

Valokaarisuojauksen opetuslaitteisto

Juho Tikkanen

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2015

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Tikkanen, Juho	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 1.6.2015
	Sivumäärä 69	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi Valokaarisuojauksen opetuslaitteisto		
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Pasi Puttonen		
Toimeksiantaja(t) Sirpa Hukari, Jyväskylän Ammattikorkeakoulu		
<p>Opinnäytetyössä toteutettiin laboratoriotyöohje valokaarisuojauksesta Jyväskylän Ammattikorkeakoululle sähkövoimatekniikan opetukseen.</p> <p>Työn tavoitteita oli selvittää valokaaren resistanssin ja oikosulkuvirran laskeminen, sekä niiden vaikutus oikosulkusuojaukseen. Toinen tavoite oli tuottaa työohje, mikä perehdyttää VAMP321-valokaarisuojausjärjestelmän konfigurointiin VAMPSET-ohjelmalla ja käyttöönottestien tekemiseen, sekä valoon perustuvien valokaarisuojausjärjestelmien suunnittelun perusteisiin yleisesti.</p> <p>Tuloksena saatiin työohje, minkä avulla opiskelijat tekivät laboratoriotyön. Työohjeen avulla VAMP321-valokaarisuojausjärjestelmä konfiguroidaan, saatetaan toimintakuntoon ja testataan. Lisäksi työohjeen avulla perehdytään valokaaren vaarallisuuden arviointiin tekemällä valokaarienergian laskentaa IEEE1584-standardin mukaan.</p> <p>Jatkokehittelynä työohjetta voisi täydentää järjestelmän liittämällä muuhun sähkölaiteautomaatioon, esim. IEC 61850-protokollaa käyttäen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) valokaarisuojaus, suojaus, IEEE 1584, VAMPSET, VAMP 321		
Muut tiedot Liitteenä työohje, 18 sivua		



Author(s) Tikkanen, Juho	Type of publication Bachelor's thesis	Date 1.6.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 69	Permission for web publication: x
Title of publication An arc protection system for teaching		
Degree programme Automation Engineering		
Tutor(s) Pasi Puttonen		
Assigned by Sirpa Hukari, JAMK University of Applied Sciences		
Abstract <p>The thesis was implemented as an instruction for a laboratory assignment of arc protection for the use of the electrical power engineering education at JAMK University of Applied Sciences.</p> <p>The objectives of the study were to determine the arc resistance and calculation of the short-circuit current as well as their impact on the short-circuit protection. The second objective was to produce instructions for a laboratory assignment which introduces the VAMP321 arc protection system configuration of the VAMPSET software, deployment, and basics of the light arc protection system design criteria in general.</p> <p>The thesis resulted in an instruction for a laboratory assignment which enabled one course group to carry out the work in the laboratory.</p> <p>The work instruction enables configuration, implementation and testing of VAMP321-arc protection system. In addition, the instructions focuses on the assessment of the arc hazard by calculating arc of energy in accordance with IEEE1584 standard.</p> <p>As a proposal for further development, the instructions could be supplemented by coupling the system with the rest of the power plant automation, e.g. by utilizing IEC 61850 protocol.</p>		
Keywords/tags (subjects) Arc protection, VAMP321,VAMPSET, IEEE1584		
Miscellaneous The attached work instruction, 18 pages		

SISÄLTÖ

1	Johdanto	3
2	Työn tilaaja Jyväskylän Ammattikorkeakoulu.....	5
3	Valokaarioikosulkusuojauksen perusteet.....	6
3.1	Oikosulku	6
3.2	Valokaarioikosulku.....	7
3.2.1	Paine	8
3.2.2	Säteily ja valo	9
3.2.3	Ääni	9
3.2.4	Kaasut.....	10
3.3	Oikosulkusuojauksen periaatteet	10
3.3.1	Perusoikosulkusuojaus.....	10
3.3.2	Valokaarioikosulkusuojaus.....	11
3.4	Valoon perustuvat valokaarisuojajärjestelmät	13
3.4.1	VAMP 321 –valokaarisuojajärjestelmä.....	16
3.5	Valokaaren ominaisuudet	20
3.5.1	Resistanssi.....	20
3.5.2	Jännite ja virta.....	21
3.5.3	Teho	22
3.6	Standardit	23
3.6.1	Standardi NFPA 70E	24
3.6.2	Standardi IEEE 1584	25
3.6.3	Standardi SFS 6002	29
3.7	Onnettomuustilastoja	29
4	Toteutus ja tulokset	31
4.1	Tiedon ja kokemuksen hankinta	31
4.2	Työohjeen laadinta	32
4.2.1	Esitettävät	32
4.2.2	Järjestelmän konfigurointi ja käyttöönotto –työohje.....	34
4.2.3	Työohjeen testaus käytännössä.....	38
5	Pohdinta.....	40
	Lähteet	42
	Liitteet	45
	Liite 1. Valokaarienergian laskenta Online-ohjelmalla	45
	Liite 2. PPE kategoria	46
	Liite 3. NFPA 70E Valokaarivaarasta varoittava tarra	47
	Liite 4. Kaavio harjoitustyössä käytetystä laitteistosta.....	48
	Liite 5. Työohje	

Kuviot

Kuvio 1. Valokaari aiheuttaa tuhoa kojeistossa	4
Kuvio 2. Valokaaren aiheuttamia vammoja	4
Kuvio 3. Oikosulku aiheuttaa johtimien kuumentumisen.....	7
Kuvio 4. Valokaarioikosulku	8
Kuvio 5. Esimerkki tyyppillisestä sähköverkosta	11
Kuvio 6. Valokaaren tuhojen kehittyminen ja valokaarisuojauksen toiminta-aika	12
Kuvio 7. Suojausmenetelmän vaikutus energian suuruuteen ja turvaetäisyyteen	13
Kuvio 8. Esimerkki valokaarisuojausjärjestelmästä.....	14
Kuvio 9. Esimerkki valokaarisuojausjärjestelmän asentamisesta keskukseen	14
Kuvio 10. VAMP 321 -valokaarisuojauskeskysyksikkö edestä ja takaa.....	17
Kuvio 11. Pistevaloantureita	18
Kuvio 12. Kuituanturi.....	18
Kuvio 13. VAM I/O –yksikön valintataulukko	19
Kuvio 14. Kuolemaan johtaneet sähkötapaturmat Yhdysvalloissa.....	30
Kuvio 15. Työssä käytettävä laitteisto.....	35
Kuvio 16. VAMPSET-ohjelman konfigurointi-ikkuna.	36
Kuvio 17. Harjoituksena tehdään kaapelipääteen ja katkaisijan valvonta.	37
Kuvio 18. Valokaarienergialaskelma online-laskurilla.....	45
Kuvio 19. PPE kategoria.....	46
Kuvio 20. Esimerkki Valokaarivaara –varoitustarrasta.....	47

Taulukot

Taulukko 1. katkaisijoiden tyyppilliset katkaisuajat.....	15
Taulukko 2. Energiatasot ja niitä vastaavat suojavarusteet.....	25
Taulukko 3. IEEE 1584 laskennan raja-arvot	26
Taulukko 4. Etäisyystermin eksponentin määräytyminen	28
Taulukko 5. Sähkötapaturmat suomessa v.2004 - 2008	30

1 Johdanto

Opinnäytteen aihe syntyi, kun Jyväskylän Ammattikorkeakoulun sähkölaboratorion opetuslaitteistoa oli täydennetty valokaarisuojajärjestelmällä ja järjestelmästä oli tarve saada laboratoriotyöohje opetuskäyttöä varten. Työohjeen tuli perehdyttää järjestelmään ja valokaarioikosulkusuojaukseen yleisesti.

Työohje sovittiin tehtäväksi opinnäytetyönä. Tavoitteena oli laatia laboratoriotyöohje opetusta varten, missä käydään valokaarisuojajärjestelmän osat läpi, opetetaan järjestelmän konfigurointiin ja käyttöönottoon liittyviä asioita, sekä perehdytetään valokaarisuojaukseen yleisesti. Järjestelmä konfiguroidaan valmistajan omalla VAMP-SET-ohjelmalla. Ohjelmalla voidaan tehdä muidenkin VAMP-suojareleiden asetteluja ja konfigurointeja, joten ohjelman opiskelu hyödyttää laajemminkin. Työ haluttiin rajata koskemaan pien- ja keskijännitealuetta. Tavoitteena oli saada tietoa valokaaren resistanssin laskentaan, sekä lisää tietoa, milloin järjestelmää tarvitaan ja minkälaisiin paikkoihin.

Työturvallisuuteen kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Laki vaatii, että sähkölaitteistot tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että ne ovat ihmisille ja muille laitteistoille turvallisiksi (STL 14.6.1996/410). Tavallisten oikosulkujen osalta tähän päästään perusoikosulkusuojauksella. Mutta jos tapahtuu valokaarioikosulku, perussuojaukseen ei joissakin tapauksissa suojaa, vaan tuhot ovat suuret ja henkilöturvallisuus on puutteellinen. Tätä ongelmaa varten on kehitetty oma suojausjärjestelmä nimeltä valokaarisuojajärjestelmä. Sillä saadaan rajoitettua valokaaresta purkautuvaa energian määrää huomattavasti, jolloin laitteistotuhot (ks. kuvio 1) ja henkilövaara pienenevät.



Kuvio 1. Valokaari aiheuttaa tuhoa kojeistossa (Arc flash compliance protecting employees n.d.).

Pientämällä laitteiston vaurioitumista voidaan säästää tuotantokatkoksesta aiheutuvista kustannuksissa huomattavia summia. Henkilösuojauksella voidaan vähentää loukkaantumisesta aiheutuvia poissaolopäiviä ja inhimillistä kärsimystä. Kuviossa 2 on esimerkkitapaus valokaaren aiheuttamista vammoista.



Kuvio 2. Valokaaren aiheuttamia vammoja (Lindsey 2014)

Tässä työssä käydään läpi valokaarioikosulkuja ja siltä suojausta valokaarisuojausjärjestelmällä, valokaarienergialaskujen tekemistä IEEE 1584-standardin mukaisesti, esitellään koulun opetuskäytössä oleva Schneider Electricin VAMP321-valokaarisuojausjärjestelmä ja kerrotaan laboratoriotyöhjeen tekemisestä ja testaamisesta.

2 Työn tilaaja Jyväskylän Ammattikorkeakoulu

Jyväskylän Ammattikorkeakoulu on Keski-Suomessa toimiva korkeakoulu, joka tarjoaa kolmannen asteen tutkintokoulutusta, sekä yrityksille koulutus-, kehitys- ja tutkimusyhteistyötä. JAMK:n toiminnan pääsektorit ovat:

- Ammatillinen Opettajakorkeakoulu
- Hyvinvointiyksikkö
- Liiketoimintayksikkö
- Teknologiayksikkö
- Hallinto.

Opiskelijoita on n. 8500, henkilöstöä n. 700 ja liikevaihto n. 50-60 M€ (v.2014 52 M€). JAMK:ssa voi suorittaa yli 30 erilaista tutkintoa kahdeksalla eri alalla. Toiminta on hyvin kansainvälistä. Toiminnot on jaettu neljälle kampukselle, joista Jyväskylässä on Pääkampus Rajakadulla ja Piippukadulla, Lutakon kampus, sekä Musiikkikampus Pitkädellä. Saarijärven Tarvaalassa on Saarijärven kampus, eli Biotalousinstituutti (JAMK 2015).

Sähkövoimatekniikan opetus kuuluu teknologiayksikön Tekniikan ala -haaraan.

Toiminta tapahtuu pääkampuksella, missä on käytössä harjoituslaboratorio. Yhteisen vuosikurssin aloittaa joka vuosi noin 40 oppilasta, jotka jakautuvat ja suuntautuvat joko sähkövoima- tai automaatiotekniikkaan (Insinööri (AMK), sähkö- ja... 2015).

3 Valokaarioikosulkusuojauksen perusteet

Sähköverkossa siirretään suuria määriä energiaa, joten verkolla täytyy olla suuri tehonsiirtokyky. Jos johonkin verkon osaan syntyy oikosulku, verkko syöttää vikakohtaan koko tehonsa ja vikakohtasta menee suuri oikosulkuvirta. Virta voi olla useita kymmeniä kiloampeereja.

Oikosulkusuojauksessa on syytä ymmärtää oikosulun luonne ja lähtökohdat suojauksen onnistumiseksi. Sähkökojeistossa syntyvä oikosulku syntyy eristyksen pettäessä kahden virtajohtimen välillä. Tämä voi johtua ihmisen toiminnasta kuten unohdettua työkalusta, väärästä toimenpiteestä tai sitten laitteistosta, kuten vikaantumisesta, eristyksen haurastumisesta, likaantumisesta, löysistä liitoksista tai monista muista syistä. Seurauksena voi syntyä kaksi luonteeltaan erilaista oikosulkua, ns. tavallinen oikosulku tai valokaarioikosulku. (Davis, St. Pierre, Castor, Luo & Shrestha 2003, 5).

3.1 Oikosulku

Tavallisessa oikosulussa virtapiirin osat koskettavat toisiaan ja oikosulkuvirta pääsee kulkemaan vikakohtasta läpi. Haittavaikutuksena ovat vikakohtan ja johtimen resistanssista johtuva lämpeneminen (ks. kuvio 3) sekä dynaamisesti repivät voimat. Suojaukseen riittää johtimen ja komponenttien ylikuumentumisen estäminen sekä riittävän mekaanisen keston toteuttaminen. Suojaus voidaan laskea riittävän tarkasti ja on toteutettavissa suojareleillä ja sulakkeilla (SFS 6000-4-43 2012).



Kuvio 3. Oikosulku aiheuttaa johtimien kuumentumisen (Infrared Electrical Inspection n.d.).

3.2 Valokaarioikosulku

Valokaarioikosulussa eristys ei kestä vallitsevaa jännitetasoa, vaan jännite lyö ionisoituneen ilman läpi ja sytyttää valokaaren. Valokaarivirta kulkee elektrodien välillä ionisoitunutta kaasua ja höyryä pitkin, eli se ei tarvitse mekaanista yhteyttä. (Davis ym. 2003, 2)

Tavallisesta oikosulusta poiketen sähköenergia purkautuu valokaaresta ympäristöön, suurimmaksi osaksi lämpönä, paineena ja valona (ks. kuvio 4). Valokaaren ytimessä lämpötila voi olla jopa 20 000 °C, mikä pystyy sulattamaan kaikki tunnetut alkuaineet. Tämä aiheuttaa suurta vaaraa ympäristöön ja tuhoaa laitteiston nopeasti. Suurimmat vaikuttavat tekijät ovat vikakohdan jännite, oikosulkuvirran suuruus ja oikosulun kesto-aika (mts. 2, 3).



Kuvio 4. Valokaarioikosulku (mticontrols 2015)

Tilastollisesti valokaarivikojen osuus on yli 80 % kaikista oikosulkuvioista. Usein oikosulku alkaa vaihejohtimen ja maan välillä syntyvällä valokaarella ja kehittyy kolmivaiheiseksi oikosuluksi (Terzija, Ćirić & Nouri 2011, 120).

3.2.1 Paine

Valokaaren lämpötila nostaa nopeasti ympäröivän ilman lämpötilaa, jonka vaikutuksesta ilma laajenee. Laajeneva ilma aiheuttaa kojeistoon nopean paineen nousun. Paineen nousuun toinen merkittävästi vaikuttava tekijä on kiskojen höyrystyminen. Ilman tilavuus laajenee lämmitessään noin 1670-kertaiseksi ja esimerkiksi kuparista valmistettujen kiskojen tilavuus laajenee höyrystyessään noin 67 000 -kertaiseksi (Davis ym. 2003, 3). Paine nousee nopeasti. Ensimmäinen paineisku syntyy 5-10 millisekunnissa (ks. kuvio 6), eli katkaisijaa käyttävä suojaus ei ehdi estämään paineiskua. Kojeariossa tulee olla paineenpurkauskavat ulos sekä paine on huomioitava rakennuksen suunnittelussa.

Kojeistossa syntyvän paineen suuruuteen ja kasvunopeuteen vaikuttaa moni asia, kuten kojeiston rakenne, käytetyt materiaalit ja palavan valokaaren ominaisuudet. Paineen suuruuden tarkka laskeminen onkin hankalaa erilaisten kokoonpanojen ja tilanteiden vuoksi. Seuraavalla kaavalla voidaan arvioida paineen suuruutta halutulla etäisyydellä valokaaresta (Davis, ym. 37)

$$P = \frac{554,45 \cdot I_a}{(D \cdot 3,28)^{0,9}} \quad (8)$$

missä

P = paine (Pa)

D = etäisyys valokaaresta (m)

I_a = valokaaren virta (A)

3.2.2 Säteily ja valo

Valokaari tuottaa palaessaan suuren määrän valoa. Valokaarionnettomuuden aiheuttama säteily aiheuttaa harvoin vakavia vammoja, mutta se on otettava huomioon turvallisuutta vaarantavana tekijänä. Kirkas näkyvä valo voi aiheuttaa väliaikaisen näön menetyksen tai shokkitilan, pahimmillaan jopa lopullisesti. Lisäksi valokaaren aallonpituus on n. 200 – 600 nm, mikä on osittain ihmissilmälle näkymätöntä ultravioletti (UV)- ja infrapunasäteilyä (IR). UV-säteily on erityisen vaarallista silmän verkkokalvolle. IR-säteily on lämpösäteilyä, mikä voi aiheuttaa muutoksia ihoon ja silmien mykiöihin. (Dini 2015)

3.2.3 Ääni

Valokaaren aiheuttamasta paineen purkautumisesta syntyvät suuret äänet voivat aiheuttaa kuulovaurioita. Ihmisen kuuloelinten kipukynnys on noin 115-125 dB. Valokaari voi aiheuttaa 150 - 170 dB äänen voimakkuuden kahden metrin päässä. (Dini 2015; Lee & Gammon 2011, 35)

3.2.4 Kaasut

Palamisprosessissa valokaari ja palavat materiaalit muodostavat yhdisteitä, jotka voivat olla vaarallisia hengitettynä. Palamistuotteiden lisäksi höyrystyneet aineet kuten erilaisista metalleista muodostuneet kaasut ovat todella myrkyllisiä ja hengenvaarallisia. Kojeistossa olevilla paineenpurkauskanavilla on tehtävä myös kaasujen ohjaamisessa ulos pois työskentelytilasta. (Davis ym. 1)

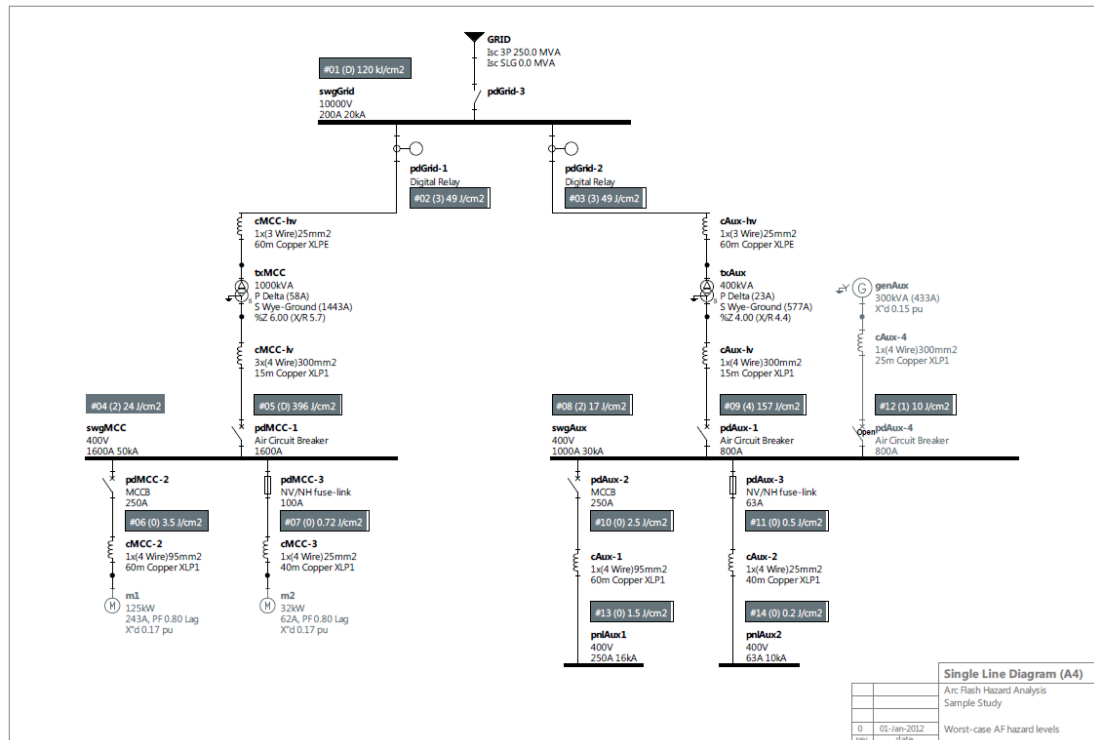
3.3 Oikosulkusuojauksen periaatteet

3.3.1 Perusoikosulkusuojaus

Sähköverkon oikosulkusuojaukseen kuuluu tavallisesti sulakkeet, suojarele, virtamuuntajat ja katkaisija. Suojarele valvoo virtamuuntajien avulla päävirtaa, ja vikatilanteessa virran ylittäessä asetusarvon rele katkaisee katkaisijan avulla virtapiirin (Mörsky 1992, 16).

Suojarele on laite, joka valvoo ja ohjaa sähköverkkoa. Releeseen määritellään raja-arvot ja asetellaan toiminta-ajat, joiden puitteissa sen halutaan toimivan. Virtamuuntaja muuntaa mitattavan kohteen virtasuureen ohjausjärjestelmälle sopivaksi suureeksi. Katkaisija on virtapiirissä oleva laite, millä voidaan katkaista virtapiiri kaikissa tilanteissa ja kaikilla virtapiirissä esiintyvillä virroilla (Mts. 16).

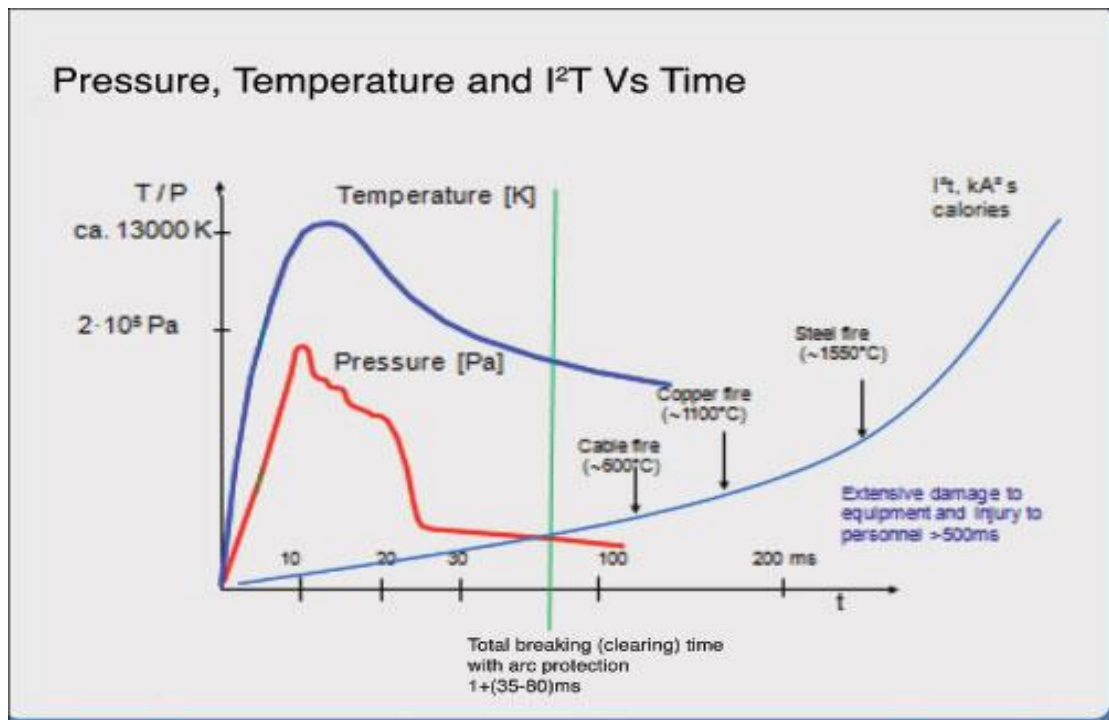
Sähköverkolle on tyypillistä, että se rakentuu kuvion 5 mukaisesti ja siinä on perättäisiä suojareleitä. Jotta suojareleet toimisivat selektiivisesti ja rajaisivat vian vain siihen suojausportaaseen, missä vika on, releiden toiminta-aikoja täytyy porrastaa. Kuormaa lähinnä oleva eli suojausportaassa ensimmäisenä oleva rele toimii nopeimmin, seuraavassa on suurempi poiskytkentäaika ja siitä seuraavassa vielä suurempi (mts. 295). Selektiivisyyshidastuksista johtuvat suuremmat poiskytkentäajat voidaan kompensoida kasvattamalla kaapelien termistä kestoa, useimmiten kaapelikokoa kasvattamalla (SFS 6000-4-43, 7)



Kuvio 5. Esimerkki tyypillisestä sähköverkosta, missä on perättäisiä suojalaitteita (Sample Single Line Diagram n.d.)

3.3.2 Valokaarioikosulkusuojaus

Valokaaren palaessa vapautuu suuri määrä energiaa, minkä takia valokaari tulisi saada katkaistua alle sadassa millisekunnissa suurempien vahinkojen estämiseksi (ks. kuvio 6).



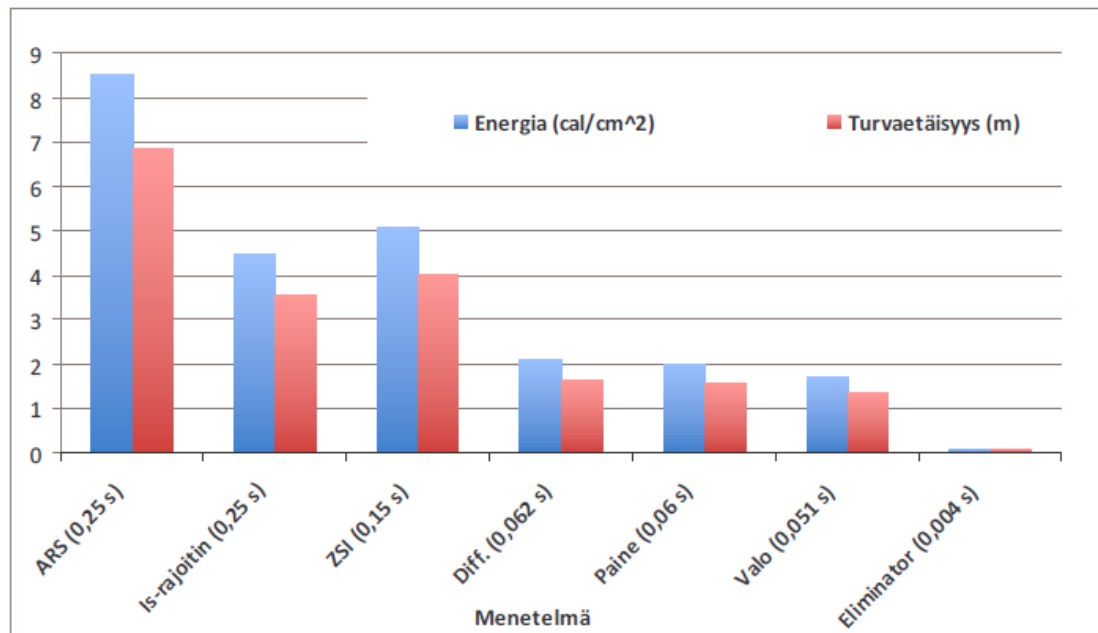
Kuvio 6. Valokaaren tuhojen kehittyminen ja valokaarisuojauksen toiminta-aika. (Cochran 2009)

Perusoikosulkusuojaus voi katkaista virran riittävän nopeasti, mikäli sitä ei ole viivästetty. Usein suojaukseen on haluttu saada selektiivisyyttä perättäisten suojauslaitteiden toiminta-aikojen kasvattamalla, mikä lisää valokaaren katkaisuaikaa sietämättömälle tasolle. Myös valokaaren resistanssi ja muut tekijät vaikuttavat oikosulkuvirtaan pienentävästi, ja se voi pienentyä jopa alle puoleen. Jossain tapauksissa se voi vaikuttaa perussuojauksen toiminta-aikoihin. Varsinkin käytettäessä suuria virtaa rajoittavia sulakkeita tulee varmistaa, että oikosulkuvirta on riittävä nopean toiminnan toteuttamiseksi. (Malmedal & Sen 2000, 189,190; Picard, Verstraten & Luchtenberg 2013, 6. luku; Terzija ym. 2011, 126)

Valokaareilta suojaamismenetelmiä ovat valokaaren kestävät kojeistot (ARS), lukitus-suojaus (ZSI), kiskon differentiaalisuojaus (diff.), valoon tai paineeseen perustuva suojaus, I_s -rajoitin, virtaa rajoittavat sulakkeet ja kuristimet, sekä oikosulkulaite.

Menetelmissä on paljon eroavaisuuksia. Suojauksen taso ja laajuus, asennettavuus, rajoitteet, hinta sekä muut ominaisuudet vaihtelevat. Valoon perustuva suojausmenetelmä on tutkimuksen mukaan nopein oikosulkulaitteen jälkeen, ja se antaa hyvän tuloksen sekä henkilö- että laitesuojauksessa. Kuviossa 7 on esitetty eri menetelmien

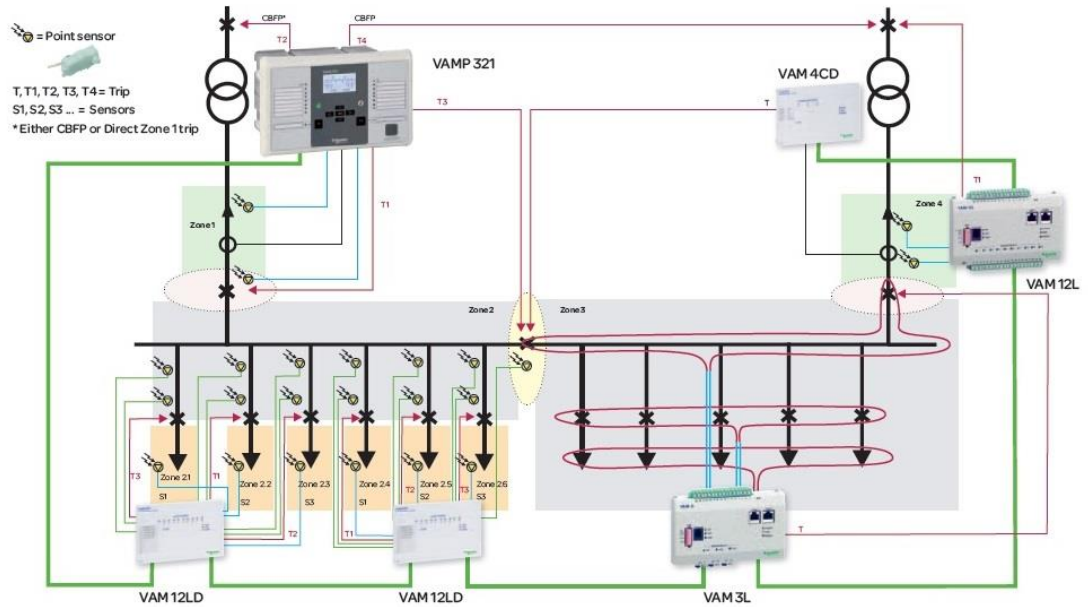
vaikutuksia energian suuruuteen ja turvaetäisyyteen. Laskuissa on käytetty jokaisen ratkaisun osalta pienintä mahdollista palamisaikaa (Karri, 2006, 94).



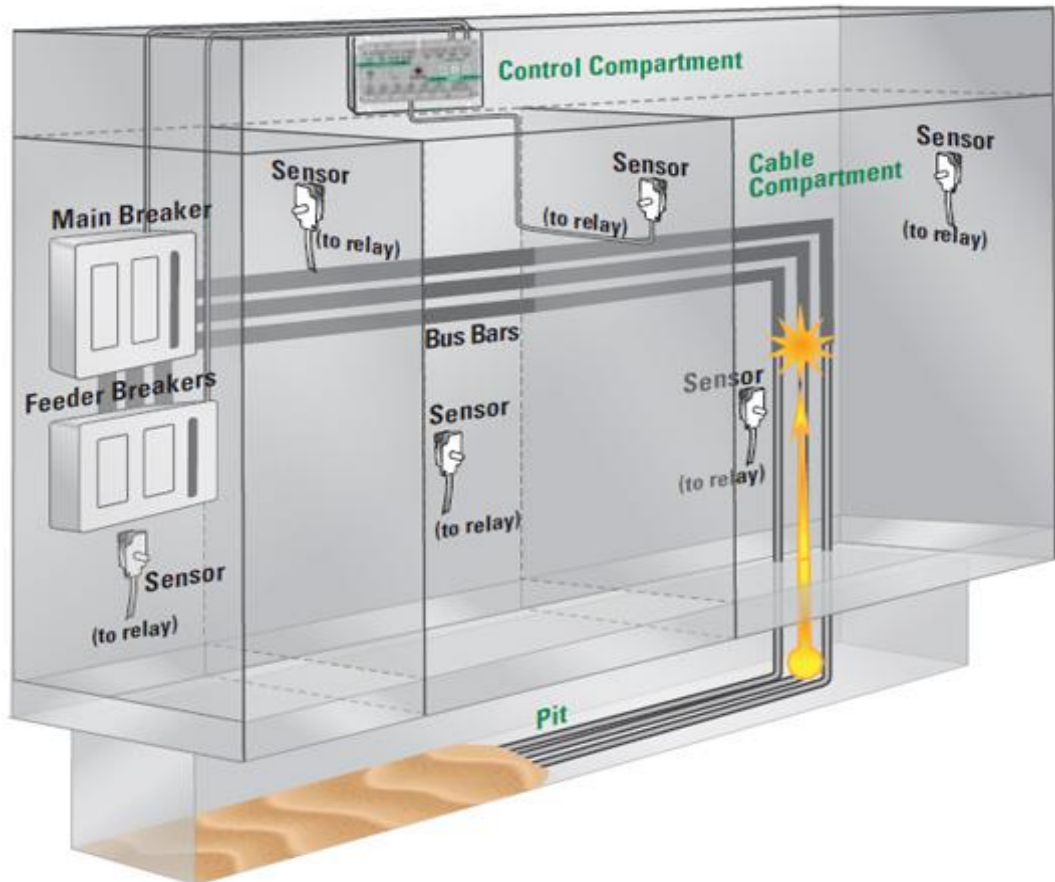
Kuvio 7. Suojusmenetelmän vaikutus energian suuruuteen ja turvaetäisyyteen (Karri 2006, 94)

3.4 Valoon perustuvat valokaarisuojajärjestelmät

Valoon perustuvaan valokaarisuojajärjestelmään kuuluu valokaarirele, valoanturit, virtamuuntajat ja perusoikosulkusuojaukseen kuuluva katkaisija (ks. kuvat 8 ja 9). Valokaarisuojajärjestelmä on tarkoitettu sähkökeskuksiin- ja aseisiin asennettaviksi, ja sen tehtävä on rajoittaa vian tullessa vauriot minimiin ohjaamalla katkaisija nopeasti auki. Valokaarisuojajärjestelmä ei ole pakollista asentaa, mutta suuritehoisissa keskuksissa tuhot voivat olla suuret, jos järjestelmää ei ole. Järjestelmä valvoo eri puolille keskusta asennettujen valoanturien ja virtamuuntajien avulla keskusta. Kun se havaitsee virtamuuntajien avulla ylivirran ja valoantureilla valokaaren välähdyksen, lähettää se nopeasti viestin katkaisijalle. Katkaisija katkaisee virtapiirin ja valokaari sammuu. Järjestelmän hyöty perustuu nopeuteen. Laukaisuehtona voidaan käyttää pelkästään valohtoa, mutta toimintavarmuuden lisäämiseksi valon lisäksi käytetään yleensä ylivirtahtoa. (VAMP Valokaarisuojaus, 2014)



Kuvio 8. Esimerkki valokaarisuojajärjestelmästä (VAMP321 Arc Protection 2015)



Kuvio 9. Esimerkki valokaarisuojajärjestelmän asentamisesta keskukseseen (Deschamp 2013)

Järjestelmä asennetaan normaalin oikosulkusuojausjärjestelmän rinnalle, ja se toimii itsenäisesti välittämättä muista järjestelmistä. Kokonaiskatkaisuaika muodostuu releen toiminta-ajasta ja katkaisijan toiminta-ajasta. Tyypilliset toiminta-ajat ovat releellä n. 1 - 10 ms ja katkaisijalla n. 30 - 80 ms, joten kokonaiskatkaisuaikaksi muodostuu n. 31 - 90 ms. Kuviossa 6 on esitetty ajan suhde valokaaren energiaan ja suojausten sekä kaapeli-, kupari ja rautapalojen syntymistä aikajanalla. Ensimmäinen paineisku syntyy 10 millisekunnissa, suuremmat tuhot 100 ms:n jälkeen Taulukossa 1 on IEEE 1584 standardissa mainitut katkaisijoiden tyypilliset toiminta-ajat (Wilson, Harju, Keisala & Ganesan n.d. 5).

Taulukko 1. Taulukossa on esitetty IEEE 1584 standardin mukaiset katkaisijoiden tyypilliset katkaisajat (Wilson ym. n.d. 5)

Circuit breaker rating, type	Opening time at 60Hz
Low voltage (molded case) (<1000V) (integral trip)	1.5 cycles
Low voltage (insulated case) (<1000V) (power circuit bkr) (integral trip or relay operated)	3.0 cycles
Medium voltage (1-35 kV)	5.0 cycles
Some high voltage (>35 kV)	8.0 cycles

Eri valmistajien valoon perustuvat valokaarisuojausjärjestelmät ovat hyvin samankaltaisia keskenään. Kaikissa on jonkinlainen valokaarirele tai keskusyksikkö valvontaan ja hälytyksen tekemiseen, valoanturit valokaaren havaitsemiseen sekä virtamuuntajaliitynnät virranmittaukseen. Lisäksi järjestelmän laajentamiseen on erilaisia komponentteja erilaisin ominaisuuksin käyttötarpeesta ja valmistajasta riippuen. Suojaus- ja hälytysparametrit asetetaan keskusyksikköön joko suoraan paneelin näppäimistä, dippikytkimistä tai sitten tietokoneen avulla erillisellä ohjelmalla. Virtamuuntajat ja valoanturit liitetään joko keskusyksikköön tai sitten alayksiköihin. Järjestelmien käyttöönoton helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi järjestelmät on tehty niin, että ne tekevät alussa itsediagnoosin ja määrittelevät kokoonpanon. Niissä on myös jatkuva oma-valvonta järjestelmän ja antureiden toimintakunnon tarkkailuun. Hyviä puolia ovat asennettavuus ja riippumattomuus muista järjestelmistä.

Järjestelmän asennusympäristöt ovat vaativat. Kaikkien valmistajien laitteet ovat suunniteltu tämä huomioiden ja ne täyttävät asiaan liittyvät monet standardit, kuten EMC-häiriönsieto- ja ympäristötestit.

Järjestelmien samankaltaisuudesta johtuen riittää, että esittelen yhden valmistajan laitteistoa. Tietoja soveltaen on helppo käyttää toistenkin järjestelmiä. Järjestelmää valittaessa on hyvä huomioida seuraavia asioita:

- Reaktioaika
- Laukaisun luotettavuus
- Virhelaukaisujen estäminen
- Anturien ominaisuudet ja asennettavuus
- Käytön helppous
- Skaalautuvuus ja joustavuus, liityntä muihin järjestelmiin

Valokaarisuojajärjestelmiä valmistaa tai toimittaa mm:

- Schneider-Electric (VAMP)
- ABB (TVOC, REA)
- Arcteq (AQ)
- UTU (iGARD/FALCON)
- SEL

3.4.1 VAMP 321 –valokaarisuojajärjestelmä

Schneider-Electric konserniin kuuluva Vamp Oy on kehittänyt valokaarisuojaukseen oman tuoteperheen. Tuoteperheeseen kuuluu 120- ja 121-valokaarisuojausyksiköt yksinkertaisempiin sovellutuksiin, ja laajempiin on 221- ja 321-valokaarisuojausyksiköt, joiden ympärille voidaan rakentaa kokonainen järjestelmä keskittimien, virtamuuntajien ja muiden tuotteiden avulla. Tällöin puhutaan joko VAMP 221- tai VAMP 321-valokaarisuojajärjestelmästä. 321-valokaarisuojajärjestelmä on tuoteryhmän uusin ja monipuolisin (VAMP n.d.).

Lisäksi muihinkin sähköverkon ja moottoreiden suojaukseen tarkoitettuihin VAMP-releisiin on mahdollista liittää yksi tai kaksi valoanturia paikalliseen valokaarivalvontaan.

Järjestelmä muodostuu modulaarisesta VAMP 321- valokaarisuojausyksiköstä (releestä), valoantureista, virtamuuntajista ja mahdollisista laajennusyksiköistä.

VAMP321 – valokaarisuojausyksikkö

Keskusyksikössä on etupuolella käyttöpaneeli (HMI) ja takana vaihdettavat liityntäkortit (ks. kuvio 10). Yksikkö voidaan konfiguroida käyttöpaneelista tai VAMPSET-ohjelmistolla tietokoneelta.

Tuotetiedot

- 3-vaihevirta-, nollajännite- ja maasulkuvirtaliitännät
- Tapahtumarekisterit, häiriötallenteet ja reaaliaikainen kello
- Virtaan ja valoon tai pelkästään valoon perustuva toiminta
- Selkeä ja informatiivinen näyttö
- Neljä sulkeutuvaa laukaisukosketinta
- Yksi sulkeutuva ja yksi avautuva hälytyskosketin
- Toiminta-aika 7 ms (lähtörele mukaan lukien), 2 ms high speed output (HSO)-moduulilla
- Ohjelmoitavat toimintavyöhykkeet
- Jatkuva itsevalvonta



Kuvio 10. VAMP 321 -valokaarisuojauskeskusyksikkö edestä ja takaa

Anturit

Valokaaripisteanturi on valmiiksi johdotettu anturi (ks. kuvio 11), mikä valvoo anturin ympäriltä valoisuutta ja tekee laukaisun rajan ylittyessä. Anturi soveltuu hyvin yksittäisen tilan valvontaan, kuten esimerkiksi kaapelipäätteen tai katkaisijan kennoon.

Näin voidaan tehdä valvonta-alueita ja luoda edellytykset selektiiviseen suojaukseen. Isommalle alueelle voidaan laittaa useampia 2-3 metrin välein tai haluttuihin kohtiin. (VAMP321 Arc Protection 2015)

Valokaaripisteantureita on kiinteään asennukseen kaksi eri mallia ja siirrettäviä kahta mallia. Siirrettävät ovat tarkoitettu henkilösuojaukseen, kun työskennellään laitteiston läheisyydessä (ks. Kuvio 9).



Kuvio 11. Pistevaloantureita

Valokaarikuituanturi (ks. kuvio 12) on tarkoitettu isompien alueiden valvontaan tai useamman kennon yhteisvalvontaan. Kuitu absorboi valoa koko kuidun matkalta ja aktivoitumisraja on n. 8000 luxia. Sitä on saatavissa 1-70 metrin pituisena.



Kuvio 12. Kuituanturi

Antureissa on jatkuva itsevalvonta ja vian ilmaisu. Anturien kiinnityksessä voidaan käyttää erillisiä kiinnityslevyjä. Käyttöohjeissa on kerrottu tarkemmin anturien oikeaoppisesta asentamistavoista.

Keskittimet ja muut oheislaitteet

Järjestelmää voidaan laajentaa keskittimien, laukaisun monistusreleiden ja kommunikatioreleiden avulla. Kuviossa 13 on valintataulukko, mistä näkee komponenttien ominaisuuksia (VAMP Arc Protection 2015).

	VAM 3L	VAM 10L	VAM 10LD	VAM 12L	VAM 12LD	VAM 4C	VAM 4CD
Kiinnitys	DIN-kisko	DIN-kisko	Ovi	DIN-kisko	Ovi	DIN-kisko	Ovi
Pisteanturien määrä		10	10	10	10		
Silmukka-anturien määrä	3						
Tuettujen suojausvyöhykkeiden määrä	1	1	1	4	4		
Laukaisulähtöjen määrä	1	1	1	3	3	1	1
Hälytyslähtöjen määrä				1	1		
Virtatulojen määrä						3	3
BI-tulojen määrä (24-48Vdc)*	1	1	1				
BI-tulojen määrä (24-48Vdc)L>						1	1
BO-lähtöjen (24Vdc) laukaisujen määrä	1	1	1			1	1
Anturikanavien ilmaisimien (LED) määrä	3	10	10	10	10	3	3
Litettä kannettavalle anturille	1	1	1	1	1		

Kuvio 13. VAM I/O –yksikön valintataulukko

Virtamuuntajat

Keskusyksikössä on liityntäkortti virta- ja jännitemuuntajille. Siinä on paikat neljälle virtamuuntajalle, joista kolme vaiheiden mittaukseen ja yksi maasulkuvirran mittaukseen ja yksi paikka jännitemuuntajalle. Maasulkuvirtamuuntaja voi olla nimellisvirraltaan vaihtoehtoisesti 1 A tai 5 A.

Virtamuuntajat hankitaan erikseen. Ne mitoitetaan asennuspaikan nimellisvirran mukaan ja asennetaan pääsyöttöön.

3.5 Valokaaren ominaisuudet

Valokaareen ja sen muodostumiseen vaikuttavat monet eri ominaisuudet ja tästä syystä sen kehittymistä on vaikea ennustaa ja arvioida tarkasti. Valokaari-ilmiön ennustamista vaikeuttaa myös näiden ominaisuuksien suuri muutosnopeus ja luonteelle ominainen epäsäännöllinen kehittyminen.

Virran tarkka laskeminen on haasteellista. Valokaaren resistanssin, virran ja energian laskentaan on esitetty erilaisia kaavoja. Nämä antavat vähän erilaisia tuloksia eri jännitteillä ja virroilla (Andrade & Sorrentino n.d.).

3.5.1 Resistanssi

Valokaarella on aina jokin resistanssi. Yli 100 A:n virralla palavan valokaaren vastus on käytännössä pelkästään resistanssia. Resistanssi riippuu pääasiassa valokaaren pituudesta ja virrasta. Näiden funktio on epälineaarinen, sekä sen tasoon vaikuttaa vielä jännitegradientti (Terzija & Koglin 2004, 1013 -1016).

Terzija ja Koglin (mts. 1015, 1016) osoittavat resistanssin laskentaan kaavan:

$$R_a = \frac{\sqrt{2} E_a L_a}{\pi I_a} \quad (1)$$

missä

R_a = valokaaren resistanssi (Ω)

L_a = valokaaren pituus (m)

I_a = valokaaren virta (A)

E_a = valokaaren jännitegradientti (V/m).

Jotta valokaaren resistanssi voidaan laskea kaavalla, tarvitaan jännitegradientin arvo. Jännitegradientin suuruus riippuu tarkasteltavasta lähteestä ja tämän vuoksi resistanssin laskemiseksi on saatu kaksi toisistaan poikkeavaa kaavaa. Ensimmäisessä kaavassa resistanssi lasketaan gradientin arvon ollessa 1200 V/m - 1500 V/m välisellä alueella. Usean eri lähteen tiedot yhdistämällä on saatu jännitegradientin keskimääräiseksi suuruudeksi kyseinen väli, kun virran suuruus on 100 A - 20 kA. Toinen kaava valokaaren resistanssin laskemiseksi saadaan, kun jännitegradientille käytetään virran suuruudesta riippuvaa yhtälöä $E_a = 950 + 5000/I$.

Yhdistämällä jännitegradienttien yhtälöt kaavaan, saadaan valokaaren resistanssin laskentaan kaksi eri kaavaa:

$$R_1 = (1080.4 \div 1350.5) \frac{L}{I} \quad (2)$$

$$R_2 = \left(\frac{855.3}{I} + \frac{4501.6}{I^2} \right) L \quad (3)$$

Toinen pitkään käytössä ollut Warringtonin kaava sopii käytettäväksi alle 1 kA oikosulkuvirroilla (mts. 1012, 1016):

$$R_a = \frac{28710}{I_a^{1.4}} G \quad (4)$$

missä

R_a = valokaaren resistanssi (Ω)

I_a = valokaaren virta (A)

G = elektrodien välinen etäisyys (mm).

3.5.2 Jännite ja virta

Valokaaripurkauksen johdosta elektrodien välinen jännite romahtaa ja virta asettuu arvoon, joka määräytyy valokaarta syöttävän piirin impedanssista (Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen & Palva 2003).

Karrin (2006, 17) mukaan Martikainen (1974) on esittänyt, että valokaaren jännite on suoraan verrannollinen valokaaren pituuteen. Lähes vakiona pysyvän pituuden vuoksi lyhyillä valokaarilla (<10 cm) jännite vaihtelee vähän ja valokaaren pituutena voidaan pitää elektrodivälin etäisyyttä. Pitkillä valokaarilla (>10 cm) pituus on karkeasti 2-3-kertainen elektrodiväliin verrattuna. Virran ja jännitteen arvoja voidaan laskea Ohmin lailla:

$$U_a = R_a \cdot I_a \quad (5)$$

missä

U_a = valokaaren jännite (V)

R_a = valokaaren resistanssi (Ω)

I_a = valokaaren virta (A).

Kaavat valokaaren oikosulkuvirran laskemiseksi esitellään luvussa 3.6.2., valokaaren energian laskenta.

3.5.3 Teho

Valokaaren suurin mahdollinen teho on puolet kolmivaiheisen vian prospektiivisesta eli suurimmasta mahdollisesta näennäistehosta. Tämä maksimaalinen tehon arvo esiintyy tilanteessa, jossa valokaaren virta on 70,7 % prospektiivisesta vikavirrasta (Davis ym. 2003, 32).

Teho voidaan laskea kaavalla:

$$P_a = U_a \cdot I_a \quad (6)$$

missä

P_a = valokaaren teho (W)

U_a = valokaaren jännite (U)

I_a = valokaaren virta (A).

Valokaaren teho vaikuttaa yhdessä palamisajan kanssa suoraan vapautuvan energian suuruuteen. Vapautuvan kokonaisenergian suuruus voidaan laskea kaavalla:

$$E_{\text{vap}} = P_a \cdot t_a \quad (7)$$

missä

E_{vap} = vapautuva energia (J)

Energian suuruus ilmoittaa suoraan valokaaren voimakkuuden ja vaarallisuuden. Saapuvan energian määrä on ihmiselle turvallisella tasolla, kun se alittaa arvon 1,2 cal/cm². Tämä raja-arvo on energian suuruus, joka tuottaa toisen asteen palovamman ja on näin vielä parannettavissa. (IEEE 2004).

3.6 Standardit

Varsinaisia valokaaristandardeja on saatavilla vähän. Ne käsittelevät pääasiassa valokaarien turvallisuuteen liittyviä seikkoja, kuten energialaskuja, työpaikan opastuksia ja ohjeistuksia työn tekemiseen. NFPA, IEEE, NEC NESC ja OSHA ovat määrittäneet standardit valokaaren vaarallisuuteen liittyvistä vaatimuksista. Organisaatioista IEEE ja NFPA ovat julkaisseet standardit valokaarienergian laskemiseksi.

Arvioitaessa valokaarisuojausta, sen tarpeellisuutta ja keinoja voidaan käyttää IEEE:n ja NFPA julkaisemia standardeja. Näissä standardeissa on kokonaisvaltaisesti lähestytty asiaan henkilöturvallisuuden näkökulmasta ja kerrottu laajasti toimintaohjeita riskien kartoittamiseen ja ehkäisemiseen sekä turvalliseen työskentelyyn ja suojautumiseen valokaarelta.

IEEE on kansainvälinen maailman suurin tekniikan alan järjestö, joka tuottaa suuren määrän erilaisia julkaisuja.

NFPA on yhdysvaltalainen paloturvallisuusjärjestö, joka tuottaa tulipaloihin liittyviä standardeja palojen ehkäisemiseksi ja turvallisuuden edistämiseksi palotilanteissa.

3.6.1 Standardi NFPA 70E

NFPA 70E standardi on Amerikassa hyväksytty ja käytössä oleva kansallinen standardi. Standardi määrittää sähköturvallisuuteen liittyviä seikkoja, kun työskennellään jännitteisillä kojeistoilla tai niiden lähellä (National Fire Protection Association, 2004)

NFPA 70E määrittää turvaetäisyyden ja energian laskemiseen tarvittavat kaavat maksimitohon avulla, joten tuloksena saadaan todellisuutta hieman suuremmat arvot. Turvaetäisyyden laskemiseksi käytetään kaavaa:

$$D_b = \sqrt{2,65 \cdot 1,732 \cdot V \cdot I_{bf} \cdot t} \quad (9)$$

missä

D_b = turvaetäisyys (in)

V = järjestelmän jännite (kV)

I_{bf} = prospektiivinen vikavirta (kA)

t = valokaaren palamisaika (s).

Energian suuruus voidaan laskea avonaisessa ja suljetussa tilassa palavalle valokaarelle. Molemmissa tapauksissa vikavirran alue on 16-50 kA ja suurin kojeiston jännite on 0,6 kV. Avoimessa tilassa palavan valokaaren energia voidaan laskea kaavalla

$$E = 5271D^{-1,9593}t(0,0016 \cdot I_{bf}^2 - 0,0076 \cdot I_{bf} + 0,8938) \quad (10)$$

missä

E = saapuva energia (cal/cm²)

D = työskentelyetäisyys valokaaresta (in).

Suljetussa tilassa palavan valokaaren energia voidaan laskea kaavalla

$$E = 1038,7D^{-1,4738}t(0,0093 \cdot I_{bf}^2 - 0,3453 \cdot I_{bf} + 5,9675) \quad (11)$$

NFPA 70E luokittelee valokaaren vaarallisuuden neljään kategoriaan energian suuruuden perusteella seuraavan taulukon mukaisesti. Jokaiselle kategorialle on määritetty suositeltava suojarustus (ks. liite 3).

Taulukko 2. Energiatasot ja niitä vastaavat suojarusteet (National Fire Protection Association 2015)

Kategoria	Energiataso (cal/cm ²)	Tyypillinen suojarustus
1	1.2 - 4	Tulenkestävä takki ja housut
2	4 – 8	Tulenkestävä takki ja housut sekä puuvillaiset alusvaatteet
3	8 - 25	Tulenkestävä takki, housut ja suojaripuku sekä puuvillaiset alusvaatteet
4	25 - 40	Tulenkestävä takki ja housut sekä monikerroksinen valokaaripuku

3.6.2 Standardi IEEE 1584

IEEE:n julkaisemassa standardissa IEEE 1584 on ohje valokaaren tuottaman saapuvan energian laskemiseksi. Standardia voidaan käyttää ennustettaessa työntekijään kohdistuvan energian suuruutta ja valokaaren turvaetäisyyttä, kun vika syttyy työskennellessä jännitteisillä kojeistoilla. IEEE:n standardin laskukaavat energian laskemiseksi on määritetty kokemusperäisten testitulosten perusteella.

Kokemusperäiset kaavat antavat NFPA:n maksitehon perusteella saatuja kaavoja todellisemmän ja realistisemmän arvon energian suuruudelle. IEEE 1584 standardin avulla lasketulle energialle voidaan halutessa käyttää NFPA:n taulukoimaa tyypillistä suojarustusta, joka on esitetty taulukossa 2.

Standardin energialaskut soveltuvat käytettäväksi seuraavassa taulukossa esitettyjen arvojen puitteissa (IEEE 2004).

Taulukko 3. IEEE 1584 laskennan raja-arvot (IEEE 2004)

Jännite	0,208 kV – 15 kV
Taajuus	50 Hz tai 60 Hz
Prospektiivinen vikavirta	0,7 kA – 106 kA
Maadoitus	Kaikki tavat
Elektrodien etäisyys	13 mm – 152 mm

Standardin sisältämät laskut koostuvat neljästä eri vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa selvitetään valokaarivirta, jota käytetään toisen vaiheen normalisoidun energian ja kolmannen vaiheen varsinaisen saapuvan energian suuruuksien laskemiseksi. Neljännessä vaiheessa lasketaan valokaaren turvaetäisyys.(IEEE 2004)

Laskennassa tulee tietää vikapaikan prospektiivinen oikosulkuvirta ja sen poiskytkentäaika, joten verkko tulee ensin mallintaa tarkasti ja selvittää vikavirta sekä sulakkeiden, suojarleiden ja katkaisijoiden toiminta-ajat kyseisessä verkon kohdassa.

Pienjännitejärjestelmillä (<1 kV) valokaaren virta voidaan määrittää seuraavalla kaavalla:

$$I_a = 10^{(K+0,662 \log(I_{bf})+0,966 V+0,000526 G+0,5588 V \log(I_{bf})-0,00304 G \log(I_{bf}))} \quad (12)$$

missä

log on \log_{10}

I_a = valokaarivirta (kA)

K = -0.153; avoin tila
= -0.097; suljettu tila

I_{bf} = prospektiivinen oikosulkuvirta kolmevaiheisessa oikosulussa (sym. RMS) (kA)

V = järjestelmän jännite (kV)

G = johtimien välinen matka (mm)

Keskijännitejärjestelmissä (>1kV) valokaaren virta voidaan määrittellä seuraavalla kaavalla:

$$I_a = 10^{(0,00402+0,983 \log(I_{bf}))} \quad (13)$$

Toisessa vaiheessa lasketaan valokaaren normalisoitu energia. Normalisoitu energia perustuu 0,2 sekunnin palamisaikaan ja 610 mm etäisyyteen valokaaresta, ja se voidaan laskea kaavalla:

$$E_n = 10^{(K_1+K_2+1,081 \cdot \log(I_a)+0,0011G)},$$

missä

E_n = normalisoitu energia

$K_1 = -0,792$; avoin laitteisto

-0,555; suljettu laitteisto

$K_2 = 0$; avoin laitteisto

-0,113; suljettu laitteisto.

Kolmas vaihe antaa arvion varsinaisen saapuvan energian suuruudelle. Energia voidaan laskea kaavalla:

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610}{D} \right)^x \quad (14)$$

missä

E = saapuva energia (J/cm²)

$C_f = 1,0$; jännite >1 kV

1,5; jännite <1 kV

t = valokaaren palamisaika (s)

D = työskentelyetäisyys (mm)

x = etäisyysstermin eksponentti, joka saadaan seuraavan taulukon avulla.

Taulukko 4. Etäisyystermin eksponentin määräytyminen, jännitteen, rakenteen ja elektrodivälin mukaan (IEEE 2004)

Jännite (kV)	Rakenteen tyyppi	Tyypillinen elektrodien väli (mm)	Etäisyystermin x kerroin
0.208 - 1	Avoim	10-40	2.000
	Kojeisto	32	1.473
	MCC ja paneeli	25	1.641
	Kaapeli	13	2.000
>1-5	Avoim	102	2.000
	Kojeisto	13-102	0.973
	Kaapeli	13	2.000
>5-15	Avoim	13-153	2.000
	Kojeisto	153	0.973
	Kaapeli	13	2.000

Neljäs vaihe sisältää turvaetäisyyden laskemiseksi kaavan:

$$D_B = 610 \cdot \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{1}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (15)$$

D_B = valokaaren turvaetäisyys (mm)

E_B = saapuvan energian suuruus turvaetäisyydellä (normaalisti $5 \text{ J/cm}^2 = 1,2 \text{ cal/cm}^2$)

Laskentaohjelma

Internetissä on ilmainen laskentaohjelma, millä voi tehdä valokaarienergiälaskentaa IEEE 1584 ja NFPA 70E mukaisesti ([Online-laskuri 2015](#)).

Suojavaatetuksen valinta

Kun E_B on saatu selville, voidaan valita sopiva suojavaatetus. Valinnassa voi käyttää NFPA 70E standardin kategoriaa, ks. liite 2.

Varoitustarrat

Saaduista tuloksista voidaan tulostaa varoitustarra kertomaan kyseisessä paikassa esiintyvistä vaaran suuruudesta, ks. liite 3.

Yhdysvalloissa NEC (National Electric Code) 110,16/2014 vaatii omistajia varustamaan sähkölaitteet tarroilla, missä on riittävästi tietoa mahdollisista valokaarivaaroista, että sähköalan henkilöt voivat valita menettelyt ja henkilökohtaiset suojaimet. NEC 2014 110.21B määrittelee tarkemmin vaadittavat asiat. Pykälässä NFPA 70E, 130,5C laitteiden merkinnät- ilmoitetaan selkeästi vaadittavat asiat. (Helmick 2014)

3.6.3 Standardi SFS 6002

Suomen Standardisoimisliitto SFS on julkaissut sähkötyöturvallisuustandardin SFS 6002. Siinä on valokaaresta ja siltä suojaumisesta mainittu seuraavaa kohdassa 4.6 Työkalut, varusteet ja laitteet:

”Työkalujen, varusteiden ja laitteiden on täytettävä soveltuvien eurooppalaisten, kansallisten tai kansainvälisten standardien vaatimukset niiltä osin kuin standardeja on olemassa.”

Saman luvun kohdassa *Opastavia tietoja*:

Työnantajan on valittava tarvittavat suojaimet arvioimalla etukäteen työssä esiintyvät vaarat valtioneuvoston päätöksen henkilönsuojainten valinnasta ja käytöstä työssä (1407/1993) mukaisesti. Esimerkiksi työskentelyolosuhteissa, joissa lähellä olevien jännitteisten osien ja oikosulkuvirran takia valokaari voi aiheuttaa vaatteiden syttymisen, on käytettävä henkilönsuojaimena tulelta ja kuumuudelta suojaavaa suojavaatetusta. Suojavaatetus voi olla standardin SFS-EN 531: Suojavaatetus kuumatyössä, luokan A ja B1 tai C1 mukainen tai CENELECin teknisen spesifikaation TS 50354 luokan 1 mukainen. Suojauksen parantamiseksi suositellaan suojavaatteiden alla käytettäväksi väli- ja/tai alusvaatetusta, joka ei ole helposti sulavaa synteettistä materiaalia.

(SFS 6002 2012, 14, 15)

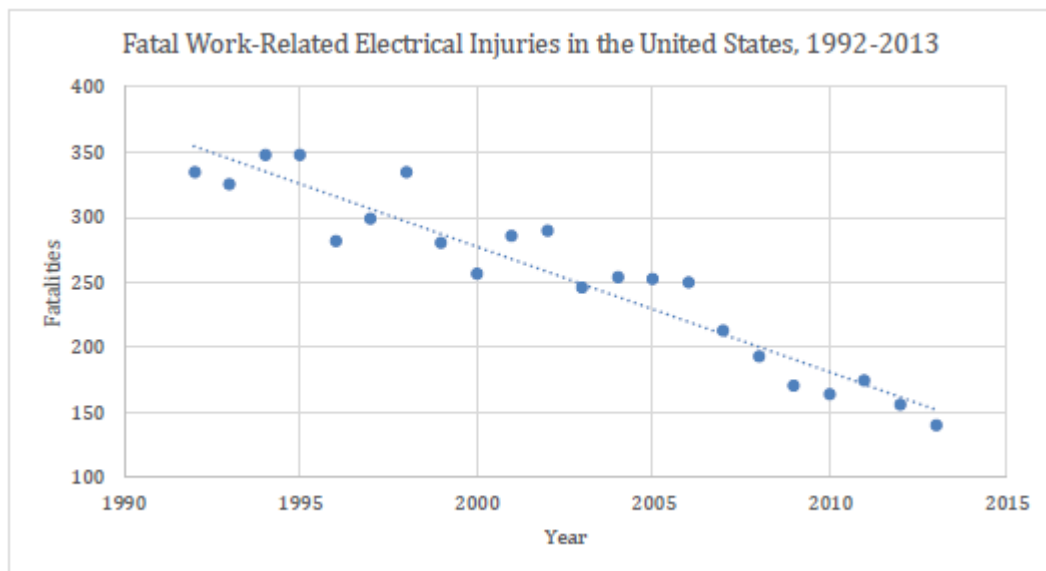
3.7 Onnettomuustilastoja

TUKES (Turvatekniikan keskus) ja TVL (Työväkuvutuslaitosten Liitto) ovat pitäneet tilastoa suomessa tapahtuneista sähkötapaturmista. Taulukossa 5 on tilasto vuosilta 2004-2008 (TUKES 2009,46).

Taulukko 5. Sähkötapaturmat suomessa v.2004 - 2008 (TUKES 2009)

	2004	2005	2006	2007	2008
Sähköisku					
VARO-rekisteri					
Ammattilaiset	9	11	10	17	20
Maallikot	26	33	33	35	30
VARO-rekisteri yhteensä	35	44	43	52	50
TVL:n rekisteri	201	309	334	400	
Valokaari					
VARO-rekisteri					
Ammattilaiset	13	7	9	8	10
Maallikot	2	5	5	3	6
VARO-rekisteri yhteensä	15	12	14	11	16
TVL:n rekisteri	25	23	22	33	

Yhdysvalloissa sähkötapaturmista on laatinut tilastoja NFPA. Campbellin ja Dinin (2015, iv, 12) mukaan v. 1992 – 2013 kuolemaan johtaneita tapaturmia oli lähes 6000 ja vammoja aiheuttavia tapaturmia 24 000. Kuolemaan johtavat tapaturmat ovat kuitenkin vähentyneet tasaisesti (ks. Kuvio 14).



Kuvio 14. Kuolemaan johtaneet sähkötapaturmat Yhdysvalloissa v. 1992 – 2013 (Campbell & Dini 2015, 12)

Ei-kuolemaan johtaneet onnettomuudet eivät kuitenkaan ole vähentyneet samantyyppisellä trendillä, vaan ovat vaihdelleet 2000 tapauksen molemmin puolin (mts. iv).

Valokaaresta aiheutuvien vammojen osuus tapaturmissa oli 20 – 63 % lähteestä riippuen (mts. 5).

4 Toteutus ja tulokset

Opinnäytetyön toteutus jakautui viiteen vaiheeseen ja lähti käyntiin tiedon etsinnällä ja järjestelmään tutustumisella. Tämän jälkeen oli työohjeen laatimisen vuoro. Ohjeen valmistuttua laboratoriotyö testattiin käytännössä opiskelijoilla. Viimeinen vaihe oli työohjeen viimeistely ja pohdinta.

4.1 Tiedon ja kokemuksen hankinta

Hyvän työohjeen laatimiseksi oli opeteltava itse tuntemaan järjestelmä ja löydettävä tietoa perusteista.

Opinnäytetyön yksi tavoitteista oli löytää tietoa valokaaren resistanssista, sekä miten se vaikuttaa oikosulkuvirtaan ja sitä kautta suojaukseen. Miten resistanssi voidaan laskea ja ottaa huomioon verkon mallintamisessa? Miten voidaan arvioida valokaaren vaarallisuutta ja järjestelmän vaikutus siihen? Näihin oli tarkoitus löytää tietoa työohjeen tekemiseksi.

Tietolähteinä olivat aluksi eri laitevalmistajien kotisivut ja sieltä löytyvä materiaali. monen valmistajan materiaaleissa oli ”white paper”, missä käytiin yleisesti läpi valokaarisuojauksen tarpeellisuus ja perustelut, sekä kerrottiin järjestelmän ominaisuuksista ja historiaa. Näiden tietojen pohjalta sai jo hyvän kuvan valoon perustuvista valokaarisuojausjärjestelmistä, ja sieltä löytyi asioita, mitkä auttoivat eteenpäin tiedon etsinnässä. Pieni yllätys oli eri valmistajien laitteiden yhdenkaltaisuus. Tämä asia muutti alkuperäistä suunnitelmaa esitellä ja vertailla eri valmistajien järjestelmiä tässä työssä. Järjestelmien samankaltaisuudesta johtuen riittää esimerkiksi yhden

valmistajan esittely. Tietolähteiden intresseistä johtuen tieto oli jossain määrin painottunutta, joten moniin asioihin oli tarve saada tarkennus muualta.

Tiedonetsintä helpottui, kun kerätessäni tietoja eri valmistajien järjestelmistä sain eräästä yrityksestä käsiini diplomityön, missä on tutkittu ja vertailtu valokaarisuojaukseen käytettyjä menetelmiä. Työssä kerrottiin monipuolisesti valokaaresta ja sen vaarallisuuden arviointiin liittyvistä asioista. Tämä antoi paljon tietoa sekä auttoi tiedon etsinnässä muualta.

Tietojen tarkistamiseen ja varmistamiseen kävin paljon muutakin materiaalia läpi. Kaikesta päätellen valokaari on ilmiönä haasteellinen ja vaikutuksiltaan moniulotteinen. Sen vaikuttavuuteen ja vaarallisuuteen on vasta tällä vuosituhannella alettu kiinnittämään erityistä huomiota. Asiasta on tehty tutkimuksia ja on saatu joitakin kaavoja ja metodeita valokaaren laskentaan. Vaarallisuuden arviointiin on kiinnitetty huomiota erityisesti Pohjois-Amerikassa, missä on jo omat velvoittavat standardit turvallisuuteen liittyen. Euroopasta ei vielä tällä hetkellä löytynyt omaa varsinaista valokaaristandardia.

4.2 Työohjeen laadinta

Kun tietoa ja materiaalia oli kertynyt, alkoi työohjeen laadinta. Työohjeesta oli tavoite tehdä kaksiosainen, missä esitehtävien muodossa perehdytään valokaarisuojaukseen yleisesti, ja toisessa osiossa on ohje järjestelmän konfigurointiin ja käyttöönottestien tekemiseen järjestelmällä käytännössä.

Työohjeen alussa kerrotaan tiivistetysti oikosulkujen eroista ja valokaarioikosulun ominaisuuksista, valokaarisuojausmenetelmistä ja kuinka valokaaren virta voidaan laskea IEEE 1584-standardin kaavalla.

4.2.1 Esitehtävät

Esitehtävien laadinnassa oli ajatus tuoda esille ne seikat, mitkä vaikuttavat tuhojen laajuuteen ja miten valokaaren vaarallisuutta voidaan arvioida ja laskea. Sitä kautta

voidaan ymmärtää suojauksen kokonaisuutta ja mahdollistetaan analyysien teko valokaarisuojajärjestelmän hyödystä. Lisäksi halutaan tuoda tietoisuuteen se, että Amerikassa jo nyt standardeilla veloitetaan työpaikkoja tekemään valokaaren vaarallisuuden arviointia ja suojaamaan työntekijät tarpeen mukaan. Todennäköistä on, että tiedon lisääntyessä suomessa ja muuallakin Euroopassa tullaan lisäämään ohjeistuksia valokaarelta suojautumiseen ja toteuttamaan valokaarienergielaskentaa.

Esitehtävissä 1 ja 2 tuli selvittää ajan ja virran suhdetta kaapeli-, kupari- ja rautapalojen syntymiseen. Tällä haluttiin tuoda esille laitetuhoilta suojaamisen näkökulmaa ja tietoisuutta tuhojen nopeasta syntymisestä. Tehtävän kaksi tarkoitus oli johdattaa tutustumaan järjestelmän ominaisuuksiin ja saada pohtimaan, mistä katkaisutapah-tuman kokonaisaika muodostuu.

Tehtävässä kolme tutustuttiin valokaarienergian laskentaan IEEE1584-standardin mukaan. Internetistä löytyi hyvä ja informatiivinen online-laskuri tätä varten. Tehtävässä tuli käydä laskemassa valokaarivirtoja ja sen vaarallisuusluokituksia opiskelijoiden toisen harjoitustyön tiedoilla ja käyttäen eri poiskytkentäaikoja. Jos käytetään poiskytkennässä esimerkiksi valokaarisuojauksen 60 ms:n ja perussuojauksen 300 ms:n ja 500 ms:n aikoja, pystytään näkemään ajan merkitys turvallisuustasoon. Toinen tärkeä havainto voidaan tehdä laskurilla, kun lasketaan valokaaren oikosulkuvirtoja eri jännitteillä. Voidaan havaita, että jännitteen laskiessa valokaaren oikosulkuvirta pienenee prospektiiviseen oikosulkuvirtaan nähden, ja alle 1 kV:n jännitteellä oikosulkuvirta on alle puolet siitä.

Viimeisessä tehtävässä tuli suunnitella sähköasemakaavioon valokaarisuojajärjestelmä. Tehtävänantoon ei laitettu kriteerejä, koska haluttiin tekijöiden joutuvan poh-timaan perusteita valinnoilleen ja etsimään tietoa järjestelmistä. Järjestelmän suunnitteluun vaikuttavat monet seikat. Yksi lähtökohta suunnitteluun on yleensä sähköntoimituksen kriittisyys. Mitä tärkeämpää on toimitusvarmuus, sitä laajempi ja kattavampi järjestelmästä tehdään.

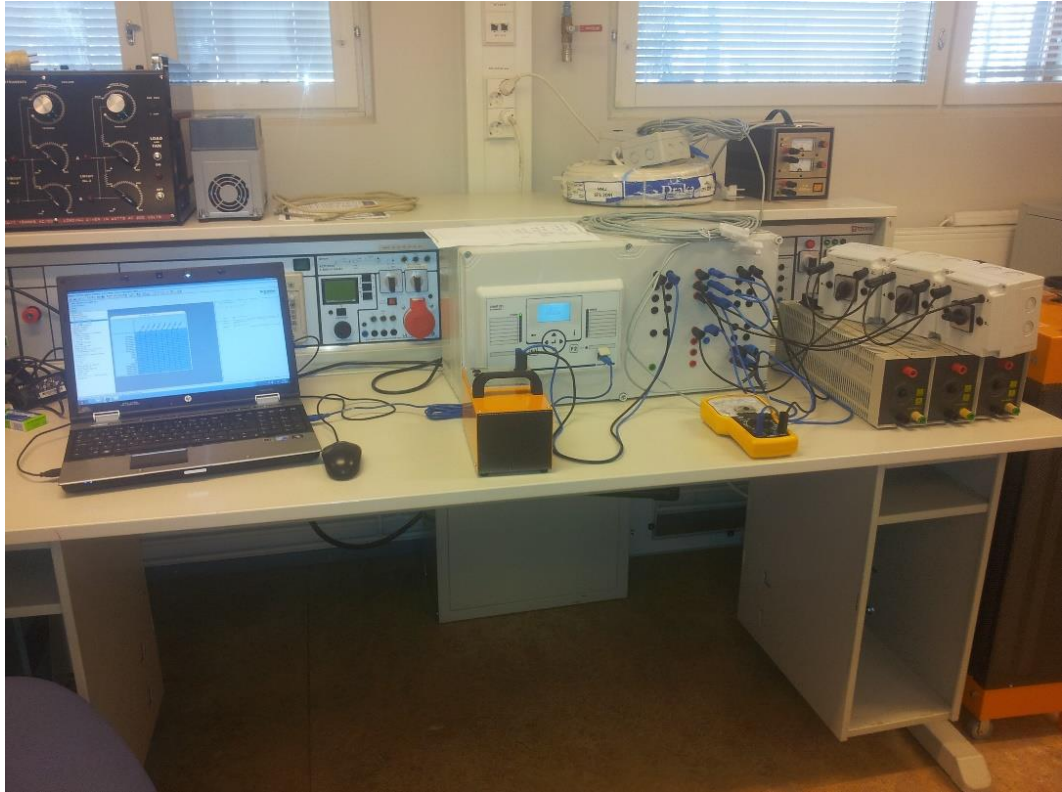
4.2.2 Järjestelmän konfigurointi ja käyttöönotto –työohje

Laboratoriotyö tehtiin sähkölaboratoriossa, joka on varustettu alaan liittyvien harjoitustöiden tekemiseen tarvittavilla kalusteilla ja välineillä. Työpöydissä oli tarpeelliset jännitelähteet suojauksineen ja muut harjoitustyössä tarvittavat mittarit ja välineet löytyivät kaapista.

Tutustuminen laitteistoon lähti liikkeelle kasaamalla peruslaitteisto keskusyksiköstä, valoantureista, virtamuuntajista ja tietokoneesta (ks. kuvio 15).

Harjoitustyön laitteistoon kuului:

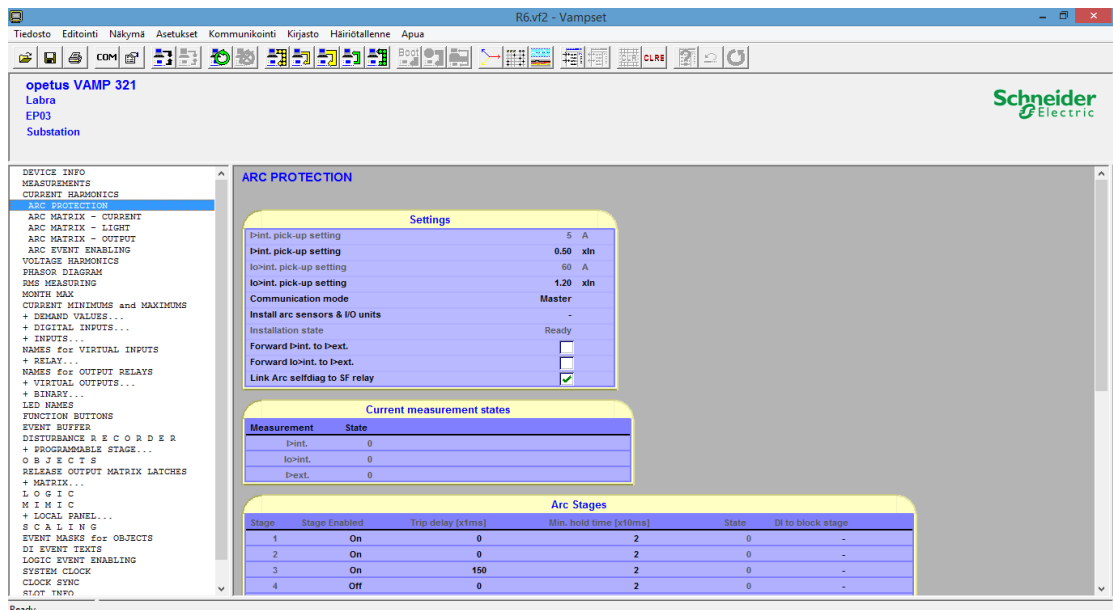
- VAMP 321 keskusyksikkö kotelossa. Kotelon etupuolella käyttöpaneeli ja liittynät banaanikoskettimilla; valoanturit 2 kpl, virta- ja jännitemuuntajat 5 kpl, laukaisulähdöt 4 kpl, hälytyslähdöt 2 kpl, BI 2 kpl, BO 2 kpl, DI 4 kpl, virtalähde +24 VDC, Hälytyslähdöt A1 ja F1
- VAMPSET asettelu- ja konfigurointiohjelmisto tietokoneella
- Kansio, missä asennus- ja käyttöohjeet ohjelmasta ja järjestelmästä
- Kompaktikatkaisija, 1 kpl
- yksivaiheinen 0-1 kytkin, 3 kpl
- liukuvastus 33 Ω , 3 kpl
- Virtamuuntaja 10/1A, 1 kpl
- Yleismittari, 3 kpl.



Kuvio 15. Työssä käytettävä laitteisto

VAMPSET-konfigurointiohjelma

Tietokoneella oli VAMPSET-ohjelma, millä otettiin yhteys keskusyksikköön. Ohjelmalla pääsi selaamaan järjestelmän asetuksia ja tietoja ja konfiguroimaan järjestelmä (ks. kuvio 16). Olin tutustunut järjestelmään aikaisemmin pintapuolisesti. Paremman mielikuvan saamiseksi tutkin järjestelmän ohjekirjasta, kävin valikot läpi ja perehdyin ominaisuuksiin kokeilemalla.



Kuvio 16. VAMPSET-ohjelman konfigurointi-ikkuna.

Sekä järjestelmästä että ohjelmasta oli olemassa hyvät käyttöoppaat. Oppaassa oli myös pieni esimerkkiharjoitustehtävä, mikä oli aika suppea. Suunnittelin uuden tehtävän, missä ominaisuuksia joutuu käyttämään monipuolisemmin.

Suunnittelin uuden esimerkkikohteen harjoitustyötä varten. Työssä suunnitellaan esimerkiksi tapauksena muuntajakaapelipäätteen ja kiskokatkaisijan valvonta pisteantureilla kuvion 17 mukaisesti. Kuvio on muokattu valmistajan ohjekirjan kuvasta. Tehtävänannossa on valittu verkon maadoitustavaksi TN-C, jolloin ei tarvita maasulkuvirran mittausta. Tämä valinta on laitteiston pitämiseksi yksinkertaisena.

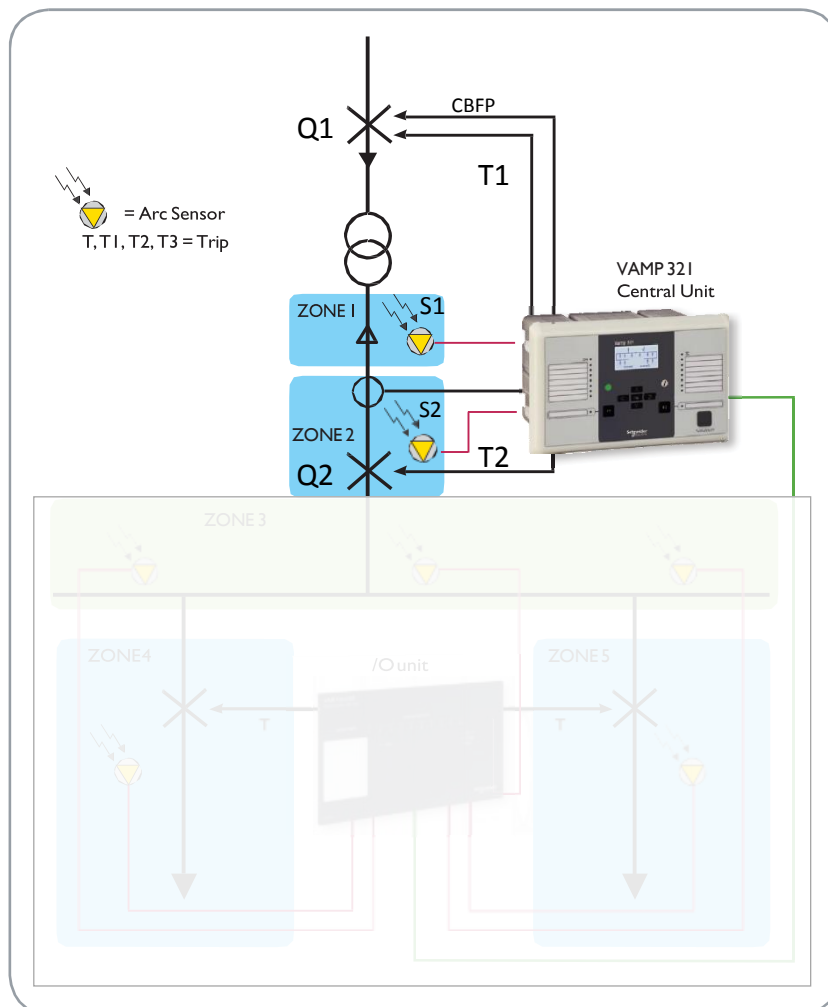
Toimintakuvaus on annettu seuraavasti:

1. Kaapelipäätteen valvonta:

Valoanturi S1 valvoo muuntajakaapelipäätetilaa. Tila on ennen virtamuuntajia, joten laukaisu täytyy tehdä pelkällä valohavainnolla. Anturin S1 aktivoituessa järjestelmä antaa avauskäskyn katkaisijalle Q1 laukaisulähdöllä T1, tekee hälytyksen releellä A1 ja sytyttää paneeliin punaisen ledin palamaan. Laukaisu ja hälytys kuitataan näyttöpaneelista.

2. Katkaisijan valvonta:

Kun ylivirtahälytys ja valoanturi S2 aktivoituvat, laukaisee järjestelmä katkaisijan Q2, antaa relehälytyksen A1 ja sytyttää punaisen ledin. Laukaisu ja hälytys kuitataan näyttöpaneelista. Jos hälytysaika ei ole poistunut 150 ms:n kuluessa eli katkaisija Q2 ei ole toiminut, laukaisee järjestelmä Q1:n (katkaisijavivakasuojaus CBFP). CBFP:n toimittua syttyy toinen punainen led paneelissa, mikä voidaan kuitata vain ulkoisella kytkimellä SW3. Laukaisu ja hälytys kuitataan näyttöpaneelista.



Kuvio 17. Harjoituksena tehdään kaapelipäätteen ja katkaisijan valvonta.

Toimintakuvauksen perusteella harjoituksen tekijän tulisi tehdä asetellut järjestelmään. Työohjeessa kerrotaan ja käydään kaikki toimintojen tekemiseen käytettävät asetusryhmät läpi kohta kohdalta ja vaikeammissa kohdissa opastetaan tarkemmin. Tarkoitus ei ollut antaa kaikkiin valmista vastausta, jotta myös omalle pohdinnalle jäisi mahdollisuus. Työohje on kokonaisuudessaan liitteessä 3. KytKentäkaavio ja kotelun layout ovat työohjeen liitteinä, liitteet 1 ja 2. Ne piirsin CADS-ohjelmalla.

Esimerkkitapaukseen on valittu sähköverkosta kohta, missä konfigurointiohjelman ominaisuuksia pääsee käyttämään monipuolisesti. Tämä auttaa tuomaan esille mahdollisuudet järjestelmän räätälöimisestä tilanteen mukaan, sekä laittaa harjoituksen tekijän miettimään ratkaisukeinoja valintatilanteissa.

Kun järjestelmän konfigurointi on valmis, sille tehdään toimintatestit. Jos löytyy virheitä, ne tulee korjata ja saattaa laite tehtävänannon mukaiseen toimintakuntoon. Tulokset kirjataan laitevalmistajan tekemään testauspöytäkirjaan. Testauspöytäkirjat ovat oleellinen osa järjestelmätoimitusta yleisestikin, joten niihin tutustuminen on tärkeää insinööriopiskeluissa ja luonnollinen osa laboratoriotyötä.

Lopuksi esitehtävät, valmis ohjelmatiedosto ja testauspöytäkirja ohjataan palautettavaksi opettajalle.

4.2.3 Työohjeen testaus käytännössä

Työohje tuli testattua opiskelijoilla. Opiskelijat tekivät laboratoriotyön kolmen hengen ryhmissä ja ryhmiä oli kuusi. Minulla oli mahdollisuus toimia työn ohjaajana vastaavan opettajan valvonnassa.

Työn alussa oli esitehtävien läpikäynti. Opiskelijat esittivät omat vastauksensa tehtäviin ja minä täydensin ja korjasin tarvittaessa sekä perustelin tehtävien tavoitteita.

Esitehtävien jälkeen ryhmä sai itse johdottaa ja kytkeä laitteiston kytkentäkaavion mukaan (liite 4). Kytkennät onnistuivat pääosin hyvin itsekseen, mutta työhön varattu 1,5 h:n aika ei mahdollistanut pitkiä pohdiskeluja, joten autoin kytkennöissä tarpeen mukaan. Ennen sähköjen kytkemistä tarkistin vielä johdotukset.

Kun laitteisto oli saatu rakennettua fyysisesti toimintakuntoon, siirryttiin tietokoneelle tekemään konfigurointia VAMPSET-ohjelmalla. Ryhmä käynnisti ohjeen mukaan ohjelman, muodostivat yhteyden keskusyksikköön ja tutustuivat ohjelman valikoihin pikaisesti. Tämän jälkeen esittelin tehtävänannon ja valitsin maadoitustavaksi maadoitetun järjestelmän, jotta ei tarvitse tehdä maasulkuvirran mittausta. Valinta johtui työhön varatun ajan niukkuudesta ja järjestelmän pitämiseksi yksinkertaisena.

Tehtävänannon jälkeen ryhmä ryhtyi tekemään itsenäisesti ohjeen mukaan asetuksia ja valintoja. Ensimmäisellä ryhmällä meni aikataulu pitkäksi, joten seuraavia ryhmiä jouduin auttamaan valintojen tekemisessä monessa kohtaa aikataulussa pysymiseksi. VAMPSET-asetteluohjelma on ensi kertaa käyttävälle melko sekava, joten oikeiden asetusten etsintään kului suhteettoman paljon aikaa. Asetuksissa oli myös muutama vaikea kohta, missä toiminnon aikaansaamiseksi oli tiedettävä tehdä oikea valinta. Ohjekirjan avulla näistä olisi mahdollisesti selvinnyt, mutta ajan säästämiseksi ja työmäärän vähentämiseksi autoin näiden tekemisessä kaikkia ryhmiä.

Kun konfigurointi oli valmis, opastin ottamaan tarkastuspöytäkirjan ja ryhtymään toimintatesteihin. Tähän olisi ollut opiskelijoiden hyvä saada enemmän aikaa. Testien tekemisessä jouduin olemaan melko voimakkaasti mukana, jotta ne ehdittiin tehdä. Suurimmaksi osaksi testit onnistuivat hyvin, mutta yhdellä ryhmällä asetukset olivat oudosti. Kun asetukset ladattiin kokonaan uudestaan keskusyksikköön, kaikki toimi kunnolla. Myös COMTRADE-tallenteiden analysointi jäi tekemättä ajanpuutteen takia.

Harjoitustyöt onnistuivat kaikilta. Ensimmäisellä ryhmällä aikataulu meni pitkäksi 0,5 h, mutta seuraavilla pysyttiin aikataulussa täpärästi. Työmäärään nähden 1,5 h oli aivan liian lyhyt aika, koska työn tavoitteena ollut opiskelijoiden oma pohdinta valintojen tekemisessä ei päässyt kunnolla onnistumaan. Jos työhön voidaan varata aikaa

kaksi tuntia tai enemmän, niin se mahdollistaa paremman oppilastyöskentelyn. Toinen vaihtoehto on joidenkin toimintojen karsiminen työstä.

5 Pohdinta

Työn tavoitteena oli tehdä opetuskäyttöä varten työohje, mikä perehdyttää valokaarioikosulkusuojauksen teoriaan, opastaa käytännössä valokaarisuojajärjestelmän konfiguroinnissa käyttökuntoon ja käyttöönottotarkastuksen tekemisessä. Työlle ei ollut tiukkoja kriteereitä, vaan tarkoitus oli tutkia asiaa ja tuottaa sen pohjalta mahdollisimman hyvä ja toimiva työohje. Tuloksena syntyi työohje laboratoriotyön tekemiseen, millä opiskelijat toteuttivat harjoituksen.

Työ jakautui kahteen osaan, teoriaan ja käytäntöön. Teoriaosuuteen löytyi tietoa valokaaren vaarallisuuden arviointiin käytettävien energialaskujen tekemisestä sekä valokaaren ominaisuuksista. Teorian avulla pystyy hahmottamaan paremmin valokaarisuojajärjestelmän merkitystä suojauksessa ja valokaaren luonnetta. Valokaari-ilmiö on kuitenkin monivaikutteinen, eikä tämän hetken tieto ole vielä läheskään kaikilta osin täydellistä. Löytämässäni materiaaleissa valokaaren suureiden laskentaan on esitetty monia eri kaavoja ja tapoja, mistä monet ovat tutkimusten valossa vain suuntaa antavia. Valokaarilaskennat tulevat vielä kehittymään, täydentymään ja tarkentumaan paljon.

Työohje toimi käytännössä pääosin hyvin, mutta työlle varattu 1,5 h aika oli liian vähän työmäärään nähden. Opiskelijat pystyivät tekemään pitkälti itsenäisesti ohjeen mukaan, mutta ongelmakohtissa jouduin opastamaan paljon, jotta pysyttiin aikataulussa. Aikaa on lisättävä, tai joitakin kohtia on jätettävä pois työohjeesta, että opiskelijoiden oman pohdinnan osuus kasvaisi työssä. Lisäksi työohjeen järjestys ei ollut aivan looginen. Korjasin havaitsemani virheet ja täydensin ohjetta jälkeenpäin.

Esitehtäviin onnistuin valitsemaan mielestäni tärkeimmät asiat valokaaren vaarallisuuden liittyvistä asioista ja mitä suunnittelussa on otettava huomioon, mutta järjestelmään liittyviä tehtäviä olisi saanut olla enemmän opiskelijoiden tutustuttamiseksi järjestelmään jo etukäteen. Tämä olisi auttanut ja nopeuttanut konfigurointityötä.

Käytännön harjoitustyössä oli tavoitteena tehdä työohje, missä esimerkkitehtävän avulla käydään läpi järjestelmän konfiguroiminen käyttökuntoon. Konfiguroinnissa on käytävä paljon asioita läpi ja sitä vaikeutti konfigurointiohjelman asetusryhmien sekava järjestykseen. Työohjetta laatiessa joutui pohtimaan tehtävien sopivaa määrää, sekä kuinka tarkat ohjeet pitää tehdä suhteessa käytettävissä olevaan aikaan. Ajatus oli, että oppilaat itse tekemällä ja käyttöoppaista tietoa etsimällä suoriutuisivat tehtävistä ja kehittäisivät työelämässä tarvittavia taitoja. Työohjeeseen tuli kohtia, missä pitäisi itse ratkaista oppaiden avulla asettelupulmia. Testiryhmää jouduin avittamaan ajanpuutteen takia paljon, joten heidän kohdallaan tarkemmista ohjeista olisi ollut hyötyä.

Uusi asia valokaarisuojauksesta opetusta ajatellen on standardi IEEE 1584, valokaaren vaarallisuudesta kertovat valokaarienergiälaskut. Toinen huomionarvoinen asia on valokaaren vaikutus oikosulkuvirtaan, millä voi olla merkittävä vaikutus perussuojauksen toteutumiseen. Tähän olisi vielä syytä paneutua lisää ja kehittää rutiinia valokaaren oikosulkuvirran huomioimisesta suojausasettelujen suunnittelussa. Tätä varten koululle voisi hankkia suunnitteluohjelman, esimerkiksi Neplan, missä olisi valmiina ominaisuutena valokaaren energian ja oikosulkuvirran laskenta.

Lähteet

Andrade, V. D. & Sorrentino, E. N.d. Typical expected values of the fault resistance in power systems. Julkaisu. ISBN: 978-1-4577-0488-8. Viitattu 11.7.2014.

arc-flash-compliance-protecting-employees. N.d. Artikkel. Viitattu 20.5.2015. <http://oilandgasreview.com.au/word/arc-flash-compliance-protecting-employees/>

Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K. & Palva, V. 2003. suurjännitetekniikka. 2. Painos. Helsinki: Otatieto. 520 s. ISBN 951-672-320-9.

Campbell, R. & Dini, D. 2015. Occupational Injuries From Electrical Shock and Arc Flash Events. Loppuraportti. Fire Protection Research Foundation 2015. Viitattu 31.5.2015. <http://www.nfpa.org>

Cochran, A. 2009. Arc Mitigation – A Three-Step Approach. Artikkel. Viitattu 20.5.2015. <http://iaeimagazine.org/magazine/2009/11/16/arc-mitigation-a-three-step-approach/>

Davis, C., St. Pierre, C., Castor, D., Luo, R. & Shrestha, S. 2003. Practical Solution Guide to Arc Flash Hazards. Julkaisija ESA, Inc. 2003.

Deschamp, T.2013. Avoiding arc flash in the nick of time. Artikkel. Viitattu 20.5.2015. <http://www.plantservices.com/articles/2013/08-arc-flash-relay/>

Dini, D. 2015. New Research Illuminates Dangers of an Arc Flash. Artikkel. Viitattu 26.5.2015. <http://ohsonline.com/articles/2015/01/27/new-research-illuminates-dangers-of-an-arc-flash.aspx?admgarea=ht.ElectricalSafety>

FlashTrack. N.d. PPE- kategoria. Viitattu 12.05.2015. <http://facilityresults.com/70E/nfpa70e-chart/>

Helmick, C. 2014. 3 New Requirements in 2014 National Electrical Code. Uutinen nettisivuilla. Viitattu 31.5.2015. <http://www.avotraining.com/3-new-requirements-in-2014-national-electrical-code/>

Infrared Electrical Inspection. N.d. Kuvagalleria. Viitattu 20.5.2015. <http://www.infraredimagingservices.com/image/tid/6>

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma 2015. 2015. Tutkinto-ohjelman opetussuunnitelma. Viitattu 15.5.2015. <http://studyguide.jamk.fi/fi/opinto-opas-amk/tutkinto-ohjelmat-ja-opintotarjonta/suomenkieliset-opsit/2015-2016/sahko-ja-automatiotekniikka/>

JAMK, 2015. Jyväskylän Ammattikorkeakoulun kotisivut, 2015. Viitattu 20.4.2015. <http://www.jamk.fi/fi/Etusivu/>

Karri, T. 2006. Valokaarisuojausmenetelmien vertailu. Diplomityö. Vaasan yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Sähkötekniikka. PDF-tiedosto.

Lee, W.J. & Gammon, T. 2011. IEEE/NFPA Arc Flash Phenomena Collaborative Research Project. Raportti. <https://standards.ieee.org/about/arcflash/afupdate.pdf>

Lindsey, B. 2014. Arc Flash Injuries – burns are not the only thing that can kill you. Blogi. Viitattu 20.5.2015. <http://www.mitchellandlindsey.com/2014/12/arc-flash-injuries-burns-are-not-the-only-thing-that-can-kill-you/>

Evanson, P. 2014. How to Reduce Electrical Hazards in the Workplace. Uutinen yrityksen kotisivuilla. <http://blog.mticontrols.com/how-to-reduce-electrical-hazards-in-the-workplace/>

Malmedal, K. & Sen, P. K. 2000. Arcing fault current and the criteria for setting ground fault relays in solidly-grounded low voltage systems. Julkaisu. Viitattu 7.8.2014. https://www.researchgate.net/publication/228788570_Arcing_faults_and_their_effect_on_the_settings_of_ground_fault_relays_in_solidly_grounded_low_voltage_systems

Online-laskuri. 2015. Laskentaohjelma valokaarienergian laskentaan. Viitattu 31.5.2015. <http://www.arcadvisor.com/arcflash/ieee1584.html>

Picard, H., Verstraten, J. & Luchtenberg, R. 2013. Practical approaches to mitigating Arc Flash exposure in Europe. Julkaisu. Viitattu 10.4.2015. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6581583&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6573519%2F6581582%2F06581583.pdf%3Farnumber%3D6581583>

Sample Single Line Diagram. N.d. Valokaarienergia-esimerkkilaskelma. Viitattu 23.4.2015. <http://www.vrieliink-es.com/sample-single-line-diagram>

STL 14.6.1996/410. Sähköturvallisuuslaki.

Terzija, V.V., Ciric, R.M. & Nouri, H. 2006. A new iterative method for fault currents calculation which models arc resistance at the fault location. Electrical Engineering 86, 157-165. Viitattu 5.4.2015. http://www.researchgate.net/publication/228718747_A_new_iterative_method_for_fault_currents_calculation_which_models_arc_resistance_at_the_fault_location

Terzija, V.V., Ciric, R.M. & Nouri, H. 2004. On the modeling of long arc in still air and arc resistance calculation. IEEE Transactions on power delivery Vol. 19, issue. 3, 2014. 1012 – 1017.

Terzija, V.V., Ciric, R.M. & Nouri, H. 2011. Improved Fault Analysis Method Based on a New Arc Resistance Formula., IEEE Transactions on Power Delivery Vol.26 , Issue. 1, 2011, 120 – 126. Viitattu 4.4.2015. https://www.researchgate.net/publication/260494722_Improved_Fault_Analysis_Method_Based_on_a_New_Arc_Resistance_Formula

Tukes, 2009. Toimialan onnettomuudet 2008. Tukes-julkaisut 2/2009. Viitattu 25.5.2015. http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/VARO_2008.pdf

VAMP321 Arc Protection, 2015. Esite. Viitattu 21.05.2015
<http://m.vamp.fi/>

VAMP Valokaarisuojaus. N.D. Vamp valokaarisuojaus. Tuotetietoa kotisivuilla. Viitattu 7.9.2014. <http://www.vamp.fi/valokaarisuojaus>

Wilson, R., Harju, R., Keisala, J. & Ganesan, S. N.d. Tripping with the Speed of Light: Arc Flash Protection. Artikkele. Viitattu 8.8.2014.

Liitteet

Liite 1. Valokaarienergian laskenta Online-ohjelmalla

NFPA 70E / IEEE 1584 Based Arc Flash Calculator and Warning Label Maker

Equipment Class MCC and panels ▼
Gap between Conductors 25 mm.
Grounding Type Grounded ▼
Working Distance 455 mm.

Available 3 Phase Bolted Current 36 kA
System Voltage 400 Volt
Incident Energy at Arc Flash Boundary 1.2 cal/cm²

I agree to be bound with Terms & Conditions of this website.

Equipment Type: MCC and panels
Gap between Conductors: 25mm.
Grounding Type: Grounded
Work Distance: 455 mm.
System Voltage L-L: 400 Volt
Available 3Ø Bolted Current: 36 kA
Predicted 3Ø Arcing Current: 16390 A
Arc Duration @ Predicted Arcing Current: 0.06 sec.
Arcing Current reduced by 15%: 13931 A
Arc Duration @ 15% Reduced Arc Current : 0.3 sec.
Incident Energy at Arc Flash Boundary: 1.2 cal/cm²

<u>Calculation Mode</u>	<u>Incident Energy Exposure (cal/cm²)</u>	<u>Arc Flash Boundary (inches)</u>	<u>Hazard Level</u>
@ 100% Arcing Current	3.44	33	1
@ 85% Arcing Current	14.42	79	3

Kuvio 18. Valokaarienergiälaskelma online-laskurilla (Online-laskuri 2015)

Liite 2. PPE kategoria



Facility Results™
Electrical System Reliability & Safety Solutions



FlashTrack™
Change Management Compliance Tool



Gloves on Hand
Managed Glove Compliance Program



QUALIFIED70E.COM
Everything for Personal Safety & Corporate Compliance



NFPA 70E 2012 EDITION

Table 130.7 (C)(16) Protective Clothing and Personal Protective Equipment (PPE)


*For More Detailed Information or Other Options Refer to NFPA 70E, 2012 Edition, Table 130.7 (C)(16)

Hazard/Risk Category 0	Untreated natural fiber Shirt (long sleeve) Pants (long) Safety glasses Hearing protection Leather gloves (as needed)	
Hazard/Risk Category 1 cal/cm ² 4	Arc-rated long-sleeve shirt Arc-rated pants or coverall Arc-rated face shield with hard hat Safety glasses Hearing protection Leather & voltage rated gloves (as needed)	
Hazard/Risk Category 2 cal/cm ² 8	Arc-rated long-sleeve shirt Arc-rated pants or coverall (New 2012) Arc-rated face shield & balaclava or arc flash suite hood Safety glasses Hearing protection Leather & voltage rated gloves (as needed)	
Hazard/Risk Category 3 cal/cm ² 25	Arc-rated long-sleeve shirt Arc-rated pants or coverall Arc-rated flash hood Safety glasses Hearing protection Leather & voltage rated gloves (as needed)	
Hazard/Risk Category 4 cal/cm ² 40	Arc-rated long-sleeve shirt Arc-rated pants or coverall Arc-rated flash hood Safety glasses Hearing protection Leather & voltage rated gloves (as needed)	

FacilityResults.com Sales@FacilityResults.com (888) 762-0090 © Rupert LLC 2012

Kuvio 19. PPE kategoria (FlashTrack n.d.)

Liite 3. NFPA 70E Valokaarivaarasta varoitava tarra

 WARNING	
ARC FLASH HAZARD APPROPRIATE PPE REQUIRED	
Equipment Type	400V MCC and panels
Grounding	Grounded
Work Distance	17 inches (455 mm)
Available 3-Ph Bolted Current	36 kA
Arc Flash Boundary (AFB)	79 inches
Incident Energy @ AFB	1.20 cal/cm²
Incident Energy @ Work Distance	14.42 cal/cm²
Hazard Level	3
Equipment Name:	ESIMERKKITARRA
printed from www.arcadvisor.com on Apr 11, 2015	

Kuvio 20. Esimerkki Valokaarivaara -varoitustarrasta (Arcadvisor 2015)

Valokaarisuojausjärjestelmä VAMP321

Laboratoriotyöohje

Työohje
Kesäkuu 2015



VALOKAARIOIKOSULKUSUOJAUS

OIKOSULKUJEN ERO

Tavallisessa oikosulussa eristyksen pettäessä virralliset osat ottavat yhteen, ja oikosulkuvirta kulkee kosketuspintojen kautta. Virta aiheuttaa johdoissa lämpenemistä ja dynaamisia voimia.

Oikosulkusuojauksessa käytetään tavallisesti virranmittaukseen perustuvia suojaareleitä ja niissä selektiivisen toiminnan saavuttamiseksi yleensä aikahidastusta. Hidastukset voivat olla 100 - 1000 ms.

Valokaarioikosulussa virralliset osat eivät välttämättä kosketa toisiinsa, vaan jännite lyö ionisoituneen ilman läpi ja johtimien välille syttyy valokaari, mitä pitkin virta kulkee. Valokaaren kautta purkautuva energia aiheuttaa suurta tuhoa sähkölaitteistoon ja vaaraa ihmisille, ellei sitä katkaista nopeasti. Valokaaren lämpötila voi olla jopa 20 000 °C ja se sulattaa kaapelit ja kojeistot, aiheuttaa paineiskun, tuottaa kirkkaan valon sekä myrkyllisiä palokaasuja. Tuhovoimaan vaikuttavat valokaaren pituus, jännite, oikosulkuvirta ja palamisaika. Merkittävimmät niistä ovat palamisaika ja virran suuruus. Huomioitavaa on, että valokaarioikosulussa oikosulkuvirta voi joissakin tapauksissa olla alle puolet prospektiivisestä vikavirrasta, mikä voi vaikuttaa sulakkeiden, suojaareiden ja katkaisijoiden toiminta-aikoihin.

For low voltage systems (<1 kV), the arc current is given by equation (3.1).

$$I_a = 10^{\{K+0.662 \log(I_{bf}) + 0.0966V + 0.000526G + 0.5588V * \log(I_{bf}) - 0.00304G * \log(I_{bf})\}}$$

... (3.1)

where

log is the \log_{10}

I_a = arcing current (kA)

K = -0.153; open configuration

= -0.097; box configuration

I_{bf} = bolted fault current for three-phase faults (symmetrical RMS) (kA)

V = system voltage (kV)

G = gap between conductors, (mm)

For medium voltage systems (>1 kV), the arc current is given by equation

$$I_a = 10^{\{0.00402 + 0.983 \log(I_{bf})\}}$$

TIETOA VALOKAARISUOJAUSMENETELMISTÄ

valoon tai paineeseen perustuvat suojausjärjestelmät (valokaarisuojareleet) toimivat niin, että valo/painehavainnosta sekä ylivirtahavainnosta rele laukaisee vikaa syöttävän piirin katkaisijan auki. Toiminta-aika on valoon perustuvilla järjestelmillä jopa alle 1 ms ja painehavaintoon 5-8 ms. Valokaaren katkaisuaika muodostuu suojausajan toiminta-ajasta (1 - 20 ms) sekä katkaisijan toiminta-ajasta (n. 35 - 60 ms), ollen yhteensä n. 36 - 80 ms.

Oikosulkulaite oikosulkee kaikki vaiheet, jolloin valokaari sammuu, ja oikosulkuvirta katkaistaan ohjaamalla katkaisija auki. Oikosulkulaite perustuu valohavainnointiin, ja kokonaistoiminta-aika on 2-4 millisekuntia.

Valokaaren kestävä kojeisto (ARS) suojaa (mahdollisesti) käyttäjää, mutta ei laitteistoa sen sisällä.

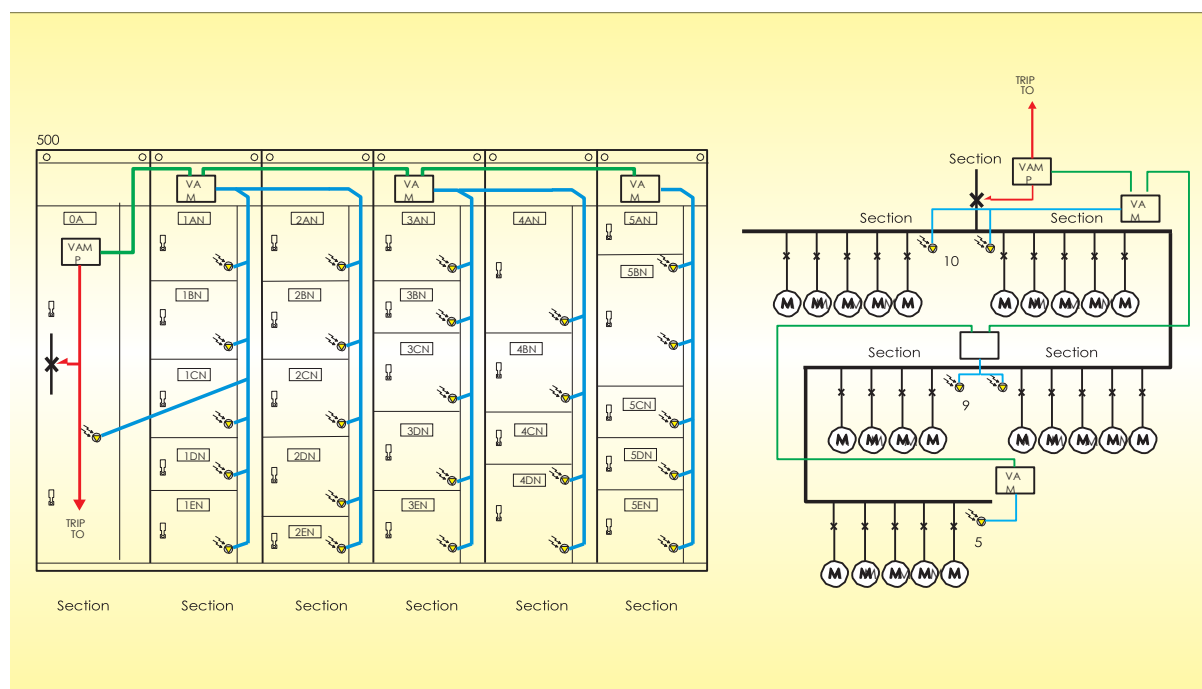
Oikosulkuvirtaa rajoittavat sulakkeet leikkaavat suurimman virtapiikin, mutta vain rajoitetulla alueella.

Kehittynyt lukitussuojaus (ZSI) on normaaliin ylivirtasuojaukseen lisätty järjestelmä, millä ohitetaan älykkäästi selektiivisyyshidastuksia.

Differentiaalisuojaus valvoo virtoja tietyllä välillä, ja erosuureesta tekee katkaisijalaukaisun. Toiminta-aika n. 10-20 ms (+ katkaisija 20 – 60 ms).

Tässä työssä tutustutaan yhden valmistajan valoon perustuvaan järjestelmään. Samantapaisia järjestelmiä löytyy maailmalta noin kymmeneltä yritykseltä, mm. ABB ja Arcteq.

Esimerkki järjestelmän asentamisesta



Esitehtävät

Arc protection time

1) Valokaarioikosulkutuhot ovat ajasta ja virrasta riippuvaisia. Missä vaiheessa suunnilleen alkavat seuraavat vauriot? Merkitse janalle aika ja tapahtuma.

- kaapelipalo
- kuparipalo
- rautapalo

_____ t (ms)

2) Missä ajassa valokaarisuojarele kykenee katkaisemaan valokaaren? Mistä kokonaisaika muodostuu?

3) IEEE1584 – standardi tarkastelee valokaarioikosulkuja henkilösuojauksen näkökulmasta ja siinä on määritelty menetelmät valokaarivirran- ja energian laskemiseksi. NFPA 70E:ssä on kategoriat energian suuruudesta ja suojautumisesta sen mukaisesti. Käy osoitteessa <http://www.arcadvisor.com/arcflash/ieee1584.html> tutustumassa laskentaan, ja laske online-laskurilla 10 kV:n kojeiston 100C (maasta erotettu) ja 400 V:n sähkökeskusten 100F, 200F ja 500F (maadoitettu) valokaarioikosulkuvirrat 500 ms:n ja 60 ms:n poiskytkentäajalla. Tutki valokaaren vaikutusta eri jännitteillä, virroilla ja poiskytkentäajoilla ja tarkastele niiden vaikutusta työntekijään kohdistuvaan energian määrään ja turvallisuustasoon.

4)

	U (kV)	I_k (kA)	I_{arc} (kA)	$I_{arc85\%}$ (kA)	Hazard Level (500 ms)	Hazard Level (60 ms)
100C	10	10				
100F	0,4	10				
200F	0,4	30				
500F	0,4	45				

5) Suunnittele/hahmottele harjoitustyön kaavioon valokaarisuojajärjestelmä (katso esim. VAMP,Arcteq...)

Yleissuunnittelu

- Valvonta-alueiden määrittely
- Laukaistavien katkaisijoiden määrittely
- Valopisteantureiden sijoittelun ja määrien suunnittelu
- Valokuituantureiden sijoittelun ja määrien suunnittelu
- Virtamuuntajien sijoitus
- Keskusyksikön ja tarvittavien I/O-yksiköiden valinta

VALOKAARISUOJAUS – työhohje

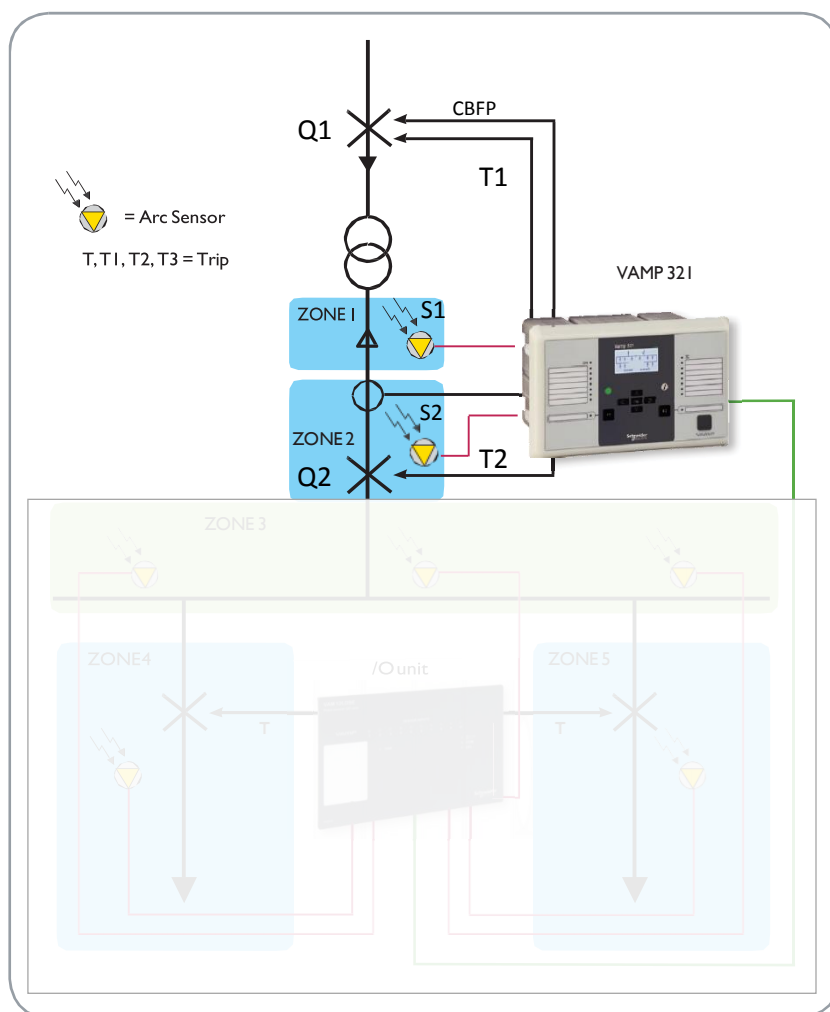
Työn kulku:

- Tehtävääntoon tutustuminen
- KytKentöjen tekeminen
- VAMPSET-ohjelmaan tutustuminen
- Järjestelmän konfigurointi
- Käyttöönottotestit ja pöytäkirjan täyttö
- Esitehtävien, tiedoston ja pöytäkirjan palautus

Työ voidaan tehdä pääasiassa tämän ohjeen avulla. Apuna voi käyttää ohjekansiota ja opettajan konsultaatiota.

Työssä suunnitellaan esimerkkitapauksena muuntajakaapelipäätteen ja katkaisijan valvonta pisteantureilla kuvan mukaisesti.

Muuntajan toisipuoli on maadoitettu pienjänniteverkko. Nimellisvirta on 10 A.



Järjestelmän toimintakuvaus

1. Kaapelipäätteen valvonta:

Valoanturi S1 valvoo muuntajakaapelipäätetilaa. Tila on ennen virtamuuntajia, joten laukaisu täytyy tehdä pelkällä valohavainnolla. Anturin S1 aktivoituessa järjestelmä antaa avauskäskyn katkaisijalle Q1 laukaisulähdöllä T1, tekee hälytyksen releellä A1 ja sytyttää paneeliin punaisen ledin palamaan. Laukaisu ja hälytys kuitataan näyttöpaneelista.

2. Katkaisijan valvonta:

Kun ylivirtahälytys ja valoanturi S2 aktivoituvat, laukaisee järjestelmä katkaisijan Q2, antaa relehälytyksen A1 ja sytyttää punaisen ledin. Laukaisu ja hälytys kuitataan näyttöpaneelista. Jos hälytysehto ei ole poistunut 150 ms:n kuluessa eli katkaisija Q2 ei ole toiminut, laukaisee järjestelmä Q1:n (katkaisijavikasuojaus CBFP). CBFP:n toimittua syttyy toinen punainen led paneelissa, mikä voidaan kuitata vain ulkoisella kytkimellä SW3. Laukaisu ja hälytys kuitataan näyttöpaneelista.

Hälytysvyöhyke	S1	S2	I>	Lähtö	A1	LED	Kuittaus
Stage 1	x			T1	x	pun 1	paneeli
Stage 2		x	x	T2	x	pun 2	paneeli
Stage 3 Viivästys150ms		x	x	T1	x	pun 1,2,3	SW3 + paneeli

Laitteisto

- VAMP 321 keskusyksikkö kotelossa. Kotelon etupuolella käyttöpaneeli ja liittynät banaanikoskettimilla; valoanturit 2 kpl, virta- ja jännitemuuntajat 5 kpl, laukaisulähdöt 4 kpl, hälytyslähdöt 2 kpl, BI 2 kpl, BO 2 kpl, DI 4 kpl, virtalähde +24 VDC, Hälytyslähdöt A1 ja F1
- VAMPSET asettelu- ja konfigurointiohjelmisto tietokoneella
- Kansio, missä asennus- ja käyttöohjeet ohjelmasta ja järjestelmästä.
- Kompaktikatkaisija 1 kpl
- yksivaiheinen 0-1 kytkin 3 kpl
- liukuvastus 33 Ω 3 kpl
- Virtamuuntaja 10/1 1 kpl
- Yleismittari 3 kpl

Valokaarisuojausjärjestelmä VAMP 321

Järjestelmä muodostuu modulaarisesta [VAMP 321](#) valokaarisuojausyksiköstä (releestä), valoantureista, virtamuuntajista ja mahdollisista laajennusyksiköistä. Keskusyksikössä on etupuolella käyttöpaneeli (HMI) ja takana vaihdettavat liittytäkortit. Yksikkö voidaan konfiguroida käyttöpaneelista tai VAMPSET-ohjelmistolla tietokoneelta.

Tuotetiedot

- 3-vaihevirta-, nollijännite- ja maasulkuvirtaliitännät
- Tapahtumarekisterit, häiriötallenteet ja reaaliaikainen kello
- Virtaan ja valoon tai pelkästään valoon perustuva toiminta
- Selkeä ja informatiivinen näyttö
- Neljä sulkeutuvaa laukaisukosketinta
- Yksi sulkeutuva ja yksi avautuva hälytyskosketin
- Toiminta-aika 7 ms (lähtörele mukaan lukien)
- Ohjelmoitavat toimintavyöhykkeet
- Jatkuva itsevalvonta

VAMPSET

VAMPSET on maksuton hallintaohjelmisto VAMP-releiden asetteluun, parametrisointiin ja konfigurointiin. VAMPSET-ohjelmiston parametrien avulla releen konfigurointi- ja tallennetietoa voidaan siirtää käyttäjän PC:n ja VAMP-releiden välillä. Häiriötallenteen COMTRADE-tiedostomuotoa tukeva VAMPSET sisältää myös esimerkiksi verkon vikatilanteisiin liittyvien reletapahtumien, aaltomuotojen ja tehollisarvojen analysoinnissa tarvittavat työkalut.

Tehtävä 1.

Valmistelut

Tee kytkentäkaavion mukaiset kytkennät (LIITE 1):

- virtajohto kotelon taakse
- valoanturit S1 ja S2
- virtamuuntaja ja säätövastukset
- virtamittarit ensiö- ja toisiopiiriin (HUOM. normaalisti ei koskaan virtamuuntajapiiriin ylimääräisiä mittareita!)
- ulkoiset kytkin- ja katkaisijakotelot
- USB-kaapeli tietokoneesta VAM 321:seen

Pyydä opettajaa tarkistamaan kytkennät. Luvan saatua kytke sähköt päälle.

Tehtävä 2.

Yhteyden muodostaminen

Käynnistä tietokoneelta VAMPSET-ohjelma pikakuvakkeesta



Muodosta yhteys tietokoneen ja VAMP321:n välille:

Kommunikointi → Muodosta yhteys

Anna salasana 002 ja paina *Avaa salasana*.

Laita merkki kohtaan *Salli uudelleenkäynnistys* ja paina OK.

Laitte hakee kaikki järjestelmän tiedot sekä yksikköön tallennetut asetukset ja parametrit. Lähtötilanne on yleensä järkevää tallentaa, mutta nyt sitä ei tarvitse tehdä.

Tutustuminen ohjelmaan

Tutustu ohjelmaan selaamalla asetusryhmiä ja tutki, mitä vaihtoehtoja sieltä löytyy. Katso mm. ARC PROTECTION, EVENT BUFFER ja DIAGNOSIS. Mitä tietoja näistä löytyy?

Pääikkuna

Ylhäällä on Valikkopalkki ja Työkalupalkki. Näistä löytyvät valinnat ohjelman käsittelyyn, mm. kommunikointiin ja asetusten tekoon sekä pikakuvakkeita työkaluihin.

Ryhmälista

Vasemmassa reunassa on ikkuna, Ryhmälista. Siinä on listattuna käytössä olevat asetusparametri ryhmät. Listasta voidaan valita, mitä tietoja halutaan tarkastella ja muuttaa.

Ryhmänäkymä

Valitsemalla jokin asetusryhmä listalta, avautuu viereiseen ikkunaan Ryhmänäkymä. Tässä näkymässä tehdään kaikki laitekonfiguraatiot.

Konfigurointi ja asettelut

Tutustu VAMP321 User Manual-kansion lukuun kolme. Tee seuraavat toimenpiteet hyödyntäen ohjekansiota.

Järjestelmän asennus

Suorita järjestelmän asennus ohjelmallisesti:

ARC PROTECTION, Install arc sensors & I/O units →install

Nyt kaikki järjestelmään liitetyt osat voidaan nähdä ARC PROTECTION- ryhmänäkymässä.

Laitteen nimeäminen

Laitteelle voi antaa yksilöintitiedot DEVICE INFO-ryhmästä. Anna laitteelle nimi.

Skaalaus (SKALING)

Anna virtamuuntajan ensiö- ja toisiovirta sekä tarpeen mukaan maasulkuvirta ja jännitearvot. Lataa muutokset releeseen. Aseta kerroin, mikä määrittää virtahälytyksen laukaisurajan. Nyt ohjelma skaalaa kaikki virtatiedot järjestelmässä näiden perusteella. Mm. skaalatun hälytysrajavirran voi nähdä ARC PROTECTION-ryhmänäkymässä.

Esim.

Virtamuuntaja:

10/1

Hälytysraja $I_{arc} \geq 0,5 (x I_n)$

Matriisien täyttö (ARC PROTECTION)

Matriiseilla määritellään, miten järjestelmän halutaan toimivan. Niissä luodaan ohjelmallisesti yhteydet tulojen ja lähtöjen välille vyöhykkeiden (stage) avulla ja asetetaan kriteerit toiminnoille.

Tee virta-, valo- ja lähtömatriiseissa toimintakuvauksen mukaiset valinnat. Poista tarvittaessa vanhat ylimääräiset yhteydet matriiseista.

Valitse ensin virtatulo ja valoanturit vyöhykkeille (stage 1, 2, 3,...), sitten lähtömatriisista vyöhykkeiden linkitykset relelähtöihin. Erikoisnopean valokaarisuojauksen linkitykset tulee tehdä nimenomaan näissä matriiseissa. Käytetyt vyöhykkeet tulee vahvistaa ARC PROTECTION-ryhmänäkymässä, missä voi asettaa myös aikahidastuksen (150 ms) katkaisijavikasuojausta varten (CBFP). Poista vyöhykkeiden tapahtumahälytykset.

Toimintojen valinta

Vahvista käyttöön otettavat toiminnot ARC EVENT ENABLING- matriisissa.

Lukitukset

Aseta lähdöt jäämään päälle, kun ne aktivoituvat. Aseta punaisille ledeille lukitus.

Nopean valokaarisuojauksen lukitukset tulee tehdä ARC MATRIX-OUTPUT-matriisissa. Muut lukitukset tehdään OUTPUT MATRIX-näkymässä, tai tekemällä ehto-kaavio Logic- ryhmässä. Ledien lukitusvalinta tehdään LED MATRIX-näkymässä, Led's Mode.

Hälytysten kuittaus

Kuittausmääritykset tehdään RELEASE OUTPUT MATRIX LATCHES-ryhmässä. Myös FUNCTION BUTTONS-ryhmässä voidaan määrittellä F1 tai F2 tekemään kuittaus.

Lukitukset kuitataan käyttöpaneelista seuraavasti:

Paina **OK, nuoli oikealle, nuoli alas (release), OK.**

Digitaalitulot

Käytä tuloja seuraavasti:

DI1 = SW1 Kytkin SW1 vaihtaa Q1:n tilaa näytöllä

DI2 = SW2 Kytkin SW2 vaihtaa Q2:n tilaa näytöllä

DI3 = SW3 Kytkimellä SW3 kuitataan CBFP:n syyttämä merkki-led.

Näytön ohjelmointi käydään läpi myöhemmin kohdassa MIMIikka.

BI/BO

Tässä harjoituksessa ei käytetä näitä. Näitä voidaan käyttää esim. valokaarisuojaustietojen vaihtoon muiden järjestelmien kanssa.

Logic-kaavio

Tee LOGIC-ryhmässä piiri, missä CBFP:n aktivoituessa sitä ilmaiseva led lukkiutuu palamaan, kunnes se kuitataan kytkimellä SW3.

Käytä RS-kiikkua. Led-matriisissa voi käyttää kiikun lähtöä Output 1.

LED-indikointi

Käy nimeämässä ledit LED NAMES-ryhmäikkunassa.

Tee LED-matriisissa valinnat, jotta näyttöpaneelin ledit saadaan indikoimaan hälytyksiä ja tapahtumia.

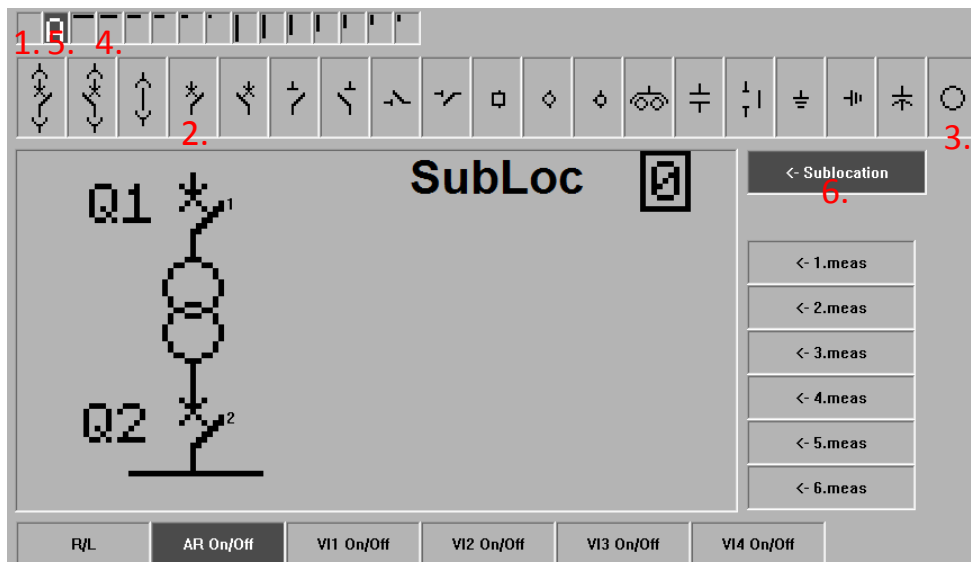
Käytä vihreitä ledejä DI-tietoja varten ja hälytysvyöhykkeille punaisia.

Releiden, tulojen, lähtöjen nimeäminen

Releet, tulot ja lähdöt voi käydä nimeämässä omissa ryhmäikkunoissaan, jos haluaa.

Mimiikka

Tee mimiikkaeditorilla kytkentää kuvaava näyttökuva, mikä näkyy HMI:ssa.



1. Poistotyökalu
2. Katkaisija
3. Muuntajarengas
4. Kojeistokenttä
5. Teksti
6. Sijaintitieto

Näyttöikkunan määrittely

LOCALPANEL CONF-ryhmässä voidaan konfiguroida paikallisnäyttöä.

Hyväksy valinta *Enable Alarmscreen*.

Häiriötallennin

Tee DISTURBANSE RECORDER-ryhmässä konfiguraatio, joka tallentaa tapahtumat 4 s. ajan 1/20ms:n taajuudella ja aloittaa nauhoittamisen 50 % ennen tapahtumaa.

Tehtävä 4.

Testaukset

TARKISTA:

- kytkennät on tehty
- kytkimet asetettu oikein
- konfigurointi ja asetukset ladattu laitteeseen
- oikeat ledit palavat
- mimiikan kuva oikea, normaali tilannekuva päällä

Testaukset

Suorita järjestelmän testaukset ja täytä tarkastuspöytäkirja. Testaa valoanturit, virranmittaus, laukaisut, hälytykset, merkkiledit ja mimiikka. Katso häiriötallentimesta tapahtumat.

Ohjekansiosta löytyy tarvittaessa valmistajan oma testausohjekirja.

valoanturit

Valoanturit testataan voimakkaalla taskulampulla.

Virtavalvonta

Virtavalvonnan koestus suoritetaan syöttämällä ensiöön virtaa. Muutetaan SKALING-näkymässä $I_{prim} = 10 \text{ A}$, $I_{sec} = 1 \text{ A}$ ja $I_{arc} > = 0,5$. Kytetään virtamuuntajan ensiöpuoli 5 A. Näillä asetuksilla saadaan ensiön ylivirraksi ____ A, jolloin toisiossa on ____ A.

VAMPSETillä voidaan releeseen syöttää virtuaalivirtaa, mutta virtahälytystä sillä ei voi koestaa.

Lähdöt

Lähtöjen toiminta voidaan todeta yleismittarilla tai katkaisijan laukaisulla.

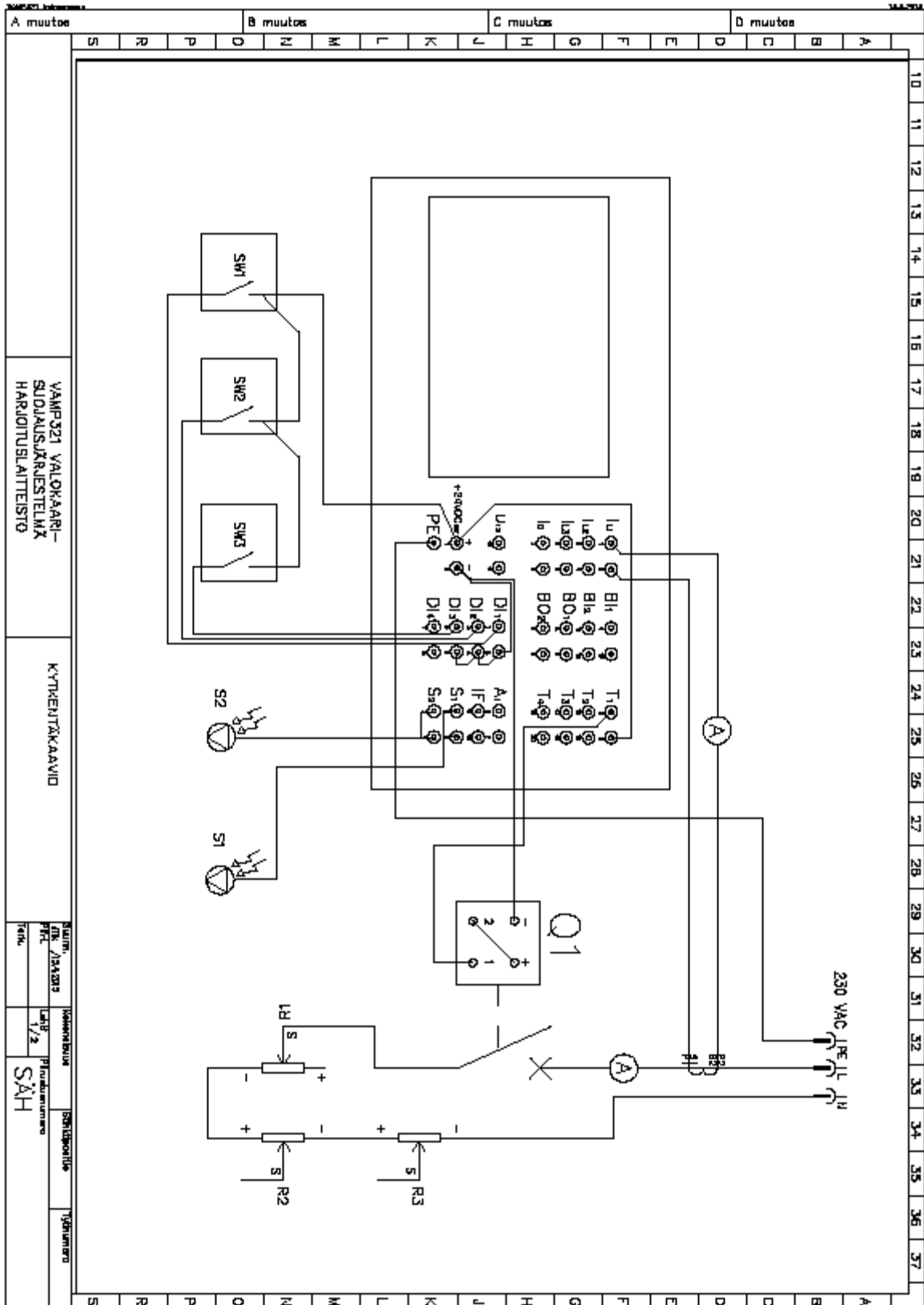
Itsevalvonta

Testaa itsevalvonta irrottamalla valoanturin johto ja tarkasta led sekä SF1.

TALLENNA LOPUKSI TIEDOSTO. PALAUTA TIEDOSTO, MITTAUSPÖYTÄKIRJA JA ESITEHTÄVÄT OPTIMAN PALAUTUSLAATIKKOON.

Liitteet

Liite 1. Kytentäkaavio



VAMPUSI VALOKAARI-
SÄDÄLÄISJÄRJESTELMÄ
HARJOITUSLAITTEISTO

KYTTENTÄKAAVIO

KÄSIKIRJA
PFC /154319
Koko
1/2

SÄH

1981000106

Liite 2. Kotelo layout

