkokäytössä tämä toiminto on yleensä yhteinen käytettävän muuttajan kanssa. Riittävän korkea sekä vakiona pysyvä vaihtosuuntaajan tulojännite mahdollistavat vaihtosuuntaajan rakentamisen ilman lähtömuuntaajaa. (Mts. 4)

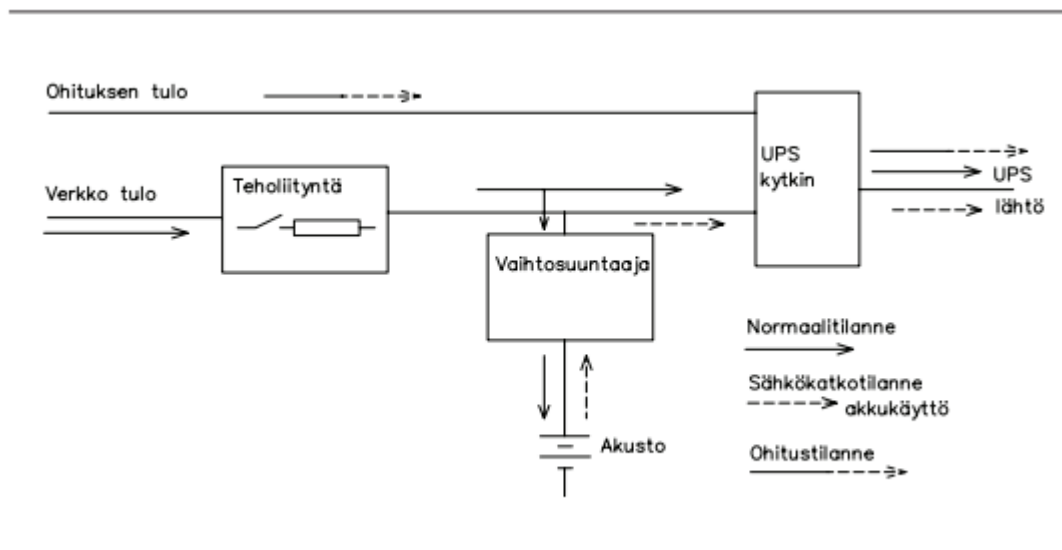


Kuvio 20 Tasajännitemuuttaja UPS-laitteiston toimintaperiaate (ST 52.35.02, 4)

On-Line UPS-laitteistot/järjestelmät ovat Suomessa sekä maailmalla yleisimmin käytössä oleva ei-yleiseen käyttöön valittu UPS-järjestelmä. Yleisimmin järjestelmällä varmennetaan kohteita, jotka sisältävät herkkiä elektroniikkalaitteita. Teollisuuskäytössä On-line UPS-järjestelmä on varmin ratkaisu kuormien suuruuden takia. (ST-käsikirja 20, 59)

4.1.2 Line-Interactive UPS

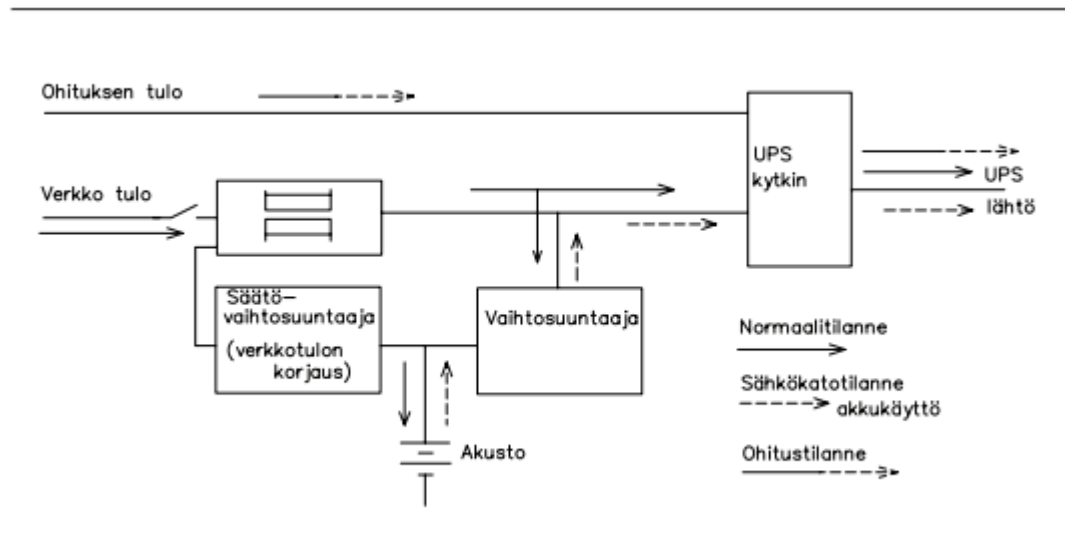
Line-Interactive UPS (Single Conversion), eli yksöismuunnostekniikalla (Kuvio 21) toteutetun UPS-järjestelmän lähtö on riippuvainen laitteistoa syöttävän sähköverkon taajuudesta, mutta riippumaton sen jännitevaihteluista normaalirajoissa. Järjestelmän toiminta perustuu muuttajasiltaan, jota käytetään rinnakkaissäätimenä sähköverkon rinnalla. Tähän perustuu myös nimitys yhden muunnoksen UPS-järjestelmä. Erillisellä vaihtosuuntaajalla sekä muuntajalla varustettuja Line-Interactive UPS-järjestelmiä kutsutaan nimellä Delta Conversion UPS. (Mts. 62)



Kuvio 21 Line-Interactive UPS-laitteiston toimintaperiaate (ST-käsikirja 20, 62)

Sähköverkon normaalitilanteessa Line-Interactive UPS-järjestelmä syöttää suoraan sähköverkosta kriittisiä kuormia samalla korjaten jännitevaihtelut, jotka ovat normaalirajojen sisäpuolella, rinnakkaissäätimen avulla (Kuvio 22). Jännite-ero UPS-verkon ja syöttävän verkon välillä jää UPS-laitteen kuristimen yli. Jännitteensäätö tapahtuu vaihekulmaa muuttamalla, jolloin tulojännitteen vaihdeltaessa myös tulon tehokerroin ($\cos \varphi$) vaihtelee. Kuitenkin jännitteensäätö vaikeuttaa ohituskäyttöön siirtymistä UPS-verkon ja syöttävän verkon välillä olevan vaihekulman takia. Tästä syystä Line-Interactive UPS-järjestelmissä on erillinen säätövaihtosuuntaaja sekä sen kanssa kyt-

ketty muuntaja. Erillisen säätövaihtosuuntaajan avulla UPS-järjestelmä kykenee korjaamaan tyypillisesti 15 %:n syöttöverkon jännitevaihtelut. Tällöin UPS-verkon sekä syöttävän verkon välille ei myöskään jää vaihesiirtoa, joka taas helpottaa ohituskäyttöön siirtymistä. (Mts, 63)

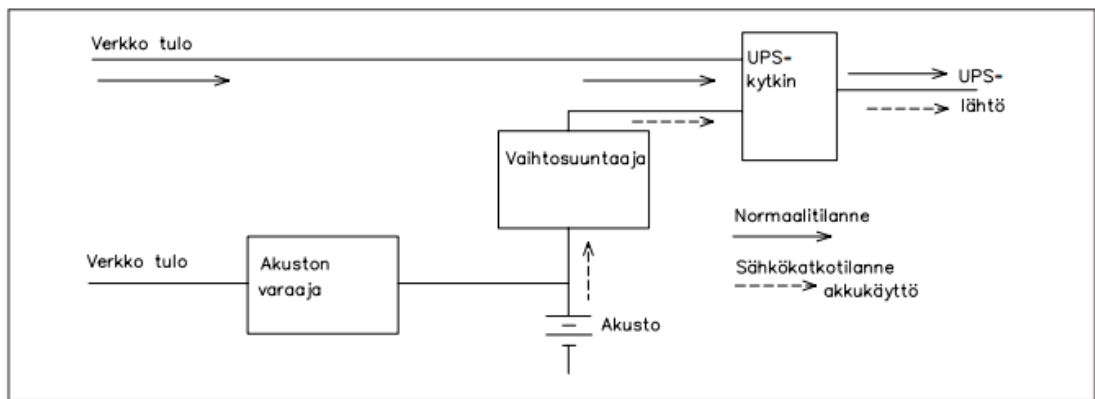


Kuvio 22 Säätövaihtosuuntaajalla varustetun UPS-laitteisto. (ST-käsikirja 20, 63)

Akkukäytölle UPS-laitteisto siirtyy, mikäli syöttävän verkon taajuus vaihtelee säädettyjen rajojen ulkopuolelle tai aiheutuu sähkökatkos. Akkukäytöllä kriittistä kuormaa syötetään akuista saatavalla energialla vaihtosuuntaajan avulla. Verkosta irtautuminen tapahtuu nopeasti tyristorikytkimen avulla. Verkojännitteen palaututtua tai taajuuden asetuttua UPS-laitteisto siirtyy normaalitilaan. Normaalitilassa tasasuuntaaja lataa akustoa ja kriittistä kuormaa syötetään verkosta säädetyllä jännitteellä. Vika- sekä ylikuormitustilanteessa sähkönsyöttö siirtyy ohituskytkimen avulla ohituskäytölle. (Mts. 62)

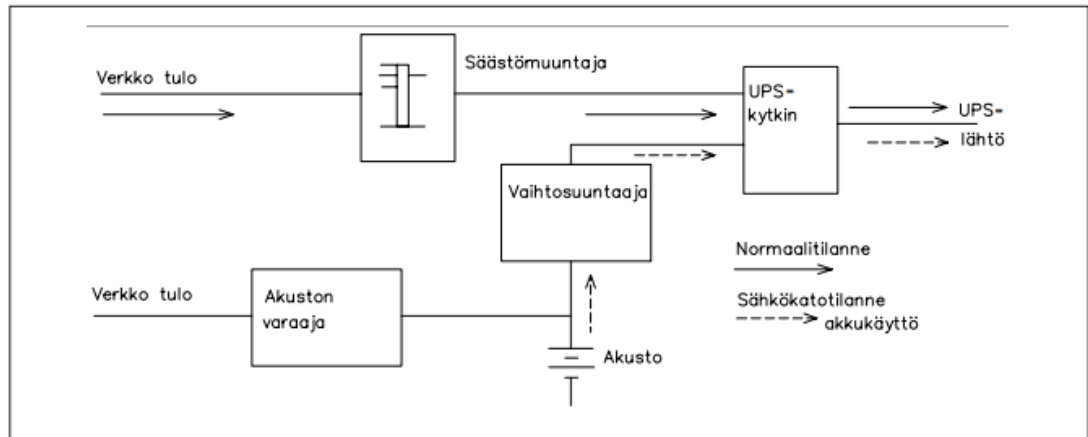
4.1.3 Off-Line UPS

Off-line UPS, eli virallisesti Standby UPS on järjestelmä/laitteisto, jonka lähtö on riippuvainen sitä syöttävän sähköverkon jännitteestä sekä taajuudesta. Syöttävän verkon tilanteen ollessa normaali, syöttää Off-Line UPS kriittisiä kuormia UPS-kytkimen kautta suoraan verkosta. Mikäli sähköverkossa esiintyy katkos/häiriöitä, jotka ovat UPS-laitteiston aseteltujen vaihtelurajojen ulkopuolella, UPS-kytkin kytkee syötön akustolle. Verkon tilanteen palautuessa normaaliin tilaansa katkoksen/häiriö poistuessa, UPS-kytkin muuttaa tilaansa, jolloin UPS-laitteisto siirtyy normaalikäyttöön sekä alkaa lataamaa akustoja tasasuuntaajan avulla (Kuvio 23). Vaihdoista aiheutuu käytännössä huomaamaton 2–4 millisekunnin katkon sähkönsyöttöön riippumatta siitä, siirrytäänkö normaalikäytöstä akkukäyttöön tai toisinpäin. (Mts. 59)



Kuvio 23 Off-Line UPS-laitteiston toimintaperiaate (ST20, 60)

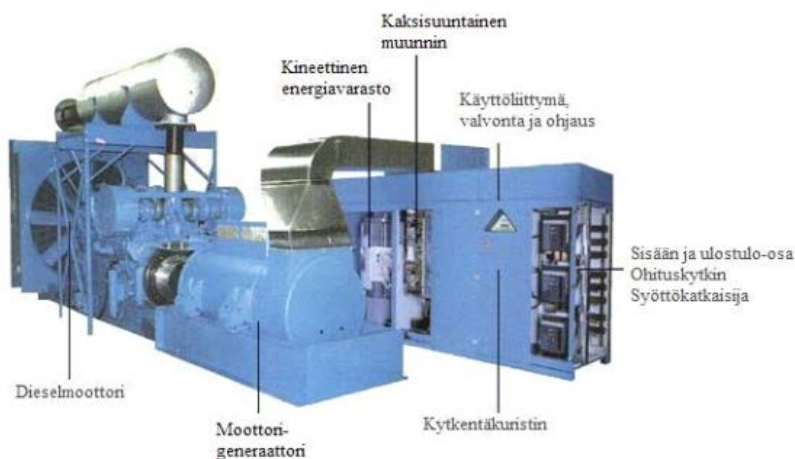
Off-Line UPS-laitteisto voi olla varustettu jännitesäätäjällä, jona käytetään yleensä säästömuuntajaa. Säästömuuntajaan kuuluu automaattinen vaihtokytkin sekä väliulos-tuloja. Jännitesäätäjän avulla saadaan korjattua osa verkkohäiriöistä, jolloin UPS-laitteisto siirtyy akkukäytölle vasta todellisen sähkökatkoksen aiheuduttua (Kuvio 24). Tämä vaikuttaa huomattavasti akkujen kulutukseen ja samalla niiden elinikä pitenee. (ST 52.35.02, 2)



Kuvio 24 Säästömuuntajalla varustettu Off-Line UPS (ST20, 61)

4.2 Dynaaminen UPS

Dynaaminen UPS järjestelmä voidaan toteuttaa usealla eri mallilla. Toiminta perustuu samalle akselille kytkettyyn moottori-generaattoriyhdistelmään (Kuvio 25), jolloin kuorman jännite tuotetaan generaattorin käämeissä. Energian varastointiin käytetään akustoa sekä huimamassaa. Dynaamisessa UPS-toteutuksessa pyörivä koneikko on keskeisin osa. Pyöriviin osiin varastoidaan liike-energiaa, jonka avulla tehonsyöttö toteutetaan verkkokatkon sattuessa. Tästä aiheutuu vain millisekuntien pituinen katko. Varakäyntiaikaa saadaan pidennettyä energiavarastoina toimivien akustojen tai huimamassan avulla. (Mts. 6)



Kuvio 25 Dynaaminen UPS, johon liitetty dieselgeneraattori (Jantunen M, 25)

4.2.1 Huimamassan avulla toteutettu UPS-järjestelmä

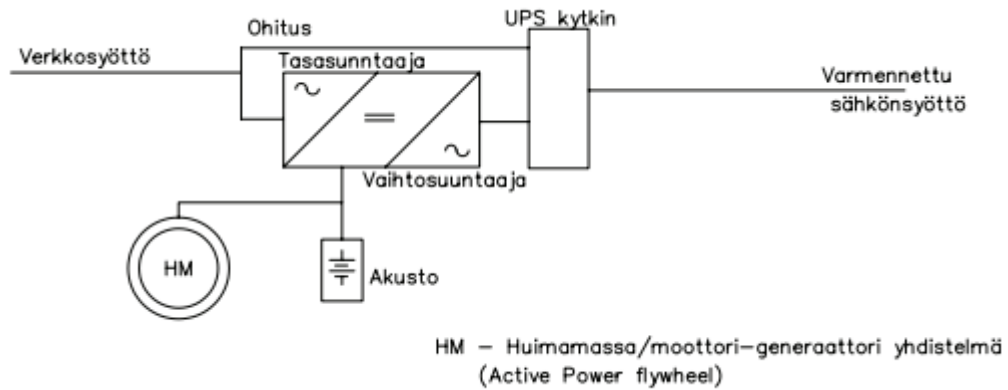
Huimamassalla tarkoitetaan ratkaisua, jossa normaalitilanteessa moottori pyörittää akselia, johon on kytketty joko suorasti tai epäsuorasti huimamassa. Huimamassana voi toimia esim. suuri metallikiekko. Huimamassa, moottori sekä generaattori voivat olla samalla akselilla tai ne voidaan yhdistää samalle akselille vaihteiston kautta. Vaihteiston avulla saadaan vähennettyä UPS-laitteiston syöttämää taajuusvaihtelua.

Huimamassan toiminta perustuu liike-energian varastointiin. Huimamassan ominaisuudet vaikuttavat varastoivan liike-energian määrään sekä massan pyörimisnopeuteen. Huimamassaan varastoidulla liike-energialla voidaan taata sähkönsaanti kriittisille kuormille n. 15–30 sekunniksi laitteiston nimellisteholla, josta johtuen huimamassalla varustettu dynaaminen UPS-järjestelmä tarvitsee normaaliverkon lisäksi varavoimakoneen/laitteiston vaihtoehtoiseksi tehonlähteeksi, mikäli tarvitaan pidempää varakäyntiaikaa. (ST-käsikirja 20, 69-70)

Joissain tapauksissa akselilla sijaitseva generaattori saattaa olla dieselkäyttöinen. Tällöin eliminoidaan tarve erilliselle varavoimakoneelle ja varmennettu sähkönsyöttö on samalla galvaanisesti erotettu syöttävästä sähköverkosta. Toimintaperiaate säilyy periaatteessa täysin samana. (ST 52.35.01, 7)

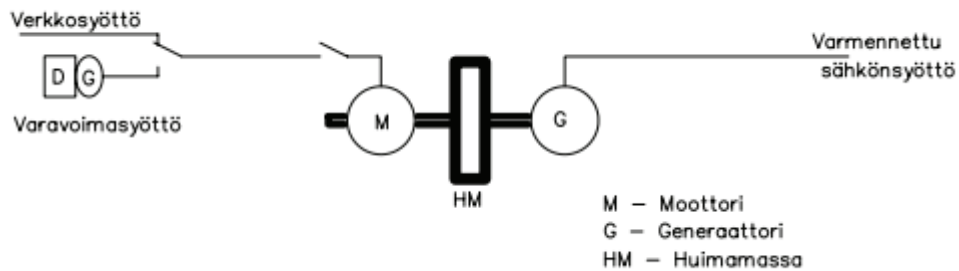
Seuraavien kuvioiden avulla on esitettyä muutama UPS-laitteiston toteutusratkaisu huimamassan avulla:

Staattinen kahden muunnoksen UPS (On-Line), joka on varustettu huimamassalla, jolla korvataan järjestelmän akusto, on esitelty kuviossa 26. Järjestelmään kuuluu lisäksi olennaisena osana varavoimakoneikko, joka toimii sähköverkon lisäksi vaihtoehtoisena tehonlähteenä. Järjestelmän teho n. 100-1000 kVA. (ST-käsikirja 20, 70)



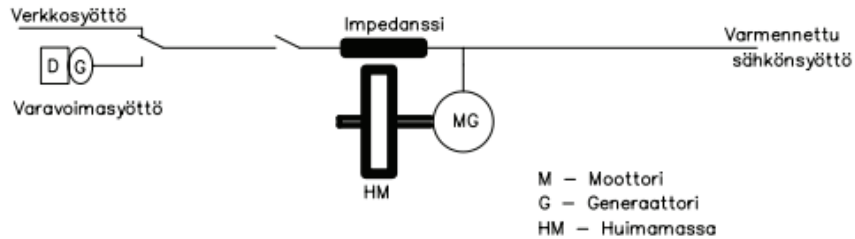
Kuvio 26 Staattinen kahden muunnoksen UPS huimamassalla (ST-käsikirja 20, 70)

Kahden muunnoksen dynaaminen UPS-järjestelmä, jossa huimamassa on kytkettynä samalle akselille vaihtovirtageneraattorin sekä – moottorin kanssa jäykästi on esitelty kuviossa 27. Rakenteeltaan kyseinen ratkaisu on todella yksinkertainen. Verkkokatkoksen aikana käytettäessä normaalia generaattoria, riippuu UPS-laitteen lähdön taajuus huimamassan pyörimisnopeudesta. Huimamassaan varastoidun energian käyttöä rajoittaa lähtöjännitteen taajuuden hyväksyttävät vaihtelurajat. Verkkokatkon sattuessa on sähkösyöttö katkaistava, käynnistettävä varavoimakoneikko ja siirryttävä varavoimasyöttöön. (Mts. 71)



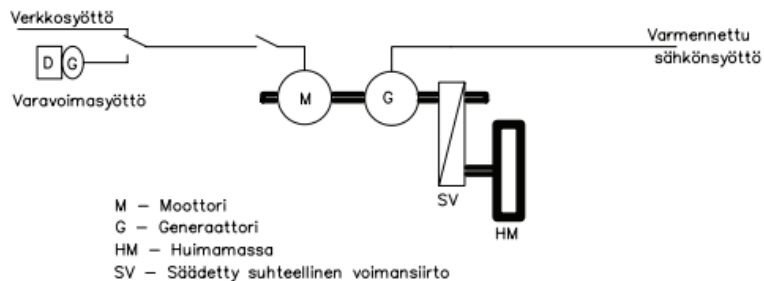
Kuvio 27 Kahden muunnoksen dynaaminen UPS-toteutus (ST-käsikirja 20, 71)

Dynaamisessa UPS-järjestelmässä huimamassa voidaan myös kytkeä jäykästi samalle akselille kuin moottori-generaattoriyhdistelmä (Kuvio 28), joka syötettäessä kriittistä kuormaa toimii sähköverkon rinnalla. (Mts.72)



Kuvio 28 Samalle akselille jäykästi kytketty huimamassa (ST-käsikirja 20, s.72)

Mikäli halutaan pitää UPS-laitteiston lähdön taajuusvaihtelut pieninä, sopiva ratkaisu on laitteisto, jossa huimamassa on kytketty moottori-generaattoriyhdistelmään säädetyllä suhteellisella voimansiirrolla (Kuvio 29). Täten myös huimamassan energia saadaan paremmin hyödynnettyä. (Mts. 72)



Kuvio 29 UPS, jossa säädetty suhteellinen voimansiirto. (ST-käsikirja 20, 72)

4.3 Suunnittelu

Jo suunnittelun alkuvaiheessa tulee ottaa huomioon UPS-laitteistojen, akustojen sekä sähkökeskusten sijoitukset. Akustoihin ja jäähdytykseen liittyy erityisvaatimuksia, jotka tulee huomioida, mutta periaatteessa tarvittavat tilat ovat sähkötiloja. Suunnittelun avulla pyritään saamaan UPS-laitoksenkäytettävyys sekä käyttövarmuus mahdollisimman korkealle tasolle. (ST 52.35.02, 12)

UPS-järjestelmän suunnitteluvaiheessa on suositeltavaa jakaa sähkötekniset työt omiksi urakoikseen esim. seuraavan periaatteen mukaisesti:

UPS-laiteurakka

- UPS-laitteiden hankinta, haalaus ja asennus
- UPS-akustojen, -sulakekeskusten ja akkutelineiden hankinta, haalaus sekä asennus
- Akustojen ja UPS-laitteiden tasasähkökaapelointi (kaapeleiden hankinta, haalaus ja asennus)
- UPS-laitteistojen tehokaapeleiden kytkentä ja asennus (sähköurakoitsija)
- UPS-järjestelmän käyttöönotto, mittaukset ja keinokuormitukset.

Sähköurakka:

- Sähkökeskusten hankinta, haalaus, asennus ja käyttöönotto
- UPS-laitteiden syöttö- ja kuormakaapeleiden (tehokaapelit) hankinta ja asennus
- Hälytyskaapelointien asennus kiinteistön valvontajärjestelmään

Laitehankinnat sekä asennussuunnitelmat hyväksytetään rakennuttajan sähkövalvojalla, joka myös valvoo suunnitelman toteutumista työmaalla. UPS-järjestelmän luotettavan toiminnan edellytyksenä on valvottujen toimintakokeiden järjestäminen, joissa testataan järjestelmän suoritusarvot sekä kaikki normaalit ja epänormaalit käyttötilanteet. Vikatilanteiden simulointi on myös tärkeä osa toimintakoetta. Testaukset sekä koestukset tulee dokumentoida. (Mts. 2)

Varmennustaso tulee myös valita suunnitteluvaiheessa. Sen valintaan vaikuttavat käyttäjien sekä varmennettavien kuormien tarpeet. Myös kustannukset ja haitat, jotka aiheutuvat keskeytyksistä, vaikuttavat järjestelmän valintaan.

Lisäksi on myös tarkkaan valittava, mitkä kuormat kytketään UPS-järjestelmän varmentamaan verkkoon. Tyypillisesti kuormat ovat sellaisia, joille jännitekatkokset tai häiriöt aiheuttavat kriittisiä ongelmia. Tällaisia ovat mm. sairaaloiden leikkaussalit.

Laitteistojen huolto ja ylläpito on hyvä huomioida suunnittelua tehdessä, koska UPS-laitteet vaativat säännöllistä huoltoa luotettavan toiminnan varmistamiseksi. Laitteet sisältävät paljon sellaista tehoelektroniikkaa sekä prosessiohjattuja järjestelmiä, jotka vaativat erityisosaamista ja tästä syystä on usein kannattavaa tukeutua laitevalmistajaan. Useilla laitevalmistajilla on tarjolla huolto/ylläpitosopimuksia laitteistoilleen.

Järjestelmätyypin valinnalla on iso merkitys UPS-laitoksen käytettävyyden ja luotettavuuden kannalta. Järjestelmätyyppi kertoo UPS-laitoksen kokoonpanon. Esim. tyyppiä 2 + 1 – järjestelmä sisältää yhteensä kolme UPS-laitetta, joista kahta tarvitaan ja yksi on varalla. UPS-järjestelmäkokoonpanojen luotettavuusvertailu näkyy kuviossa 30. (Mts. 2-4)

Järjestelmätyyppi	Luotettavuus
1+0	83
1+1	100
2+1	93
3+1	85
4+1	77
5+1	68
5+2	89

Kuvio 30 UPS-järjestelmäkokoonpanojen luotettavuusvertailu (ST 52.35.02, 4)

4.4 Valvonta

UPS-laitteen toimintaa tulee pystyä valvomaan etänä, riippumatta siitä, kuinka kriittinen sen käyttö on. Yleensä käytössä on valvomojärjestelmä, johon UPS-laitteen tilatiedot sekä hälytykset siirretään. Seuraavat hälytystiedot tulisi olla saatavilla UPS-laitteelta:

- Verkkohäiriö
- UPS ohitettu
- Alhainen akustojännite
- UPS yleishälytys

Hälytyspiirit kannattaa toteuttaa avautuvien kosketintietojen avulla, jolloin myös mahdolliset hälytyskaapeloinnin viat tulevat ilmi. (Mts. 11)

UPS-laitteesta on myös mahdollista saada tarkempaa käytönaikaista tietoa, johon vaaditaan erillinen tiedonsiirtoliityntä. Ellei kohteessa ole käytettävissä tiettyä tiedonsiirtoprotokollaa sekä valvontajärjestelmää, suositellaan UPS-laitteen tiedonsiirtoon käytettäväksi ns. avoimen valvontajärjestelmän periaatetta. Tällöin UPS-laitetta voidaan Ethernet-verkkoon liitettynä valvoa periaatteessa mistä vain internet-selaimen kautta. (Mts. 11)

Eri valmistajilla on omille UPS-laitteilleen räätälöidyt valvonta sovellukset. Kuviossa 31 on esitelty Eatonin UPS-valvontasovellus, josta voidaan nähdä esim. UPS-laitteen tulo- ja lähtötietoja sekä missä tilassa laite tietyllä hetkellä on. Kuva on otettu samalla kun laite oli käynnissä laboratoriotyön aikana.

ConnectUPS™ Web/SNMP		EATON		04/17/2015 15:18:04 UPS Location:	
UPS History		Configuration		Control	
				Registered Clients	
Input					
	Voltage (L to N) (VAC)	237	235	237	
	Current (L) (AC Amps)	2.0	3.0	3.0	
	Frequency (Hertz)	50.0			
Output					
	Voltage Out (VAC)	230			
	Current Out (AC Amps)	2.4			
	Frequency (Hertz)	50.0			
	True Power (Watts)	535			
	Apparent Power (VA)	543			
	Power Factor	0.98			
	UPS Load (%)	7			
Bypass					
	Bypass Status	Normal			
	Voltage (L to N) (VAC)	238			
Battery					
	Battery Status	Normal			
	Voltage (VDC)	432.2			
	Current (DC Amps)	2.2			
	ABM Status	Charging			
Statistics					
	UPS Internal Temperature (Degrees C)	28			
	Number of Registered NetWatch Clients	0			
	ConnectUPS Up-Time	0 days 0 hours 11 mins 43.21 secs.			

Kuvio 31 Eatonin UPS-laitteen valvontasovellus

4.5 Mitoitusperiaatteet

UPS-jakeluverkkoa mitoitettaessa tulee huomioida muun muassa kuormitettavuus, oikosulkukestoisuudet, suojauksen toiminta, jännitteenalenemat sekä kokonaistehokerroin ($\cos \varphi$). Lisäksi mitoitettaessa UPS-laitteistoa tulee tietää varsinkin suurten laitteiden käynnistysvirtapiikit sekä kuormituksen epälineaarisuus. Mitoituksessa tulee huomioida verkkosyöttö-, varavoima-, sekä UPS-akkukäyttötilanne. Keskuksien, kaapeleiden sekä laitteiden oikosulkukestoisuus tulee laskea aina pahimman tilanteen mukaan. Järjestelmä tulee mitoittaa siten, ettei laitetta/laitteistoa jouduta koskaan kuormittamaan lähes 100 prosentilla. Mitoituksessa noudatetaan kaavaa 8:

$$S_{\text{UPSmax}} = S_{\text{UPS}} * 80 \% \quad (8)$$

S_{UPSmax} = UPS-laitteiston suositeltu maksimikuormitus [VA]

S_{UPS} = UPS-laitteiston nimellisteho [VA]

80 % = UPS-laitteiston suositeltu maksimikuormitusaste

Myöskään UPS-laitteistoa ei ole kannattavaa mitoittaa alle 20 %:n kuormituksille, koska tällöin UPS-laitteiston hyötysuhde on tällöin heikko. Kuormitusaste tulisi näin olla 40–80 %. Suojalaitteiden riittävän nopean ja oikean toiminnan turvaamiseksi on suositeltavaa mitoittaa UPS-laite niin, että sitä kuormitetaan vain noin 60 % nimellisvirrasta. Loput kapasiteetistä varataan suojalaitteiden toiminnalle. (ST 52.35.02, 4-5)

UPS-pääkeskus sekä sitä syöttävät virtatiet mitoitetaan UPS-järjestelmän nimellistehon mukaan, eikä todellisen kuorman mukaan. Näin huomioidaan mahdolliset jälkeinpäin tehtävät laajennukset. Ryhmäkeskukset ja niiden syöttökaapeloinnit taas voidaan mitoittaa todellisen kuorman mukaan. Kaapeleiden mitoituksen jälkeen, tulee vielä laskemalla tarkistaa, ettei jännitteen alenema nouse liian suureksi missään verkon pisteessä. (Mts. 9)

Erikoissovelluksissa tehoa tärkeämmäksi mitoitusperusteeksi muodostuu usein UPS-laitteiston kyky syöttää oikosulkuvirtaa akkukäytöllä. Tästä johtuen esim. sairaalakäytössä UPS-laitteistot voivat olla kuorman suhteen ylimitoitettuja niin, että käytännön tilanteessa laitteiston kuormitusaste on alle 10 %. Tällöin laitteiston varsinainen hyötykuorman teho saattaa olla pienempi kuin sen häviöihin kuluva teho. Käynnistysvirta on myös huomioitava mitoituksessa, mikäli UPS-laitteistolla joudutaan käynnistämään sähkömoottoreita. Verkkosyöttötilanteessa laitteisto saattaa staattiseen ohitukseen siirtymällä selviytyä käynnistyksestä, mutta akkukäytöllä laitteiston oikosulkuvirran syötökyky sekä ylikuormitettavuus eivät välttämättä riitä. (Mts. 4-5)

4.6 UPS-järjestelmän laite- ja pääkeskustila

UPS-laitetiloja koskevat samat vaatimukset kuin esim. sähköpääkeskustilalle. Huomioitavia asioita UPS-laitetilalle ovat:

- UPS-laitteiden tilaan tuoma lämpökuorma (n. 4-8 % läpimenevästä tehosta)
- Melu (n. 50-75 dB(A))
- Käytön kriittisyys

Laitetilan yleisen siisteyden sekä ilmanvaihdon on oltava sillä tasolla, ettei tilaan pääse pölyä tai syövyttäviä kaasuja, koska UPS-laitteet sisältävät paljon elektroniikkaa. Lisäksi UPS-laitetilaan ei ole suositella sijoitettavaksi mitään laitteita tai asennuksia, jotka eivät liity UPS-järjestelmään tai sen sähköjakeluun. (normaalijakelun sähkökeskukset, putket, varmentamattoman sähköjakelun kaapelireitit tms.) Esim. UPS-laitos, joka sisältää kolme 200 kW:n tehoista UPS-laitetta vaatii tilaa n. 30 m², mikäli samaan huoneeseen sijoitetaan myös UPS-pääkeskus. Laitetilan huonekorkeus tulee olla n. 3 metriä. Jäähdytyslaitteet kannattaa huollettavuuden kannalta sijoittaa omaan huonetilaansa UPS-laitetilan välittömään läheisyyteen, jolloin jäähdytyslaitteiden huollot sekä mahdolliset putkirikot tapahtuvat turvallisesti UPS-laitetilan ulkopuolella. Lisäksi jäähdytys kannattaa liittää varavoimavarmennettuun sähköjakeluun.

Lyhyellä varmennusajalla (alle 10 min.) se ei ole välttämätöntä, koska tällöin huonetilan lämpötila ei akkukäytössä ehdi nousta vaarallisen korkeaksi. UPS-laitetilan lämpötilan tavoitealue on noin +22 - +25 °C. UPS-laitteet kestävät ilman tehonalennusta jopa +40 °C, mutta sellainen käyttöympäristöön lyhentää merkittävästi elektroniikan käyttöikää. (Mts. 12)

4.7 UPS-järjestelmän akusto

Sähköverkon häiriötilanteen sattuessa varakäyntiaika eli aika, kuinka pitkään UPS-järjestelmä kykenee syöttämään sen perässä olevia kuormia, määräytyy akuston mukaan. Akusto on yksi tärkeimmistä tekijöistä, kun UPS-järjestelmää aletaan mitoittamaan. Tämä johtuu siitä, että joidenkin kohteiden sähkönsyötön täytyy pysyä toiminnassa tietyn aikaa sähkökatkon sattuessa. Esimerkiksi sairaaloissa hengityskoneet sekä muut elintoiminnoille tärkeät laitteet eivät saa pysähtyä sähkökatkon takia ja varavoimakoneen käynnistyminen vie oman aikansa. Yleisimmin UPS-järjestelmissä käytetään lyijyakkuja, mutta käyttöolosuhteet määräävät lopullisen akustotyypin. (ST-käsikirja 20, 84)

Mikäli käytössä on tehoiltaan isoja UPS-laitteita (> 60kW, varmennusaika yli 15 min), vaativat järjestelmän akustot paljon tilaa ja tällöin akustot on hyvä sijoittaa erilliseen akkuhuoneeseen avoimille telineille. Kuviossa 32 on esimerkki akkuhuoneesta, jossa akustot on sijoitettu avoimille telineille. Akkuhuoneesta kaapelointi vedetään UPS-laitteille. Akkuhuoneen ilmanvaihto tulee olla riittävä, koska mikäli käytössä on avoimia lyijyakkuja, niitä ladattaessa saattaa huoneeseen muodostua vetykaasuja. Lisäksi huoneen lattian tulee olla elektrolyytin kestävä materiaalia sekä staattista sähköä purkava. Ladattaessa tai purettaessa akustojen varausta ne tuottavat lämpöä. Liian korkea huonelämpötila alentaa huomattavasti akkujen elinikää, mutta toisaalta liian alhainen lämpötila alentaa akuista saatavaa kapasiteettia. Akkuhuoneen lämpötilan tulisi keskimäärin olla n. +20 °C. Myös akkujen paino on otettava huomioon suunniteltaessa akkuhuoneen sijoitusta. Esim. 3x200 kW:n UPS-järjestelmän akusto painaa telineineen n. 30 000 kg. Paino on huomioitava rakenteiden kantavuudessa ja yleensäärkevin si-

joituspaikka akkuhuoneelle on rakennuksen kellaritiloissa. Akkujen haalaus tulee huomioida ensiasennuksen ja myöhemmän vaihtotarpeen (5–10 vuoden välein) kannalta. (ST 52.35.02, 12)



Kuvio 32 Akkuhuone (Axen, A, 2012, 10)

Akkutilat on merkittävä ulkopuolelta seuraavilla varoitusmerkeillä ja huomautuksilla:

- Varoitusmerkki ”Akku, Akkuhuone, Akustotila” osoittamaan räjähtäviä kaasuja, korroosioivaa elektrolyyttiä sekä vaarallista jännitettä ja virtaa.
- ”Vaarallinen jännite”, jos akun jännite on yli 60 V (DC)
- Kieltomerkki ”Avotulenteko ja tupakointi kielletty”.

(Axen, A, 2012, 13)

Alle 20 kW:n tehoisten UPS-laitteiden akut sijoitetaan yleensä samaan laitekaappiin varsinaisen UPS-laitteen kanssa. Yli 20 kW:n mutta alle 60 kW:n UPS-laitteistoilla käytetään erillisiä akkukaappeja, jotka voidaan sijoittaa laitteiston kanssa samaan tilaan. Periaatteessa avoimilla telineillä olevia akustoja voidaan käyttää myös pienempi tehoisten UPS-laitteiden tapauksissa. (ST 52.30.01, 2-3)

Suljetut lyijyakut ovat yleistyneet viime aikoina. Niiden etuna verrattuna avoimeen akkuun ovat mm. lyhyen purkausajan kapasiteetti sekä hyvä tehoteho, jotka ovat UPS-akustoille suosittuja ominaisuuksia. Suljettuja akkuja ladatessa ei myöskään muodostu vetykaasuja, joten akustot voidaan sijoittaa turvallisesti UPS-laitteen akkutilaan tai erilliseen akkukaappiin laitteen läheisyyteen. Suljettuihin akkuihin ei tarvitse lisätä akkuvettä niiden elinkaaren aikana. (ST-käsikirja 20, 84-85)

Akkujen kriittinen merkitys UPS-järjestelmän toimivuudelle sekä niiden lyhyt elinikä tekevät akustoista erittäin kalliita. UPS-laitteen vikaherkin osa on juuri lyijyakusto, mikäli akuston huollossa tai ympäristöolosuhteissa on puutteita. Akuston kunnonvalvonta on ensiarvoisen tärkeä osa UPS-järjestelmän kunnossapitoa. (Mts. 85)

5 VARAVOIMAGENERAATTORIT

Varavoimageneraattoreita käytetään sekä kiinteiden, että tilapäisten sähköasennusten syöttöön. Tilapäisten sähköasennusten syöttöön käytettävästä siirrettävästä varavoimageneraattorista käytetään nimitystä aggregaatti. Varavoimajärjestelmien tehonlähteenä yleisimmin varavoimakäytössä käytetään polttomoottoreita, turbiineja sekä sähkömoottoreita. (ST-käsikirja 20, 57–58). Yleisimpiä näistä ovat dieselgeneraattorit, joita käsitellään tarkemmin tässä opinnäytetyössä.

Generaattorilaitteistot jaetaan käyttötapojensa mukaan seuraaviin luokkiin:

- **Luokka 1** = normaalista jakeluverkosta erillään toimivat laitteistot (pienet kannettavat tai hinattavat työmaakäyttöön tarkoitetut aggregaatit)
- **Luokka 2** = normaalista jakeluverkosta erillään toimivat automaattisella verkonvaihdolla varustetut laitteistot
 - erillisellä verkonvaihtokeskuksella toteutetut järjestelmät
 - kiinteistön keskukseen integroidut verkonvaihto kytkinlaitteet
 - varavoimakoneeseen integroidut verkonvaihtokojeet

- **Luokka 3** = normaalin jakeluverkon kanssa rinnan käyvät laitteistot, joiden tuottamaa tehoa ei siirretä normaali verkkoon (paluutahdistuvat laitteet)
- **Luokka 4** = normaalin jakeluverkon kanssa rinnan käyvät laitteistot, joiden tuottama teho voidaan osittain tai kokonaan siirtää verkkoon (FinGen, 2014)

Yleisin varavoimajärjestelmän toimintatapa on saarekkeessa toimiva generaattori. Varavoimakoneen ollessa käytössä varmennettava verkko irtaantuu normaalista jakeluverkosta omaksi saarekkeekseen. Mikäli halutaan välttää sähkökatkos normaalin verkon palautuessa varavoimakäytöltä, käytetään katkotta verkkosyöttöön palautuvaa järjestelmää. Mikäli tarvitaan katkoton verkkosyötön paluu, huipunajomahdollisuus tai mahdollisuus generaattorin koekäyttöön verkon rinnalla, käytetään jakeluverkon rinnalla toimivaa generaattoria. (Heiskanen, J. 2013, 12)

Dieselgeneraattorit ovat suosittuja ratkaisuja varavoimaverkkojen varavoimakoneiksi. Ne ovat osoittautuneet luotettaviksi sekä rakenteeltaan kestäviksi ja lujatekoisiksi. Niiden etuna verrattuna esim. bensiinigenaattoriin on pienempi palo- sekä räjähdysvaara ja lisäksi diesel on halvempaa kuin bensiini. Dieseliä on myös helpompi käsitellä sekä säilyttää. Huoltoväli on dieselgeneraattorissa pidempi kuin bensiinikäytössä, mikä taas pienentää käyttökustannuksia sekä nostaa käytettävyysslukua. Haittapuolena dieselgeneraattorissa ovat polttoaineen palamisessa syntyvät ilmaa saastuttavat palotuotteet kuten hiilivedyt, typen-, rikin ja hiilen oksidit sekä kiinteät hiukkaset.

Varavoimaverkossa kuormille tarvittava teho saadaan yhdestä tai useammasta dieselgeneraattorista. Dieselgeneraattorit sekä niiden apujärjestelmät muodostavat varavoimalaitoksen. Usein varavoimalaitos on varustettu yhdellä dieselgeneraattorilaitteistolla, jolla syötetään kaikkia kuormia, jotka on liitetty varavoimaverkkoon. Varavoimaverkko voidaan toteuttaa myös hajautetusti, jolloin kaksi tai useampi dieselgeneraattoria syöttävät eri kuormia. Generaattorit voivat tällöin sijaita maantieteellisesti hieman kauempana toisistaan (esim. tehdasalueen eri laidoilla).

Dieselgeneraattoreilla voidaan myös syöttää samaa kuormaa, jolloin ne tahdistetaan sekä kytketään rinnan. Tällöin generaattoreiden olisi hyvä olla tehoiltaan sekä tyyppiltään samanlaisia ja lisäksi lähekkäin, jolloin rinnankäynnin ongelmat saadaan minimoitua. (Jantunen, M. 2004, 15–16)

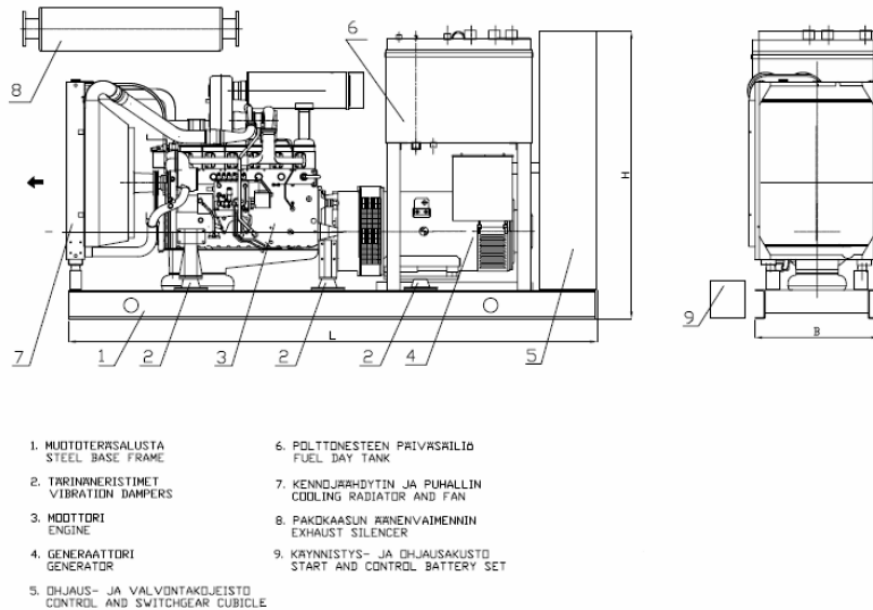
Käytettävät generaattori tyypit:

- Pienillä tehoilla epätahti- ja tahtigeneraattorit
- Suurilla tehoilla vain tahtigeneraattorit

5.1 Rakenne

Dieselgeneraattorin pääosat ovat:

- Dieselmoottori
- Generaattori
- Voimansiirto dieselmoottorin ja generaattorin välillä
- Eristimet, joilla vaimennetaan käyntitärinää
- Runko-/alustarakenne.
- Polttoaineen päiväsailiö
- Jäähdytysjärjestelmä
- Ohjausjärjestelmä
- Pakoputkisto



Kuvio 33 Dieselgeneraattorin rakenne (Leppänen, A. 2008, 5)

Kuviossa 33 on nähtävissä dieselgeneraattorin osat. Dieselmoottori sekä generaattori asennetaan samalle teräsalustalle. Eristimet, joilla vaimennetaan käyntitärinää, asennetaan koneikon mallista riippuen joko alustarakenteen ja lattian väliin tai vaihtoehtoisesti alustarakenteen ja dieselgeneraattorin väliin. Rakenteen avulla pyritään saavuttamaan tarpeeksi hyvä pyörivien akselien kohdistus sekä yhdensuuntaisuus. Lisäksi alustarakenteen tulee olla tarpeeksi jäykkä, jotta se kestää nostojen sekä kuljetuksen aiheuttamat rasitukset. Ylimääräiset tärinät saadaan estettyä kiinnittämällä huomiota pyörivien osien tasapainotukseen. Voimansiirto dieselmoottorin sekä generaattorin välille rakennetaan joko joustavan kytkimen välityksellä, jolloin generaattori on kaksi-laakerinen, tai siten, että generaattori on kytketty dieselmoottorin vauhtipyörään jäykästi. Tällöin kyseessä on yksilaakerinen generaattori. Dieselgeneraattorivalmistajan tulee varmistaa, ettei dieselgeneraattorin resonanssitaajuus (ominaisvärähtelytaajuus) ole käyttöpyörimisalueella.

Käynnistä johtuvan tärinän vaikutukset on riittävästi eliminoitava. Koneikkoon kuuluvat laitteet, jotka ovat herkkiä tärinälle, tulee ripustaa joustavasti tai kiinnittää sellaiseen kohtaan koneikossa, jossa ei esiinny haitallista tärinää. Yleisimmin tärinä aiheutuu dieselmoottorin momenteista sekä vapaista massavoimista.

Dieselgeneraattorikoneikon käyntitärinän eristimet tulee valita siten, ettei rakennuksen runkoon vaikuttava tärinä aiheuta suurta runkoääntä tai vaurioita rakenteita. Mitä suurempi yhdistelmän painosta johtuva eristimen kokoon painuminen (staattinen painuma), sitä parempi tärinän eristys on. Kun jousimassajärjestelmän ominaistajuus on enintään 1/3 alimmasta häiriötaajuudesta, saavutetaan riittävän hyvä tärinän eristys.

Koneikosta ulos lähtevät kaapelit, kanavat sekä putket on myös liitettävä joustavasti. Joustovaraa mitoitettaessa on huomioitava jatkuvuustilan käyntitärinän lisäksi voimakas ravistelu, jota esiintyy pysäytys- sekä käynnistystilanteessa, kun ohitetaan ominaisvärähtelyn resonanssitaajuus. (ST-käsikirja 31, 90-91)

5.2 Apujärjestelmät

Apujärjestelmiin sisältyvät dieselgeneraattoriin liittyvät välttämättömät toiminnot, joita ovat:

- Käynnistysjärjestelmä
- Polttoainejärjestelmä
- Jäähdytysjärjestelmä
- Pakoputkisto ja mahdollinen palamisilmaputki
- Generaattorin ilmanvaihtojärjestelmä
- Palonsammutusjärjestelmä

(ST-käsikirja 31, 105)

5.3 Automaatiikka

Ohjausautomaatiikalla ohjataan varavoimalaitosta. Automaatiikka koostuu elektronisesta ohjelmoitavasta logiikasta, jonka apuna toimii lukuisia kontakteja, releitä, suojalaitteita sekä muita lisäkomponentteja. Ohjausautomaatiikka vastaa usein koko varavoimajärjestelmän toiminnasta kuten dieselin ja apulaitteiden hallinnasta, tahdistuksesta sekä syötön vaihdosta. Lisäksi häiriötilanteet rekisteröityvät ohjausautomaatiikkaan,

joka ilmoittaa ne esim. kiinteistönvalvontajärjestelmään. Yleisesti varavoimakoneiden ohjausjännitteenä käytetään 24 V, jolloin se on sama kuin käynnistysakuston jännite. (Mts, 95-96)

Automatiikka on yleisin dieselgeneraattorin käyttötapa. Verkon normaalitilanteessa verkkokatkaisija on kiinni ja kuormitukset saavat syöttönsä normaaliverkosta. Mikäli verkkojännitteessä tapahtuu suurempi kuin n. 15 %:n poikkeama nimellisjännitteestä yhdessä tai useammassa vaiheessa ja poikkeama kestää yli asetusajan (yleensä n. 2 sekuntia), varavoimalaitos käynnistyy automaattisesti. Poikkeaman asetteluarvo riippuu käyttötarkoituksesta ja on säädeltävissä. Kun automatiikka on antanut dieselgeneraattorille käynnistyskäskyn, avautuu verkkokatkaisija automaattisesti. Generaattorin taajuuden ja jännitteen tahdistuttua hyväksytylle tasolle, automatiikka sulkee generaattorirytkimen, jonka jälkeen dieselgeneraattori alkaa syöttää kuormalle sähköä. Verkkojännitteen palauduttua normaalitasolle kaikissa vaiheissa sekä pysytyä raja-arvoissa asetellun ajan (esim. 5 min), automatiikka vaihtaa kuormituksen syötön takaisin generaattorilta normaali verkolle. Mikäli dieselgeneraattori on tahdistuva, syötönvaihto tapahtuu ilman katkoa. Muussa tapauksessa syötönvaihto tapahtuu katkon kautta, jonka tulee olla säädettävissä.

Tahdistuvassa verkossa verkkojännitteen palauduttua normaaliksi, automatiikka tahdistaa generaattorisähkön verkkosähköön, ohjaa verkkokatkaisijan kiinni, siirtää kuorman verkolle sekä avaa generaattorikatkaisija. Verkolle paluun jälkeen, dieselgeneraattori käy vielä muutaman minuutin jäähdytyskäytön (jälkikäynti), jotta dieselmoottorin osien lämpötilaerot tasaantuvat kuormituksen poistuttua. Jos jäähdytyskäytön aikana syntyy verkkojakelussa uusi häiriötilanne, automatiikka kääntää kuormat heti dieselgeneraattorin perään sekä jää odottamaan häiriön poistumista. (Mts, 98-99)

5.4 Generaattorin suojaus

Sähköverkon yksittäisistä komponenteista generaattori on kallein, mutta myös tärkein. Pyörivänä laitteena generaattori joutuu sähköisten ja termisten rasitusten lisäksi monille mekaanisille rasituksille. Näistä ja epätahtigeneraattorin rakenteesta johtuen on generaattorisuojauksessa otettava huomioon monenlaiset vikojen ja häiriöiden syntymistavat. Laajuutta suojaukseen tuovat omalta osaltaan mekaanisen voimakoneen sekä magnetointilaitteiston ominaisuudet. Taloudellisuuden, sähkön laadun sekä stabiiliuden säilyttämisen kannalta suojalaitteiden turha toiminta on estettävä.

Vian sattuessa generaattorissa, ei riitä pelkkä katkaisijan avaaminen. Lisäksi on pysäytettävä turpiini, poistettava magnetointi sekä mahdollisesti laukaistava sammutuskaasu (Hiilidioksidikaasu) generaattoriin. Mahdollisimman nopean suojauksen toiminnan lisäksi vika pyritään havaitsemaan mahdollisimman pienellä tehotasolla. Näin saadaan vian korjaukseen kuluva aika lyhennettyä. (Mörsky, J. 1993, 141)

Kun aletaan suunnittelemaan suojausta, otetaan ensin huomioon suojattavan kohteen suojaustarpeet sekä häiriömekanismit. Seuraavassa listassa lueteltuna seikkoja, joihin suuritehoisten generaattorien suojauksen toteutuksessa varaudutaan ja joiden esiintyminen on mahdollista:

- Staattorin ylijännite tai – virta
- Staattorin ulkopuolinen oikosulku
- Ylilämpötila
- Käämien välinen oikosulku (staattorin käämisulku)
- Vaiheen sisäinen oikosulku (staattorin kierrossulku)
- Staattorin maasulku
- Useiden käämikierrosten välinen oikosulku (roottorin kierrossulku)
- Roottorin maasulku
- Roottorin ylijännite tai – virta
- Epäsymmetrinen kuorma

- Epätahtikäyttö
- Alimagnetointi
- Takateho
- Akselin laakerien kautta kulkeva virta (laakerivirta)
- Ryntäys
- Taajuuspoikkeama
- Magnetointijärjestelmän toimintahäiriöt
- Jäähdytysjärjestelmän toimintahäiriöt
- Tulipalo

(Mts, 141-142)

Kuten edellä olevasta listasta ilmenee, generaattorisuojauskohteita on todella monta. Keskityn seuraavaksi 1-2 MW:n generaattoreiden suojauksiin, joita löytyy Konekennoterminaali REM 545:stä. Konekennoterminaalia käsittelen kappaleessa 6.

5.4.1 Relesuojaus

Rele on laite, joka toimii sähkövirtapiirissä tapahtuneen muutoksen vaikutuksesta. Releen tehtävänä on toteuttaa sille määritelty toiminto (ohjaus-, suojaus tai mittaustoiminto). Releen toiminta perustuu suureisiin sekä asetteluarvoihin, joita rele tarkkailee. Kun releen tarkkaileman suureen asetusarvo sivuutetaan, rele havahtuu ja toimii asetellun ajan kuluttua antamalla määritetyn kytkentäkäskyn. Havahtumisesta kytkentäkäskyn antamiseen kuluva aika kutsutaan releen toiminta-ajaksi. (Mörsky, J. 1993, 19)

5.4.2 Staattorin ylivirta- ja ylikuormitussuojaus

Ulkopuolisten ylivirtojen varalta tulee aina generaattorille järjestää oikosulku- ja usein myös ylikuormitussuojaus. Oikosulkusuojana käytetään yleensä ylivirta-aikareleitä. Luotettavin selektiivisyys kyetään saavuttamaan vakioaikareleillä. Staattorin sisäisissä vioissa ylivirtareleet toimivat myös suojina, mikäli virtamuuntajat sijaitsevat staattorin

tähtipisteen puolella. Tämä pätee myös silloin kun staattori on irti verkosta. Virtamuuntajien ollessa verkon puolella, toimii suojaus staattorin sisäisissä vioissa vain, mikäli verkossa on muitakin generaattoreita, jotka syöttävät vikavirtaa kyseessä olevan generaattorin sisäisessä viassa. Ylivirtasuojauksella suojaudutaan esimerkiksi staattorin oikosulussa syntyviltä ylivirroilta.

Generaattoria tahdistettaessa verkkoon on pyrittävä huolellisuuteen, koska mikäli tahdistus tapahtuu generaattorin ja verkon jännitteiden ollessa vaiheoppositiossa, aiheutuu akselille ja kiinnitys-laipoille haitallista räsitystä. (Mts, 142-144)

Sisäisissä vioissa sekä kiskovioissa ylivirtarele toimii pienillä koneilla pääoikosulkusuojana sekä verkon vioissa varasuojana. Isoilla generaattoreilla sisäisten vikojen pääsuojauksena käytetään differentiaalireleitä.

Yhtenä ylikuormitussuojana toimii generaattoreilla yleensä terminen rele vähintään yhdessä vaiheessa. Rele on kaksiportainen. Ensin releeltä saadaan hälytys korkeasta lämpötilasta ja mikäli lämpötila jatkaa nousuaan, rele laukeaa. Huomattavasti parempaan tarkkuuteen päästään, mikäli terminen rele toteutetaan tietokoneavusteisena.

Suurilla generaattoreilla lämpötiloja valvotaan sekä mitataan automaattisesti kriittisiin kohteisiin sijoitettujen lämpötila-antureiden avulla. Tällaisia kohteita ovat mm. staattoriurat, laakeripesät sekä kannatuslaakerin osat (segmentit). Myös jäähdytysveden virtausta sekä jäähdytysaineen lämpötilaa on hyvä valvoa. Valvottavista arvoista saadaan tarvittaessa hälytys sekä arvot ovat luettavissa valvomon näytöltä. (Mts, 145)

5.4.3 Staattorin maasulkusuojaus

Generaattorin rungon sekä vaiheen välille saattaa aiheutua johtava yhteys (maasulku) mikäli staattorikäänityksessä aiheutuu eristysvika. Suuri maasulkuvirta aiheuttaa muun eristyksen sekä levypaketin vaurioitumisen. Terveiden vaiheiden ja maan välinen jännite nousee ja saattaa aiheuttaa kaksoismaasulun ja sitä kautta käänisulun.

Maasulkuvirran ollessa tarpeeksi suuri, vika havaitaan käämisulkusuojana olevan differentiaalireleen avulla.

Mikäli useita generaattoreita on blokkikytkennässä (jokaisella generaattorilla oma muuntaja), voidaan selektiivinen maasulkusuojaus järjestää joko avokolmion jännitereleellä tai maan ja tähtipisteen välille kytketyn jännitemuuntajan ja jännitereleen avulla. Releen tulee myös kestää täysmaasulusta aiheutuva jänniterasitus. (Mörsky, J. 1993, 150)

Maasulkuvirran vaikutus maan ja generaattorin tähtipisteen välisen jännitemuuntajan jännitteeseen saadaan torjuttua kytkemällä jännitemuuntajan rinnalle vastus. Tähtipistevastuksella saadaan suurennettua staattorin maasulkuvirtaa sekä pienennettyä katkeilevan valokaarimaasulun esiintyessä syntyviä tähtipisteen ylijännitteitä.

Mikäli generaattori on kytketty kokoojakiskoon kaapelilla, voidaan hyödyntää kaapelivirtamuuntajaa maasulkuvirran mittauksessa. Kokoojakiskokytkennässä on useita generaattoreita kytkettynä rinnan. Maasulkuvirtaa voidaan tarvittaessa suurentaa maadoitusmuuntajaan kytketyn vastuksen avulla. Jotta virta kulkisi vikapaikasta tähtivastukseen virtamuuntajan kautta, tulee maadoitusmuuntajan olla suojausalueen ulkopuolella. (Mts. 151)

Maasulun suuntarelettä käytetään suojaukseen. Rele toimii normaalisti, mikäli maasulku on generaattorin puolella. Muussa tapauksessa maasulun ollessa suojausalueen ulkopuolella, maasulkujänniterele antaa aikahidastuksen jälkeen laukaisukäskyn maadoitusmuuntajan toisiossa olevan maasulkuvirtaa suurentavan vastuksen irti kytkemiseksi.

Rinnankytkettyjen generaattoreiden tapauksessa voidaan maasulkusuojaus toteuttaa kytkemällä ylivirtarele mittaamaan staattorin verkonpuoleisten virtamuuntajien toisiovirtojen summaa. Summavirtaa esiintyy ainoastaan viallisen staattorin releessä. Maasulkuvirran (summavirran) tulee tällöin olla riittävän suuri myös silloin, kun maasulku

tapahtuu lähellä staattorin tähtipistettä. Keinotekoisesti summavirtaa voidaan suurentaa maan ja tähtipisteen välisellä vastuksella. (Mts, 151)

Tähtipisteen lähellä tapahtuvat maasulut eivät sinällään ole vaarallisia, johtuen niiden aiheuttaman jänniterasituksen pienuudesta. Mutta niiden havaitseminen on käytön kannalta tärkeää, sillä toisen maasulun syntyessä sattuessa syntyy oikosulku. Tämän takia etenkin tärkeille generaattoreille kannattaa toteuttaa 100 % maasulkusuojaus, joka saadaan aikaan mm. antamalla jännitemuuntajan avulla generaattorin tähtipisteeseen pieni jännite U_0 maata vasten. Jännitemuuntajan kanssa sarjaan kytketään maasulkua tarkkaileva virtarele sekä virran rajoitusvastus. Kyseinen kytkentä soveltuu ainoastaan blokkikytkennässä käyvälle generaattorille, koska tähtipistemuuntajaa kuormittava virta sekä suojattavan alueen kapasitanssi ovat pienet. (Mts. 152)

5.4.4 Ylijännitesuojaus

Saarekekäytössä olevien tahtigeneraattorien yhteydessä voimakoneen ryntäämisen, kuormituksen äkillisen häviämisen tai jännitesäätäjän rikkoutumisen aiheuttaman jännitenousun varalta tarvitaan ylijännitesuojausta. Edellä mainituissa tilanteissa suojarile heikentää/poistaa generaattorin magnetoinnin, avaa pääkatkaisijan sekä lopuksi mahdollisesti pysäyttää voimakoneen. Ylijänniterele tulee olla varustettu yhtä monella koskettimella kuin sen suojauskohteitakin on tai sen apuna on käytettävä monikoskettimista apurelettä. Kuviossa 34 on esitelty generaattorin sekä päämuuntajan ylijännitekestoisuuksia.

Generaattori	Päämuuntaja	Aika
105 %	110 %	Jatkuva
110 %	115 %	30 Min.
115 %	120 %	5 Min.
125 %	130 %	2 Min.

Kuvio 34 Ylijännitekestoisuudet (Ahokas, T. 2011, 41)

Mitä pienempi ylijännitteen taajuus, sitä pienempää ylijännitettä generaattori kestä. Alhaisella taajuudella magneettivuon tiheys kasvaa, joka taas aiheuttaa rautasydämen magneettisen kyllästymisen sekä nopean lämpenemisen. Mikäli magneettivuon tiheyden kasvun yhteydessä esiintyy ylijännitettä, muodostuu tilanne erityisen vaaralliseksi. Tästä johtuen suuret generaattorit tulisi aina varustaa U/f-releellä, jotta kyseisestä tilanteesta saadaan hälytys tai tarvittaessa rele laukeaa. (Mts. 154)

5.4.5 Alimagnetointi- ja epätahtikäyttösuojaus

Kun generaattorin magnetointi ei päätötehotasolla enää riitä vaan generaattorin loisteho menee niin paljon kapasitiiviselle puolelle, että on mahdollisuus stabiilisuuden menetykseen, puhutaan alimagnetointitilanteesta. Generaattorin alimagnetointialueelle joutuminen saattaa aiheutua viallista jännitteen säädöstä, verkossa tapahtuvasta jännitteen noususta, magnetoinnin katkeamisesta tai magnetointikytkimen avautumisesta. Kahdessa jälkimmäisessä tapauksessa generaattorin pyörimisnopeus kasvaa ja se putoaa alle sekunnissa tahdistaa. Myös kahden ensimmäisen tapauksen takia stabiilisuusraja voi ylittyä, jolloin generaattori joutuu ns. epätahtikäyttöön pudotessaan tahdistaa.

Epätahtikäynti aiheuttaa voimakkaita jännite- ja virtasykäyksiä sekä paikallista kuumenemista staattorissa ja roottorissa. Lisäksi turpiinin ja generaattorin akselille sekä perustuksille aiheutuu huomattavia mekaanisia rasituksia. Epätahtikäynnin heilahtelu häiritsee verkkoa sekä siihen liitettyjä kuluttajia. Pyörimisnopeus on normaalia suurempi, generaattori ottaa loistehoa verkosta ja jännite on huomattavasti pienentynyt.

Tahdistaputoamissuojauksia toteutetaan alireaktanssi- sekä takatehoreleillä, jotka on varustettu integroivilla aikareleillä. Alireaktanssirele sekä takatehorele havahtuvat ja palaavat vuorotellen tahdistaputoamisen yhteydessä. Havahtuneena oloaika summataan aikareleiden avulla. Havahtuminen tapahtuu ajan ylittäessä asetteluarvon. Näin vältetään generaattorin tarpeeton verkosta irtautuminen transienttitilanteessa. (Mörsky, J. 1993, 162–163)

Alimagnetoinnin lisäksi generaattorin ”liukumisen” tahtikäynnin ulkopuolelle voi aiheuttaa riittävän vakava verkossa tapahtuva vika, jota ei syystä tai toisesta saada viiveettä poistettua verkosta. (Mts. 165)

5.4.6 Takatehosuojaus

Takatehosuojauksen tarkoituksena on estää voimakoneessa tapahtuvat vakavat häiriöt, jotka voivat estää tehonannon generaattorille. Tällainen vika on esimerkiksi voimakoneen häiriöissä se, kun tehon suunta generaattorilta verkkoon vaihtuu verkosta generaattoriin päin, jolloin generaattori muuttuu moottoriksi. Suunnan muutos havaitaan takatehoreleen avulla, joka erottaa generaattorin verkosta tehon siirtyessä verkosta generaattoriin päin. Esim. vesiturpiinikoneistoa takatehosuojaus suojaa liialliselta tärinältä ja höyryturpiinia liialliselta kuumenemiselta. Sylintereiden vastapaineen akselille aiheuttaman mekaanisen rasituksen takia generaattori ei saa koskaan jäädä pyörittämään dieselkonetta. Mikäli generaattori vahingossa kytketään pysähtyneenä jännitteeseen verkkoon, aikarele avaa viiveettä katkaisijan. Tarpeeksi nopealla toiminnalla estetään generaattorin laakerin vaurioituminen.

Takatehorelettä hyödynnetään myös normaalissa turbogeneraattorin pysäytyksessä. Turpiini ajetaan ensin pikasulkuun, jonka jälkeen energian annetaan purkautua verkkoon. Takatehoreleen nopean portaan avulla generaattorikytkin sekä kenttäkatkaisija avataan kun verkkoon menevä teho on tarpeeksi pieni.

Usein generaattoria tahdistettaessa verkkoon esiintyy lievää ohimenevää takatehoa. Tästä syystä takatehorele ei saa olla viritetty niin herkäksi, että se kyseisessä tilanteessa aiheuttaisi turhaan katkaisun. Releen riittävä hitaus on myös tarpeen turhien eroon kytkeytymisten välttämiseksi verkon tehon heilahtelujen takia. Ainoastaan pikasulun yhteydessä releen nopea toiminta sallitaan. Silloinkin vasta voimakoneen pysäytyskäsken jälkeen, jotteivat generaattori sekä turpiini joudu ylinopeusalueelle, eli pyritään tekemään pehmeä pysäytys (puretaan ylimääräinen energia ensin sähköverkkoon). (Mörsky, J. 1993, 165-166)

5.5 Suunnittelu

Dieselgeneraattorin suunnittelussa on otettava huomioon monia eri tekijöitä. Ensinnäkin dieselgeneraattorin tulee olla varmasti käynnistyvä sekä sen käynnistymisaika tulee sovittaa käyttötarkoitukseen:

- Mikäli varavoiman saannille on määritelty tietty aika (esim. sairaalaympäristössä 15 s. verkkokatkoksen alkamisesta), tulee sitä noudattaa ensisijaisesti.
- Jos kiinteää aikarajaa varavoiman kytkeytymiselle ei ole asetettu (esim. koe-käyttöjen yhteydessä), voidaan käynnistyksen yhteydessä syntyvän savun muodostumista pienentää käyttämällä käynnistykseen pidempää ramppia.
- Käynnistymisen tulee onnistua ensimmäisellä käynnistysyrityksellä
- Käynnistymisen varmistamiseksi kaikissa käyttöpaikan lämpötilaolosuhteissa on dieselmoottori varustettava esilämmittimellä.
- Mikäli kyseessä on automaattinen varavoimalaitos, on esilämmityksen toiminta varmistettava automaattisella vikahälytyksellä.

(ST-käsikirja 31, 85)

5.6 Varavoimakonetilat

Suunniteltaessa varavoimakoneen sijoitusta tulee aina huomioida paloturvallisuusmääräykset, tilan ilmastointi moottorin polttoilmaa varten, jäähdytysilman poisto sekä huoltotilan varaus, jotta konetta mahdollaan huoltamaan tarpeen vaatiessa. Huoltoa varten on hyvä jättää n. 600–1000 mm:n käytävätila koneen ympärille.

Varavoimakone tuottaa todella paljon lämpökuormaa. Koneen manuaaleista löytyy tarkka koneen tuottama lämpökuorma. Dieselgeneraattorilla sen tuottama lämpöteho on noin 60 % kokonaistehosta. Teho jakaantuu siten, että lähes puolet lämpötehosta poistuu pakokaasujen mukana ja toinen puoli jäähdyttimen kautta.

Dieselgeneraattorin tuottaman lämpötehon voi karkeasti laskea kertomalla generaattorin sähkötehon 1.5:lla. Kaavassa 9 on laskettu esimerkkilasku 150 kVA/120 kW:n dieselgeneraattorilla sekä kaavassa 10 generaattorin hyötysuhde:

$$P * 1,5 = P_{\text{läm}} \quad (9)$$

$$120 \text{ kW} * 1,5 = 180 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{läm}}} * 100 \% \quad (10)$$

$$\eta = \frac{120 \text{ kW}}{180 \text{ kW}} * 100 \% = 40 \%$$

Osa lämpökuormasta (n. 20 %) säteilee generaattoritilaan ja loput johdetaan pakoputkea sekä ilmanvaihtokanavia pitkin pois tilasta tai lämmittämään jotakin muuta tilaa. Varavoimakoneen jäähdytyspuhallin on hyvä asentaa lähelle generaattoritilan seinässä olevaa ulospuhallusaukkoa. Aukko voidaan varustaa moottoriohjatulla sälepellillä/verkkolla, joka aukeaa automaattisesti generaattorin käynnistyessä. Mikäli puhallusääntä halutaan vaimentaa, pitää ulospuhalluskanava varustaa erityisillä äänenvaimentimilla. Tällöin on myös huomioitava riittävän vapaa ulospuhallus sekä tarvittaessa tehostettava puhallusta lisäpuhaltimella.

Generaattoritilojen muiden apulaitteiden kuten lämmityksen, valaistuksen, ilmastoinnin sekä huoltopistorasioiden syöttö on mahdollista ottaa verkonvaihtokeskuksesta. Yleensä apulaitteiden sähkönsyötöt sijaitsevat varavoimakeskuksessa. (FinGen, 2014)

Mahdollisten vuotojen varalta (esim. suodattimen vaihdon yhteydessä), on dieselkoneikko varustettava riittävän kookkaalla vuotoaltaalla. Lisäksi varavoimatilan lattia suositellaan tehtäväksi altaaksi, jonka matalimpaan kohtaan asennetaan vuotoilmaisin. Varavoimatilan lattiassa ei saa olla viemäriiliitäntää mahdollisten vuotojen aiheuttamien ympäristö vahinkojen estämiseksi. (ST-käsikirja 31, 89)

5.7 Mitoitus

Dieselgeneraattorijärjestelmää mitoittaessa on tärkeää tapauskohtaisesti arvioida varmennettavan kuorman ominaisuudet, jottei generaattori toimi aivan äärirajoillaan. Kokonaistehon suuruus sekä suojalaitteiden valinta määräytyvät kuorman laadun mukaan. Järjestelmän kokonaisteho kasvatavat mm. käynnistysvirrat, jotka usein ovat moninkertaisesti nimellisvirtaa suuremmat. Mitoitusta tehdessä on myös hyvä huomioida rajallinen oikosulkuvirta, yliaallot sekä epälineaariset kuormat. Kuormien aiheuttamaa räsitusta saadaan pienennettyä mitoittamalla järjestelmän kokonaisteho hieman yläkanttiin käyttämällä riittävän suurta varmuuskerrointa. Näin saadaan esim. käynnistysvirtojen aiheuttamia jänniteheilahduksia pienemmäksi sekä sähkönlaatua paremmaksi. Lisäksi kuormien yhteenlasketun tehon on oltava riittävästi varavoimakoneen maksimitehoa pienempi, jolloin varaudutaan mahdolliseen tehontarpeen kasvuun tulevaisuudessa. Ylimitoituksella saadaan myös pidennettyä varavoimakoneen elinikää sekä vähennettyä huoltotarvetta. (Ilitchov, I. 2012, 30)

Mikäli varavoimakoneeseen kytketään reaktiivista kuormaa, kuten oikosulkumoottori, tulee se mitoittaa näennäistehon perusteella. Kuormituksen tehontarve voidaan laskea kaavan 11 avulla.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \frac{P}{\cos \varphi} = \sqrt{3} * U * I \quad (11)$$

S = kolmivaiheinen näennäisteho [VA]

P = kolmivaiheinen pätöteho [W]

Q = kolmivaiheinen loisteho [Var]

$\cos \varphi$ = tehokerroin

U = pääjännite [V]

I = vaihevirta [A]

Kun tiedetään varavoimakoneen haluttu kuormituskerroin k , voidaan ylimitoitettu maksimi näennäistehontarve S_{\max} laskea kaavan 12 avulla.

$$S_{\max} = \frac{S}{k} \quad (12)$$

Mikäli varavoimakone syöttää suoralähtöisistä moottorikuormaa, voidaan generaattoritehon laskennassa käyttää kaavaa 13:

$$S_{\text{tot}} = \frac{3 * M_1 + M_2 + M_3 \dots}{\cos \varphi + R_1 + R_2} \quad (13)$$

M_1 = suurin käynnistettävä moottori [kW]

M_2 = moottori 2 [kW]

M_3 = moottori 3 [kW]

$\cos \varphi$ = tehokerroin

R_1 = lämmityskuorma [kW]

R_2 = muut kuormat [kW]

Kaavassa 16 suurimman käynnistettävän moottorin teho kerrotaan kolmella ja siihen lisätään muut moottorikuormat. Summa jaetaan tehokertoimella (0,8), jolloin saadaan yleisimmin ilmoitettu generaattoriteho kilovolttiampeereina. Tähän lisätään vielä lämmitys ja valaistuskauormat. Saatu teho on suuntaa-antava ja siihen vaikuttaa vielä moottoreiden käynnistystapa, joita ovat suora-, tähti-kolmio-, pehmo- tai taajuusmuuttajakäynnistys. (FinGen, 2014)

Suoran käynnistykseen ottama käynnistysvirta on n. 5-10 kertaa moottorin nimellisvirta. Tähti-kolmio käynnistyksessä moottorin virta on noin 1/3 suoran käynnistykseen ottamasta virrasta. Pehmo- ja taajuusmuuttajakäytöissä käynnistysvirta saadaan pysymään jopa moottorin nimellisvirran suuruisena.

Mikäli moottorit käynnistetään taajuusmuuttajan avulla, voidaan mitoituksessa käyttää kerrointa 1,5. Tämä riippuu kuitenkin taajuusmuuttajan tasasuuntaajan tekniikasta ja siksi suositellaankin käytettäväksi arvoa 2. (FinGen, 2014)

6 KONEKENNOTERMINAALI REM 545

REM 545-konekennoterminaali (kuvio 35) on tarkoitettu pyöriville koneille ja se on osa ABB:n sähköasema-automaatiokonseptia. Konekennoterminaalin laitteisto- ja ohjelmistosovelluksissa sovelletaan digitaalista signaalinkäsittelyä ja hajautettua I/O:ta tehokkaan keskusyksikön (CPU) avulla. Käyttöliittymänä on graafinen nestekidenäyttö. (ABB N.D. 6)



Kuvio 35 Konekennoterminaali REM 545 (ABB N.D. 10)

REM 545 -konekennoterminaalin toiminnot:

- Suojaus
- Mittaus
- Ohjaus
- Kunnonvalvonta
- Tietoliikenne
- Perus- ja yleistoiminnot

(ABB N.D. 10)

6.1 Käyttökohteet

Konekennotermiinaali REM 545:sta käytetään suojaamaan mm. pienten ja keskisuuren dieselvoimaloiden sekä höyry- ja vesivoimaloiden generaattoreita ja generaattorimuuntajayksiköitä. REM 545 soveltuu myös esim. murskaimissa, myllyissä ja pumppuissa käytettävien asynkroni- sekä synkronimoottoreiden suojaukseen. Käytettävissä olevat toiminnot perustuvat käytettyyn laitteistoon sekä valittuun toimintotasoon. Keskusyksikön kokonaisuormitus huomioon ottaen voidaan konekennotermiinaalille valita halutut toimintalohkot. Vaihtoehtoja ovat suojaus-, mittaus-, ohjaus-, kommunikointi- sekä kunnonvalvontatoimilohko. Toimilohkoja yhdistelemällä sekä oikealla konfiguroinnilla muodostetaan kuhunkin tilanteeseen sopiva ratkaisu.

Mikäli REM 545:sta käytetään paikallisesti, voidaan katkaisijoiden ja erottimien tilatiedot nähdä konekennotermiinaalin nestekidenäytöltä. Tilatiedot voidaan myös välittää väyläliittynän kautta kaukokäyttöjärjestelmään. Lisäksi katkaisijoita ja erottimia voidaan ohjata joko paikallisesti konekennotermiinaalin etupaneelin kautta taikka kaukokäyttöjärjestelmän kautta. Ohjaussignaalit sekä tilatiedot siirretään sarjaväylän kautta.

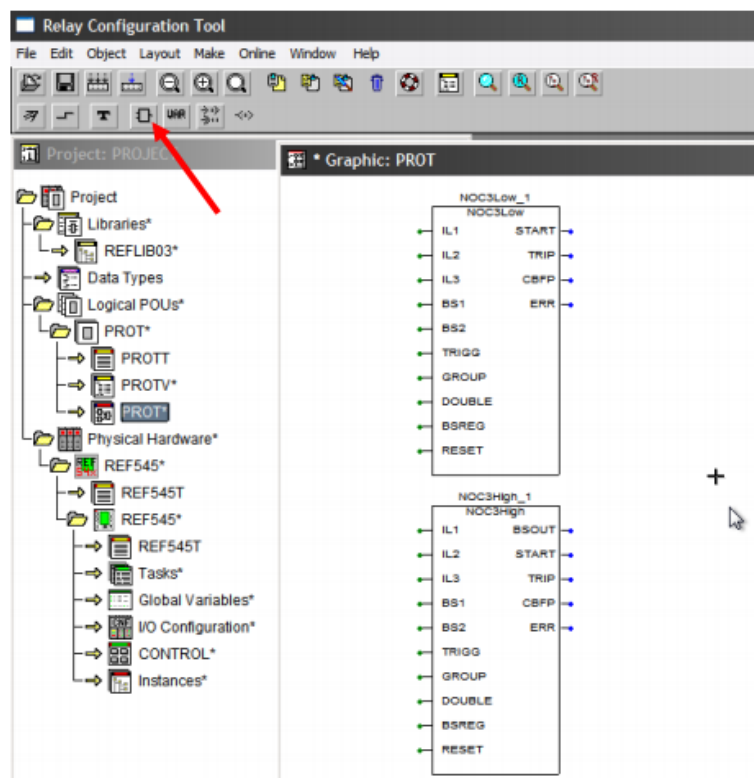
Konekennotermiinaali on tarkoitettu suojaamaan pyöriviä koneita selektiivisesti oikosulku- ja maasulkutilanteissa. Lisäksi termiinaalilla voidaan toteuttaa ylivirta-, vinkuorma-, yllämpö-, yli- ja alijännite-, yli- ja alimagnetointi, yli- ja alitaajuussuojaukset sekä väärän vaihejärjestyksen suojaus. Johdon varasuojaukseen on käytettävissä myös ali-impedanssitoiminto. Lisäksi moottorin käynnistystä voidaan valvoa jumisuojan ja käynnistysaikalaskurin avulla. (Mts. 18)

Konekennotermiinaali REM 545:lla mitataan vaihevirtoja ja pää- tai vaihejännitteitä, nollavirtaa, -jännitettä, taajuutta sekä tehokertoimia. Mitatuista virroista ja jännitteistä saadaan lasketuksi pätö- ja loistehot. Mitatut ja lasketut arvot näytetään paikallisesti tai ne voidaan siirtää skaalattuina primääriarvoina tietokoneelle. Ohjelmoitavat logiikkatoiminnot sisältyvät REM 545:een, jolloin asema-automaatioon tarvittavat automaatio- ja sekvenssilogiikkatoiminnot saadaan sisällytettyä yhteen laitteeseen. Ylemmän

tason järjestelmän sekä konekennotermiinalin välinen tiedonsiirto tapahtuu SPA-, Modbus- tai LON-väylän kautta. LON-väylän sekä ohjelmoitavien logiikoiden avulla konekennotermiinalien välistä johdotusta pystytään vähentämään. (Mts. 20)

6.2 Perus- ja yleistoiminnot

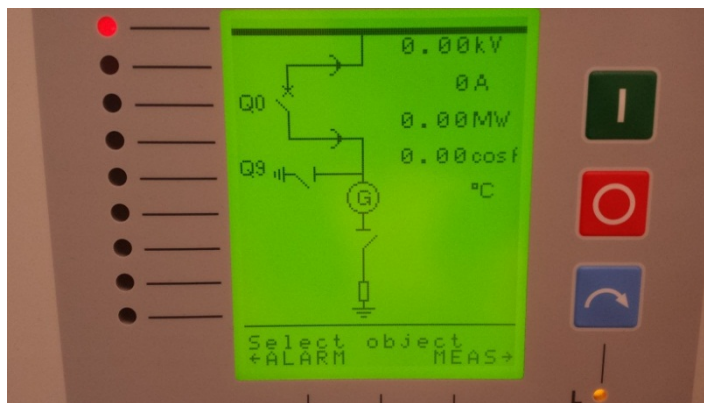
Konekennotermiinalin perustoiminnot liittyvät sen logiikkatoimintoihin, joita ovat ohjaussekvenssit, hälytykset sekä lukitukset. Kaikkia logiikkatoimintoja voidaan käyttää yhdessä muiden toimintojen kanssa. Lisäksi perustoiminnot voidaan konekennotermiinalin konfigurointi- ja CAP 505 Relay Configuration Tool - ohjelmointityökalun (ks. Kuvio 36) avulla liittää digitaalituloihin ja –lähtöihin sekä LON-tuloihin. Suunnittelija tekee CAP 505 avulla sovellukset (suojaus, mittaus ja ohjaustoiminnot kaikki omille lehdilleen) logiikkakaavioilla tyhjään konfiguraatioon. Eri sovelluksilla on eripituiset sekvenssajat, esimerkiksi suojauksen toiminta-aika on 10 ms. (Mts. 28)



Kuvio 36 CAP 505 käyttöliittymä

6.3 Ohjaustoiminnot

REM 545:n ohjaustoimintoja käytetään katkaisijoiden ja erottimien auki- ja kiinniohjaukseen sekä katkaisijoiden, erottimien ja hälytyskanavien tilatietojen ilmaisemiseen. Lisäksi löytyy myös täydentäviä ohjauslogiikkatoimintoja, kuten auki/kiinnikytöntä-objekteja ohjauslogiikkaa varten, näyttöobjekteja katkaisijoiden tilatiedoille sekä objekteja mm. tiedonkeruuta ja hälytyksiä varten. Konfiguroidut ohjausfunktiot voidaan yhdistää mimiikkakuvan tilanäyttöihin Relay Configuration Tool – työkalun avulla. Kuviossa 37 näkyy releen ohjaaman katkaisijan, maadoituserottimen sekä generaattorikatkaisijan tilatiedot. Ohjausfunktiot ovat osa koko graafisen LCD-näytön MIMIC -konfiguraatiota. Kytöntäilaitteiden tilan näkeminen mimiikkanäkymässä sekä niiden paikallisohjaus toteutetaan tilatietojen avulla konekennotermiinalissa. (Mts. 25)



Kuvio 37 Konekennotermiinalin tilatiedot.

6.4 Suojaustoiminnot

REM 545 – konekennotermiinalin toiminnoista suojaus on yksi tärkeimpiä. Suojaustoiminnoilla on omat asetteluryhmänsä, tiedonkeruunsa sekä toiminnot ovat kaikki toisistaan riippumattomia. Esim. suuntaamaton ylivirtasuojia sisältää kolme suojausportaa, jotka ovat NOC3Low, NOC3High ja NOC3Inst. Kaikkien kolmen portaan toiminta on täysin toisistaan riippumatonta. Suojauksissa, jotka perustuvat jännitemit-

taukseen, voidaan käyttää joko perinteisiä jännitemuuntajia tai jännitteen jakajia. Suojauksissa, jotka taas perustuvat virtamittaukseen, voidaan käyttää joko perinteisiä virtamuuntajia tai Rogowski – sensoreita. (Mts. 23)

Liitteessä 1 on esitelty laboratoriotyössä käytettävän varavoimageneraattorille konfiguroidun REM 545:n suojausten logiikkakaavio. REM 545 sisältää suojaustoimintoja yhteensä 54kpl. Tässä työssä on keskitytty viiteen suojaukseen, jotka myös simuloidaan seuraavassa kappaleessa käsiteltävässä laboratoriotyössä. Käsiteltävät suojaukset ovat:

- Staattorin ylivirtasuojaus
- Staattorin maasulkusuojaus
- Ylijännitesuojaus
- Alimagnetointi- ja epätahtikäyttösuojaus
- Takatehosuojaus

7 VARAVOIMAGENERAATTORIN SUOJAUS (LABORATORIOTYÖ)

Tarkoituksena oli tuottaa Jyväskylän ammattikorkeakoulun opetuskäyttöön laboratoriotyö koskien REM545 konekennoterminaalia ja sen avulla toteutettua varavoimatahtigeneraattorin suojausta. Työ toteutettiin JAMKIn sähkölaboratoriotiloissa. Työn kulku meni siten, että ensin tutustuin konekennoterminaalin manuaaleihin ja valmiiseen suojauskonfiguraatioon, jonka jälkeen sovimme päivämäärän, jolloin käytännönosuus toteutettaisiin.

7.1 Käytännön toteutus

Käytännön toteutus tehtiin 19.5.2015 JAMKIn laboratoriotiloissa. Aluksi suunniteltiin liitteen 2 mukainen mittauskytkentä ja komponentit, joita työssä tarvittaisiin. Työn ta-

voitteena on perehdyttää opiskelijat varavoimageneraattoreiden suojaukseen ja havainnollistaa miten suojaukset reagoivat erilaisissa vikatilanteissa. Työhön tarvittiin seuraavat komponentit:

- REM545 konekennotermiinaali
- Vacon taajuusmuuttaja
- Moottori-tahtigeneraattori vaunu
- 3-vaihe muuntaja
- 1 kpl jännitemuuntajia 400 V/100 V
- 4 kpl virtamuuntajia 5/1 A
- 3 kpl analogista yleismittaria
- 2 kpl digitaalista yleismittaria
- 1 kpl 3-napainen kytkin
- 1 kpl 1-napainen kytkin
- 1 kpl katkaisija (laukaisu työvirtaperiaatteella)
- 1 kpl 100 Ω vastus

Työssä tarvittavat komponentit esitelty kuviossa 38 ja 39.



1. REM545 moottorinsuojarele
2. Vacon taajuusmuuttaja
3. Moottori-generaattori vaunu
4. 3-vaihe muuntaja

Kuvio 38 Kytkenässä vaadittavat pääkomponentit



1. Jännitemuuntaja 400V/100V
2. Virtamuuntaja
3. Analoginen yleismittari
4. Digitaalinen yleismittari
5. 3-napainen kytkin
6. 2-napainen kytkin
7. Katkaisija
8. 100 Ω vastus

Kuvio 39 Kytkenässä vaadittavat apukomponentit

Sähkönsyöttö kytkennälle otettiin laboratoriapöydän vikavirtasuojatusta lähdöstä (Kuvio 40). Lisäksi generaattorille otettiin magnetointijännite (tasajännite) laboratoriapöydän säädettävästä jännitelähdöstä (Kuvio 41).



Kuvio 40 Vikavirtasuojattu lähtö

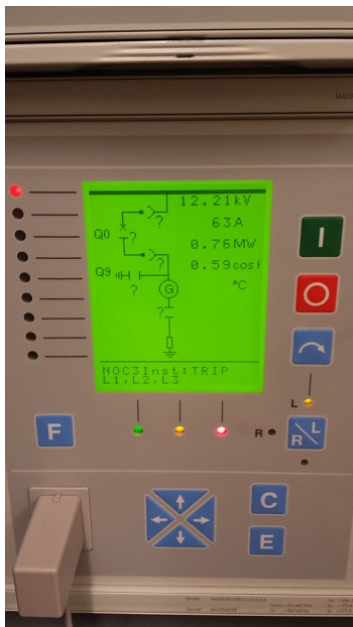


Kuvio 41 Säädettävä vaihtojännitelähde 0-400V / 0-10 A

Kytkenän jälkeen aloitettiin varsinainen testaus. Tarkoituksena oli keskittyä moottorinsuojareleen suojausominaisuuksiin, joita käsittelin aiemmin luvussa 6.3. Simuloitavat suojaukset ovat:

- Staattorin ylivirtasuojaus (NOC3Inst)
- Staattorin maasulkusuojaus (DEF2High)
- Ylijännitesuojaus (OV3Low)
- Alimagnetointi- ja epätahtikäyttösuojaus (UE6Low)
- Takatehosuojaus (UPOW6St2)

Ylivirtasuojaus perustuu vaihevirtamuuntajilla mitattuihin virtoihin. Ylivirtasuojauksen testaus toteutettiin tahdistamalla generaattori sähköverkkoon ns. väärään aikaan. Tahdistushetkellä jännite-ero (n. 25 V) tahdistuskytkimen yli aiheuttaa riittävän tasoitusvirran, joka taas aiheuttaa releen toiminnan ja katkaisijan avautumisen. Releen mimiikka tulostaa näytölle hälytyksen NOC3Inst, joka näkyy kuviossa 42. Suojauksen konfiguraatio löytyy liitteestä 1.



Kuvio 42 REM545:n mimiikkanäyttö

Takatehosuojaus perustuu tehonmittaukseen. Takatehosuojaus testattiin antamalla voimakoneena toimivan oikosulkumoottorin taajuusmuuttajalle ohjauksikäsky ”Seis”. Tällöin oikosulkumoottori jää vapaasti pyörimään ja voimakone ei enää tuota momenttia. Myöskään generaattori ei tuota sähkötehoa verkkoon vaan alkaa ottamaan sähkötehoa verkosta eli alkaa toimimaan moottorina. Tehon suunnan muuttuessa ja tilanteen jatkuessa tarpeeksi pitkään takatehosuoja aiheuttaa releen toiminnan sekä katkaisijan avautumisen.

Alimagnetointisuojaus perustuu reaktanssin mittaukseen pääjännitteen ja kahden vaihevirrann perusteella. Suojan testaus tapahtui katkaisemalla generaattorin magnetointijännite. Magnetointijännitteen kadotessa generaattori menettää stabiilisuutensa ja se joutuu ns. epätahtikäyttöön pudotessaan tahdistasta. Samalla generaattorin pyörimisnopeus kasvaa. Generaattori alkaa myös ottamaan loistehoa verkosta ja sen verkkoon päin näkyvä reaktanssi muuttuu. Reaktanssin muuttuessa rele havahtuu ja tilanteen jatkuessa aikaviivettä pidempään, katkaisija avautuu.

Maasulkusuojaus perustuu vaihevirtamuuntajien summakytkennällä tai erillisellä kaapelivirtamuuntajalla mitattuun nollavirtaan. Maasulkusuojauksen testaus toteutettiin saarekekäytössä kytkemällä 100 Ω vastus yhden vaiheen ja mittauskytkennän ”maatason” välille, joka vastaa 1-vaiheista maasulkua. Maasulun sattuessa nollavirta ylittää asetteluarvon, jolloin rele havahtuu ja asetellun aikaviiveen jälkeen katkaisija avautuu.

Ylijännitesuojaus perustuu jännitteen mittaukseen. Ylijännitesuojaus testattiin nostamalla saarekekäytössä olevan eli ei verkkoon kytketyn generaattorin magnetointijännitettä, jolloin generaattorin staattorikäämitykseen indusoituva jännite kasvoi. Mitatun staattorikäämityksen jännitteen noustessa yli asetteluarvon, rele havahtuu ja aikaviiveen jälkeen katkaisija avautuu.

7.2 Esitehtävät

Esitehtävien tarkoituksena on saada opiskelijat tutustumaan käsiteltävään aiheeseen sekä REM545:n toimintaan. Esitehtävät palautetaan opettajalle pari päivää ennen laboratoriokertaa. Mikäli esitehtävissä on jotain korjattavaa, lähettää opettaja ne opiskelijoille takaisin. Opiskelijat korjaavat vaaditut kohdat ja ottavat esitehtävät mukaansa laboratoriokerralle. Esitehtävät käydään läpi omin sanoin opettajan johdolla läpi ennen varsinaisen työn aloitusta. Esitehtävät löytyvät liitteenä 3 olevasta Laboratoriotyöohjeesta.

7.3 Mittausohje

Mittausohjeen (Liite 3) tarkoituksena on toimia laboratoriotyön runkona. Ohjeesta löytyy kytkentäkuva (Liite 2), jonka avulla opiskelijat toteuttavat työssä vaaditun kytkennän. Kytkennän valmiiksi saatuaan, opiskelijat ilmoittavat siitä opettajalle, joka tarkistaa kytkennän. Mikäli kytkentä on kunnossa, opiskelijat siirtyvät eteenpäin mittausohjeen mukaisesti. Mittausten edetessä opiskelijat täyttävät samalla mittauspöytäkirjaa, jonka pohjalta he tekevät mittausraportin.

7.4 Mittausraportti

Mittausraportin tarkoituksena on laittaa opiskelijat miettimään tarkemmin tekemäänsä laboratoriotyötä. Raportti sisältää muutamia laskuja sekä teoriakysymyksiä, joihin opiskelijat miettivät vastauksia. Raportti tehdään JAMKin raportointipohjan mukaisesti sekä palautetaan annettuun päivämäärään mennessä opettajalle. Mikäli raportissa on korjattavaa, opettaja lähettää sen takaisin opiskelijoille, jotka korjaavat vaaditut kohdat.

8 POHDINTA

Tässä työssä pääsin tutustumaan varmennettuun sähkönjakeluun ja sen suojauksiin entistä syvemmin. Aikaisempaa kokemusta aiheesta minulla oli syksyllä 2014 toteutetun UPS-järjestelmä laboratoriotyön pohjalta. Kyseisessä työssä tehtiin myös opetuskäyttöön tullut laboratoriotyö ja olin itse avustamassa työn tekemisessä. Tätä työtä tehdessä keräämäni tieto tukee minua varmasti työelämässä.

Vaikka työssä keskityin enemmän generaattorin suojaukseen, tutustuin myös muihin konekennoterminaalin toimintoihin ja tiedän niistä myös yleisellä tasolla. Teoriaosuuden rajaamisen olisi voinut tehdä tarkemmin, jolloin työn pituus olisi ollut hieman maltillisempi. Mielestäni kuitenkin aiheen ohi ei työssä mennä, eli kaikki teoria liittyy työn aiheeseen.

Teollisuudessa konekennoterminaaleja käytetään paljon suojauksessa ja luultavasti tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä ne tulevat lisääntymään. Itse olen teollisuudessa päässyt konekennoterminaaleihin tutustumaan toimiessani Olkiluodon ydinvoimalaitoksella.

Aloittaessani ammattikorkeakoulun syksyllä 2011, en olisi osannut sanoa, että teen opinnäytetyön kyseisestä aiheesta. Kuitenkin mielestäni olen ajautunut aihetta kohti, esimerkiksi kesällä 2014 ollessani harjoittelussa Olkiluodon ydinvoimalaitoksella, olin paljon tekemisissä UPS- sekä dieselgeneraattorijärjestelmien kanssa. Kun aihetta opinnäytetyölleni etsin ja kuulin tämän aiheen, tartuin siihen mielelläni. Varavoimaa on kuitenkin käytössä laajasti teollisuudessa ja varmasti tulen siihen tulevaisuudessa törmäämään.

Olisi ollut mukava päästä ohjaamaan myös tämän työn tuloksena syntyneitä laboratoriotyöitä. UPS-työn ohjaus opetti minulle paljon ja sain siitä todella hyvää palautetta. Verrattuna UPS-työhön, tuli tästä työstä enemmän toiminnallinen. Mielestäni tämän työn tyyppiset opinnäytetyöt tai projektit, joissa tuotetaan opetuskäyttöön soveltuvia

laboratoriotöitä, ovat hyviä mahdollisuuksia opiskelijoille tutustua erilaisiin aiheisiin. Myös laboratoriotyön vetämiseen osallistuminen palvelee varmasti jatkossa työelämässä.

Opinnäytetyöni aiheen valinta oli mielestäni onnistunut, sillä pääsin hyvin tutustumaan aiheeseen. Käytännönosuuteen sain apua ohjaajaltani Pasi Puttoselta. Teoriaosuudet ja materiaaleihin tutustumiset tein itsenäisesti ja tarvittaessa sain niihin myös ohjausta. Aiemmin tehty UPS-työ helpotti käytännönosuutta.

Aikataulusta onnistuin pitämään kiinni ja vaikka välillä tuntui, että työn kanssa tulee kiire, lopulta sain työn viimeitelyn tehdä rauhassa.

Tämän työn tuloksia voidaan pitää luotettavina, mikäli peilataan aiemmin toteutettuun UPS-laboratorio työhön. Todellinen luotettavuus siis paljastuu vasta kun työ menee opetuskäyttöön syksyllä.

LÄHTEET

ABB. N.D. Konekennoterminaali REM 545. Tekninen ohje. Viitattu 21.5.2015.

<https://library.e.abb.com/public/53e09b68026f9303c2256f3f003bad39/rem-techrefmFlc.pdf>

Ahokas, T. 2011. Voimalaitosgeneraattorien suojaus ja magnetointi. Diplomityö. Viitattu 19.5.2015.

http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dyot/Ahokas_Tomi_julk.pdf

Axen, A. 2012. Akustojen ja akkutilojen määräysten mukaisuus. Opinnäytetyö. Viitattu 9.5.2015.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46436/Axen_Antti.pdf?sequence=1

Eaton. 2014. UPS-käsikirja. PDF-tiedosto. Viitattu 13.5.2015.

pqlit.eaton.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=24030

Eaton 2015. Häiriötön sähkönsyöttö. UPS-laitteistot. Viitattu 13.5.2015

<http://powerquality.eaton.com/Suomi/Products-services/Backup-Power-UPS/default.asp>

Eaton. N.D. Power Xpert 9395P UPS – Tekniset tiedot. Viitattu 27.4.2015.

<http://powerquality.eaton.com/Products-services/Backup-Power-UPS/9395P.aspx?cx=79>

Emerson Network Power. N.D. UPS Operating Modes: A Global Standard. PDF-tiedosto. Viitattu 10.5.2015

http://www.emersonnetworkpower.com/documentation/en-us/brands/liebert/documents/white%20papers/uninterruptible-power_24653-r10-10.pdf

Energiateollisuus. 2014. Sähkökatkot ja jakelun keskeytykset. Viitattu 19.4.2015.
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/sahkokatkot-ja-jakelun-keskeytykset>

FinGen Oy. 2014. Varavoiman suunnittelu. Viitattu 17.5.2015.
<http://www.fingen.fi/suunnittelu/>

Finlex. 2013. Sähkömarkkinalaki 588/2013. Lakiteksti. Viitattu 23.4.2015
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>

Hager. N.D. Johdonsuojakatkaisijat. Laukaisukäyrät ja käyttö. Viitattu 29.4.2015.
<http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

Harsia, P. 2008. Ensto. Sulakkeet. Viitattu 23.5.2015
<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594789763.html>

Harsia, P. 2008. Virtuaali AMK. Ylikuormitussuojaus. Viitattu 16.5.2015.
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030503/1132057231100/1132058013949/1132059263463/1132128104898.html>

Heiskanen, J. 2013. Varmennetun verkon selvitys teollisuuslaitoksessa. Opinnäytetyö. Viitattu 12.5.2015.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63244/Heiskanen_Juha.pdf?sequence=1

Ilitchov, I. 2012. Dieselgeneraattorin jännitesäätäjän koestuslaitteiston suunnittelu. Opinnäytetyö. Viitattu 17.5.2015.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/52819/ilitchov_ilja.pdf?sequence=1

Jantunen, M. 2004. Sellutehtaan varavoimajärjestelmän mitoitus ja teknistaloudellinen vertailu 400 ja 690 voltin jännitteillä. Diplomityö. Viitattu 24.4.2015.

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/34620/nbnfi-fe20041326.pdf?sequence=1>

Lopponen, A. 2011. Varmennetun sähköverkon selvitystyö. Opinnäytetyö. Viitattu 12.5.2015.

http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/29093/Instyo_ALopponen.pdf?sequence=1

Puttonen, P. N.D. Sähkösuunnittelu. Luentomateriaalit. Viitattu 22.5.2015

SFS 600-1. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000 Pienjännitesähköasennukset. 1. painos. Helsinki. SFS. Viitattu 15.5.2015.

Siemens. 2015. Kompaktikatkaisijat. SENTRON 3VT. Viitattu 10.5.2015.

http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/pienjannitekojeet/kytkenta_suojaus_ja_ohjaus/kompaktikatkaisijat_sentron.htm

ST-Käsikirja 20. Sähkötieto ry. 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. Forssan Kirjapaino Oy. Forssa. Viitattu 17.5.2015

ST-Käsikirja 31. Sähkötieto ry. 2013. Varavoimalaitokset. 3. painos. Tammerprint Oy. Tampere. Viitattu 19.5.2015.

ST 52.30.01. Sähkötieto ry. 2003. Akkuhuoneet ja varaamotilat. Sähköinfo Oy. Espoo. Viitattu 8.5.2015

ST 52.35.01. Sähkötieto ry. 2010. UPS-laitteet ja järjestelmät. Sähköinfo Oy. Espoo. Viitattu 11.5.2015.

ST 52.35.02. Sähkötieto ry. 2010. UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Sähköinfo Oy. Espoo. Viitattu 11.5.2015.

ST 53.45. Sähkötieto ry. 2004. Sulakkeeton suojaus. Sähköinfo Oy. Espoo. Viitattu 11.5.2015.

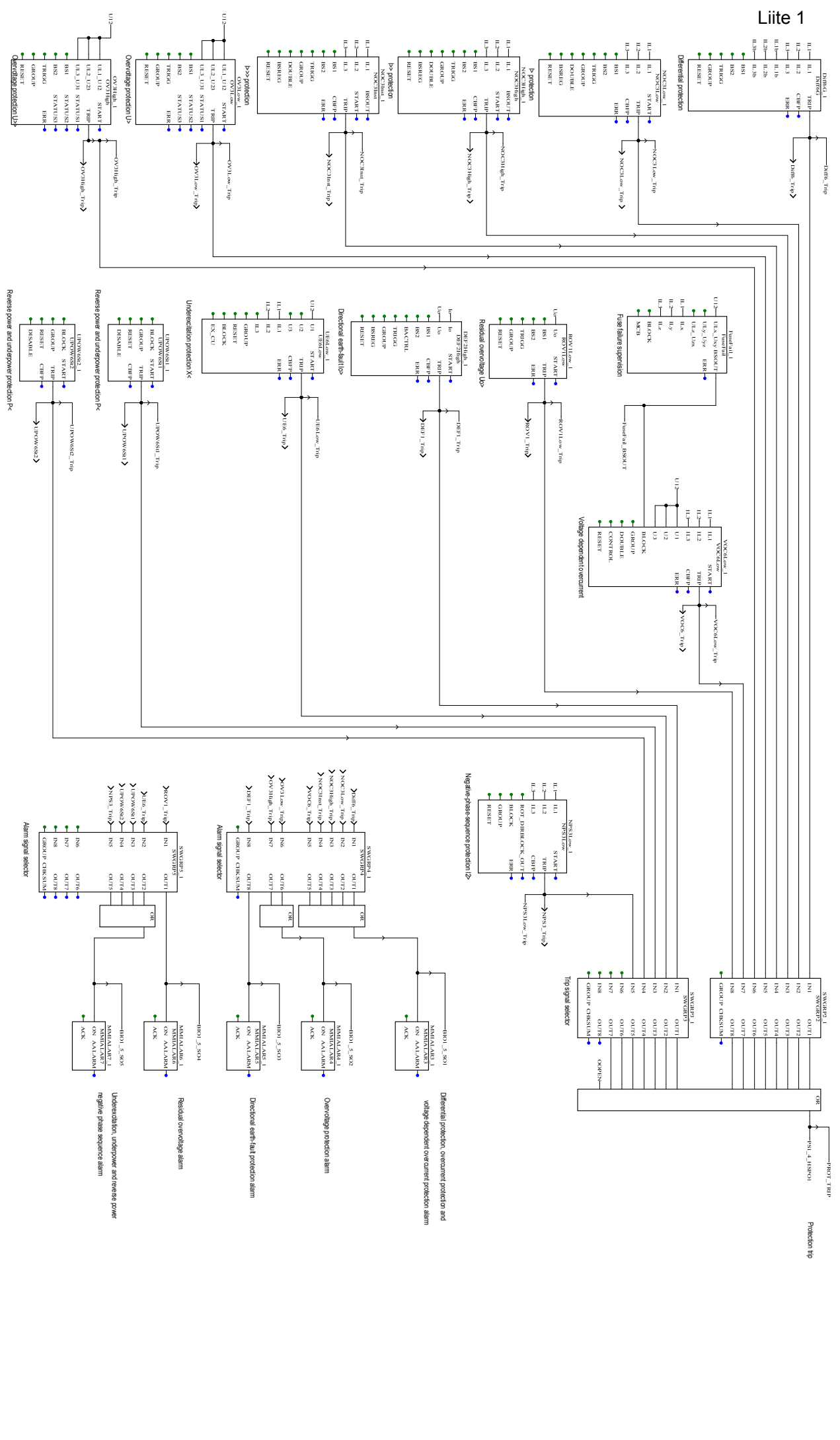
Suunnittelutoimisto Hakala Oy. N.D. SFS 6000 mukaiset mittausten ja laskelmien vaatimustaulukot. Viitattu 18.5.2015.

<http://nsoy.fi/uploads/nss/Vaaditut%20oikosulkuvirrat.pdf>

Ylinen, M. 2010. UPS Suunnittelu ja mitoitus, UPS laskenta ohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 19.5.2015

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24770/Ylinen_Marko.pdf?sequence=1

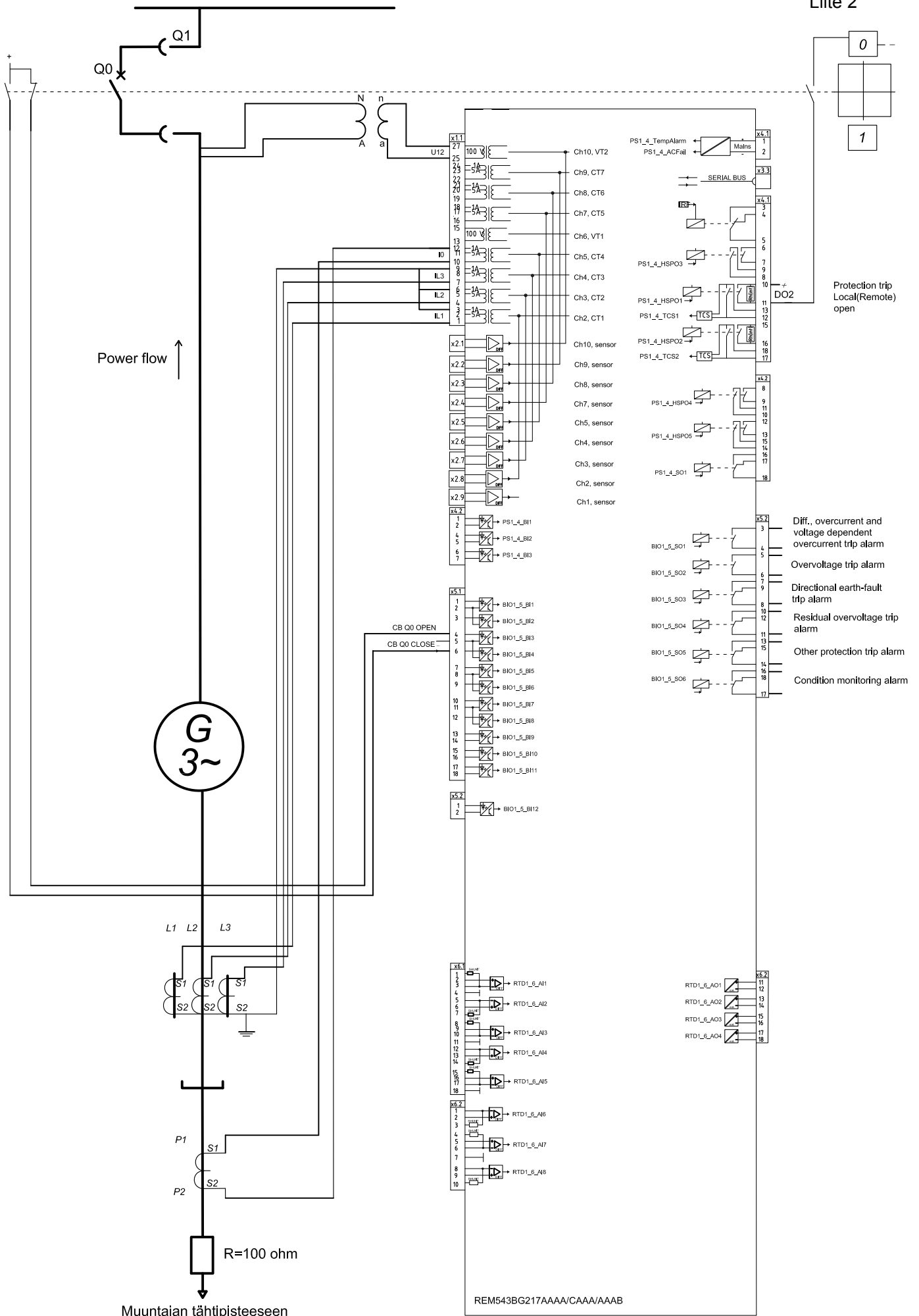
Lite 1



Revised	Doc design	Comment
Based on		
Replaced by		
Replaces		

Project name
1MR5751909-EUM/751909b-ar

Prepared	13.05.2015	Responsible dept.	FIMTT / RSA	Title	prot1
Approved		Take over dept.		Ordering No.	POEprot1prot1GB
Checked		Revision		Application Configuration No.	
ABB Transmit Oy Relays and Network Control					
Language	ENG	No of sheets		Page total	1/1
Document No.					





LABORATORIOTYÖ: VARAVOIMAGENERAATTORIN SUOJAUS

Megawatti luokan pienjännite varavoimakoneilla tarvitaan tiettyjä erikoissuojia. Tässä työssä tutustutaan REM545 konekennotermiiniin suojausominaisuuksiin sekä niiden toimintaan varavoimageneraattorin suojauksessa.

Esitehtävät

Tutustu Optimassa olevaan REM 54_ koulutusmateriaali.pdf ja vastaa alla oleviin kysymyksiin.

1. Millaisiin suojauskohteisiin on tarkoitettu kennotermiini, jonka tyyppi on
 - REF
 - REM
 - RET
2. Mitä tarkoittaa ja mihin sitä käytetään
 - HMI
 - Mimiikka (Mimic)
 - R/L valintapainike (R/L switch)
 - Measurement view
 - Event view
 - Alarm view

Tutustu Optimassa olevaan REM 54_ ominaisuudet.pdf ja vastaa alla oleviin kysymyksiin.

3. Mihin käytetään kennotermiiniin analogiakanavia, digitaalituloja ja digitaalilähtöjä
4. Mikä ero on digitaalilähtöjen tyypeillä HSPO, PO ja SO
5. Alla on esimerkki kennotermiiniin suojausfunktioiden nimeämisestä:

NOC3Low = Non-directional Over-Current protection, 3-phase, Low set stage
= suuntaamaton 3-vaiheinen ylivirtasuojaus, alempi porras
= 3I>

Mitä suomenkielisiä ohjaus-, mittaus- tai suojausfunktioita alla olevat lyhenteet vastaavat ja millä lyhenteellä niitä merkitään (ks. yllä 3I>):

- NOC3Inst
- DEF2High
- OV3Low
- UE6Low
- UPOW6St2



6. Selvitä toimilohkon NOC3Low ohjelmallisten input- ja output nastojen merkitys
7. Tutustu kennoterminaalin suojausten logiikkakaavioon ja selvitä millä ehdoilla esimerkiksi Noc3High-portaan laukaisu viedään laukaisukoskettimelle PS1_4_HSP01
8. Minkälaisessa tilanteessa tarvitaan alla olevia suojauksia:
 - a. Ylivirtasuojaus
 - b. Takatehosuojaus
 - c. Alimagnetointisuojaus
 - d. Maasulkusuojaus
 - e. Ylijännitesuojaus
9. **Generaattorikäytössä** puhutaan tahdistamisesta silloin, kun tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla kone kytketään verkkoon. Selvitä mitkä ovat ne ehdot, joilla saadaan onnistunut tahdistus eli verkkoon kytkennän yhteydessä ei synny suurempia transientteja (virtapiikkejä). Mitä haittaa väärin tehty tahdistus saattaa aiheuttaa verkolle?

Palauta esitehtävät Optiman palautuslaatikkoon mittauksia edeltävänä päivänä.

Laitteet

- REM545 konekennoterminaalii
- Vacon taajuusmuuttaja
- Moottori-tahtigeneraattori vaunu
- 3-vaihe muuntaja
- 1 kpl jännitemuuntajia 400 V/100 V
- 4 kpl virtamuuntajia 5/1 A
- 3 kpl analogista yleismittaria
- 2 kpl digitaalista yleismittaria
- 1 kpl 3-napainen kytkin
- 1 kpl 1-napainen kytkin
- 1 kpl katkaisija (laukaisu työvirtaperiaatteella)
- 1 kpl 100 Ω vastus



Mittaukset

1. **Releen toimintaan tutustuminen.** Tutustu releen toimintaan etupaneelissa olevien näppäinten avulla.
2. **Mittauskytkentä.** Tee liitteen 1 mukainen mittauskytkentä ja hyväksytä se opettajalla ennen mittausten aloittamista.
3. **Generaattorin tahdistaminen verkkoon.** Varmista aluksi, että tahdistuskytkin S1 on auki sekä katkaisija Q1 on kiinni. Generaattoria pyöritetään oikosulkumoottorilla pyörimisnopeudella $n = 1500$ rpm. Magnetointivirtaa I_{MAG} säätämällä tahtikoneen staattorikäänin pääjännitteeksi E säädetään suunnilleen saman suuruinen jännite kuin verkon puolella (tahdistuskytkimen S1 toisella puolella). Jos tahtikoneen vaihejärjestys on oikein, tahdistuskytkimen S1 yli kytkettyjen jännitemittareiden osoittimet liikkuvat samassa tahdissa. Jos osoittimet liikkuvat liian nopeassa tahdissa, voidaan oikosulkumoottorin syöttötaajuutta säätämällä hidastaa osoittimien liikkumista. Kun jokaisessa vaiheessa koskettimien yli oleva jännite on n. 0 V, voidaan kytkin sulkea, jolloin generaattori on tahdistettu koulun sähköverkkoon hallitusti ja verkkovirtaan ei synny suuria virtapiikkejä ja värähtelyä.
4. **Releen suojausominaisuuksien testaus. Varmista jokaisen testin jälkeen oikean suojan toiminta releen tapahtumalistalta (Event list). Muista nollata releen mimiikkänäyttö aina suojan testauksen jälkeen pitämällä pohjassa releen C-painiketta.**
 - a. **Ylivirtasuojan testaus.** Ylivirtasuojan toiminta testataan tahdistamalla generaattori verkkoon ns. väärään aikaan, jolloin jännite-ero tahdistuskytkimen S1 yli aiheuttaa riittävän tasoitusvirran, joka taas aiheuttaa releen toiminnan. Releen toiminta laukaisee katkaisijan Q1. Käännä tahdistuskytkin S1 kiinni kun jännite-ero kytkimen yli on n. 25V.
 - b. **Takatehosuojan testaus.** Takatehosuojaus testataan sammuttamalla voimakoneena toimiva taajuusmuuttaja ohjattu moottori. Moottorin sammutus tapahtuu taajuusmuuttajan avulla. Tahdista generaattori ensin verkkoon ja onnistuneen tahdistuksen jälkeen "sammuta" moottori painamalla taajuusmuuttajan "SEIS"-painiketta.
 - c. **Alimagnetointisuojaus testaus.** Alimagnetointisuojaus testaus tapahtui katkaisemalla generaattorin magnetointijännite työpöydän säädettävästä jännitelähteestä. Tahdista generaattori ensin verkkoon ja onnistuneen tahdistuksen jälkeen katkaise magnetointijännite.
 - d. **Maasulkusuojaus testaus.** Maasulkusuojaus testaus toteutetaan kytkemällä 100 Ω vastus saarekekäytössä olevan generaattorin yhden vaiheen ja järjestelmän "maatason" välille kytkimellä S2. Syntyvä tilanne vastaa 1-vaiheista maasulkua. Säädä generaattorin pääjännitteeksi n. 220 V ja sulje kytkin S2.
 - e. **Ylijännitesuojaus testaus.** Ylijännitesuojaus testataan nostamalla saarekekäytössä olevan generaattorin magnetointijännitettä työpöydän säädettävästä jännitelähteestä. Kirjatkaa mittausraporttiin arvo, jolloin suoja havahtui.
5. **Häiriötallenteen lukeminen.** Ladatkaa häiriötalenne releen muistista.



Mittausraportti

Vastaa alla oleviin pohdintakysymyksiin ja kirjoita raporttisi (yksi raportti/ryhmä) koneella puhtaaksi (käytä JAMK:n raportointimallia). Raportissa pitää olla tarvittavat mittaustulokset kunkin kysymyksen yhteydessä.

1. Toimivatko suojaukset oikein eri vikatilanteissa? Perustele vastauksesi.
2. Liitä raporttiin kuva häiriötallenteesta. Kommentoi virtojen ja suojauksen käyttäytymistä ko. tilanteessa.