

Siemens SIPROTEC 7UT82 suojatun muuntajan oppimisympäristön käyttöönotto

Jere Lehtinen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkötekniikka

Tekijä(t) Lehtinen, Jere	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä toukokuu 2019
	Sivumäärä 54	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Siemens SIPROTEC 7UT82 suojatun muuntajan oppimisympäristön käyttöönotto		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Pasi Puttonen		
Toimeksiantaja(t) Sirpa Hukari		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoitus on laajentaa Jyväskylän ammattikorkeakoulun opetustarjontaa vastaamaan paremmin työelämässä kohdattavia haasteita. Ammattikorkeakoululla oli hyödyntämätön Siemens SIPROTEC 7UT82 differentiaalisuoja, jonka käytön ympärille tuli tehdä laboratoriotyö. Laboratoriotyön avulla oli tarkoitus tutustuttaa opiskelija differentiaalisuojan peruseräisiin. Työssä tavoitteena on tutustua yleisesti muuntajien suojauksiin ja laatia alusta loppuun laboratoriotyö koululta löytyvälle differentiaalisuojalle.</p> <p>Työssä käytettiin Jyväskylän ammattikorkeakoululta valmiiksi löytyviä laitteita. Aluksi laboratoriotyössä käytettävälle muuntajalle tuli muokata ammattikorkeakoululta löytyvästä relekaapista kuljetusta ja käyttöä helpottava kaappi. Suojalle tuli konfiguroida suojausohjelma Siemens DIGSI 5 -ohjelmalla. Lopuksi suunniteltiin työssä käytettävä mittauskytkentä. Työn edetessä suunniteltiin myös laboratoriotyön rakennetta, työohjetta sekä työhön liittyviä esitettäviä. Laboratoriotyö päätettiin jakaa ajankäytöllisistä syistä kahteen osaan, joista ensimmäisessä konfiguroidaan suoja DIGSI-ohjelmalla ja toisessa tehdään mittauskytkentä ja testataan suojan toimintaa käytännössä.</p> <p>Valmis työ on sellaisenaan käytettävissä opetustarkoitukseen. Työ tarjoaa opiskelijalle lähtökohdat ymmärtää suurempien muuntajien ja koneiden suojauksessa hyödynnettävän differentiaalisuojauksen peruseräitteitä sekä tutustuttaa opiskelijan suojan konfigurointiin. Työn lomassa Jyväskylän ammattikorkeakoululle valmistui myös muuntajakaappi, jonka avulla muuntajan hyödyntäminen laboratoriotoissa on huomattavasti aiempaa helpompaa. Entinen mittaliitinten liittäminen riviliittimille saatiin työn ansiosta korvattua banaaniliittimillä.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Differentiaalisuojaus, muuntaja, Siemens SIPROTEC 7UT82, laboratoriotyö		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Lehtinen, Jere	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 54	Permission for web publication: x
Title of publication Introduction of learning environment of Siemens SIPROTEC 7UT82 differential protected transformer		
Degree programme Bachelor's Degree Programme in Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Puttonen, Pasi		
Assigned by Hukari, Sirpa		
Abstract <p>The purpose of the thesis was to expand on the studies offered by JAMK Jyväskylä University of Applied Sciences to more accurately represent the challenges faced in a normal day to day work environment. In the thesis, a laboratory work was designed for an unused differential protection relay for Siemens SIPROTEC 7UT82 transformer. The goal of the laboratory assignment is to provide the basic principle of differential protection for a student whereas the objective of the thesis was to teach about transformer protection and for the students, the task was to conduct a laboratory assignment concerning differential protection relay from start to finish.</p> <p>All the equipment used in the thesis was already available at JAMK. In a beginning, the old relay cabinet was to be modified to a transformer cabinet that makes the use and moving of the transformer easier. In order for the differential protection relay to work as it should, it needs to be configured. The configuration for the differential protection relay was made with Siemens DIGSI configuration program. At the end of the working process, a measuring circuit had to be designed that will be used in the laboratory work. During the process, also the laboratory work structure, work guide and pre-assignments were planned. The laboratory work designed to be accomplished in two phases due to its time-consuming nature. In the first part, the student configures the differential relay and in the second part, the student creates a measuring circuit for the protection relay and transformer as well as tests how the relay works.</p> <p>The finished laboratory work can be used for education purposes as it is. The assignments provide basic knowledge of differential protection and make students understand how to configure a relay. During the working process, JAMK also obtained a transformer cabinet that makes using the transformer noticeably easier than it used to be.</p>		
Keywords/tags (subjects) Differential protection, transformer, Siemens SIPROTEC 7UT82, laboratory work		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

Lyhenteet	4
1 Johdanto	5
2 Muuntajat	6
2.1 Muuntajan toiminta	6
2.2 Tehomuuntajan käyttö.....	7
2.2.1 Suurtehomuuntaja.....	7
2.2.2 Jakelumuuntajat	8
2.3 Tehomuuntajissa syntyviä vikoja.....	10
3 Tehomuuntajan suojaus	12
3.1 Suojusratkaisut	12
3.2 Relesuojaus.....	13
3.3 Fyysinen suojaus.....	13
3.4 Differentiaalisuojan toiminta	18
3.5 Mittamuuntajat	20
4 Testilaitteisto	20
4.1 Käytettävä tehomuuntaja	20
4.2 Käytettävä differentiaalisuoja	22
4.3 DIGSI 5 -ohjelmisto.....	23
5 Käyttöönotto.....	24
5.1 Käyttöönoton vaiheet.....	24
5.2 Suojan konfigurointi	25
5.3 Käyttöönottotarkastus	31
6 Laboratoriotyön tekovaiheet	33
6.1 Asettelu arvojen skaalaus todellisiksi virroiksi.....	33

	2
6.2 Muuntajan ja suojan kytkennät sekä testaus.....	35
6.3 Laboratoriotyön suunnittelu	37
7 Pohdinta.....	38
Lähteet	41
Liitteet.....	43
Liite 1. Suojan konfigurointiohje	43
Liite 2. laboratoriotyöohje.....	51
Kuviot	
Kuvio 1 Muuntajan rautasydän.....	7
Kuvio 2 Suurtehomuuntaja	8
Kuvio 3 Paisuntasäiliöinen muuntaja	9
Kuvio 4 Kuivamuuntaja	10
Kuvio 5 Muuntajassa tapahtuvia vikoja	11
Kuvio 6 Kaasurele.....	14
Kuvio 7 Painerele	15
Kuvio 8 Ylipaineventtiili ja sen rakenne	15
Kuvio 9 Pintamittari	16
Kuvio 10 Muuntajan lämpömittarit	17
Kuvio 11 Termistorirele.....	18
Kuvio 12 Differentiaalisuojan toimintakäyrä sekä funktiot	19
Kuvio 13 Laboratoriotyössä käytettävä muuntaja.....	21
Kuvio 14 Siemens SIPROTEC 7UT82 differentiaalisuoja.....	22
Kuvio 15 Laboratoriotyössä käytettävä muuntajakärry työn alussa	24
Kuvio 16 Laboratoriotyössä käytettävä valmis muuntajakärry	25
Kuvio 17 Pirrosmerkit ja merkkikirjasto.....	26
Kuvio 18 DIGSI 5 -ohjelman suojarleen virtamittausten liittäminen	27
Kuvio 19 Ensiön määrityksen valikkonäkymä	28
Kuvio 20 Katkaisijan onnistuneesti määritetty asentonäkymä.....	28
Kuvio 21 Suojausfunktioiden määrittämisen valikkonäkymä	29

Kuvio 22 Suojan toimintakäyrä	30
Kuvio 23 Ensiön eristysvastuksen mittaus	32
Kuvio 24 Laboratoriotyön mittauskytkentä	35
Kuvio 25 Työssä käytetty kytkentäesimerkki	36
Kuvio 26 Vikaa simuloivan vastuksen sekä kuormaa simuloivien vastusten kytkennät	37

Lyhenteet

Φ_m = magneettivuo eli magnetismin määrää kuvaava suure SI-järjestelmässä

μ = häviöttömien muuntajien muuntosuhde

R = resistanssi (Ω)

S_n = muuntajan nimellinen näennäisteho (VA)

U_1 = muuntajan ensiön jännite (V)

U_2 = muuntajan toision jännite (V)

U_{1n} = muuntajan ensiön nimellisjännite (V)

U_{2n} = muuntajan toision nimellisjännite (V)

N_1 = muuntajan ensiökäämin kierrosluku

N_2 = muuntajan toisiokäämin kierrosluku

I_1 = muuntajan ensiökäämin virta (A)

I_2 = muuntajan toisiokäämin virta (S)

I_0 = tyhjäkäyntivirta (A)

I_b = differentiaalisuojan vakavointivirta (A)

I_{diff} = Differentiaalisuojan perusasettelu

I_{1DIGSI} = DIGSI-ohjelmasta saatava muuntajan ensiökäämin virta (A)

I_{2DIGSI} = DIGSI-ohjelmasta saatava muuntajan toisiokäämin virta (A)

$I_{N DIGSI}$ = DIGSI-ohjelmasta saatava muuntajan nimellinen nimellisvirta (A)

$I_{1N DIGSI}$ = DIGSI-ohjelmasta saatava virtamuuntajan ensiövirta (A)

I_{res} = virtamuuntajan ensiövirran ja ensiö- sekä toisionimellisvirran suhdeluku

I_{1tod} = laboratoriotyössä käytettävän ensiövirran todellinen suuruus (A)

I_{2tod} = laboratoriotyössä käytettävän toisiovirta todellinen suuruus (A)

1 Johdanto

Muuntajat ovat sähköverkon yksi kalleimmista sekä vaikeimmin korvattavista komponenteista. Isot yli 10 MVA muuntajat ovat yksittäisenä investointina suuria ja niiden toimitusajat ovat muita verkon komponentteja pidemmät, minkä vuoksi muuntajien vikasuojaus ja sen ymmärtäminen on sähköjakelussa ensisijaisen tärkeää.

Opinnäytetyön toimeksiannon tarkoituksena on laajentaa Jyväskylän ammattikorkeakoulun opetustarjontaa ja sitä kautta parantaa tulevien sähköinsinöörien valmiuksia työelämän asettamiin haasteisiin. Opinnäytetyössä tuli suunnitella ja toteuttaa Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelmaan differentiaalisuojauksista käsittelevä laboratoriotyö.

Opinnäytetyössä perehdyttiin kirja- sekä internetlähteiden avulla erilaisiin muuntajan suojakseen liittyviin ratkaisuihin työn pääpainon ollessa differentiaalisuojauksessa. Lähteinä opinnäytetyön tietopohjan luonnissa hyödynnettiin pitkälti kirjallisia julkaisuja, sillä muuntajien sekä niiden suojauksen osalta periaatteet ovat pysyneet samoina jo useita vuosia. Työn kohteena olleen differentiaalisuojauksen teoriapohja rakennettiin valmistajan tarjoamasta materiaalista.

Työn tavoitteena on luoda kehittämistutkimuksen keinoin laboratoriotyö, joka on sellaisenaan suora hyödynnettävissä opetustarkoitukseen. Työssä opiskelijan tulee voida tutustua differentiaalisuojauksen peruseriaatteeseen ja opinnäytetyössä laadittavien laboratoriotyöohjeiden perusteella toteuttaa itse suojan konfigurointi Siemens DIGSI 5 -ohjelmalla sekä tehdä laboratoriotyössä tarvittavat kytkennät.

Jyväskylän ammattikorkeakoulu, jolle opinnäytetyö tehtiin, on yksi Suomen 23 osakeyhtiömuotoisesta ammattikorkeakoulusta. Ammattikorkeakoulu tarjoaa koulutusta 8 eri alalta. Opetustarjonta kattaa 17 eri suomenkielistä päivätoteutuksella tapahtuvaa AMK-tutkintoa, 15 monimuotototeutuksella tapahtuvaa tutkintoa sekä 4 englanninkielistä tutkinto-ohjelmaa. Opiskelijoita Jyväskylän ammattikorkeakoululla on n. 8500 ja se työllistää n. 700 henkeä. (Jyväskylän ammattikorkeakoulu N.d; Ammattikorkeakoulut suomessa N.d.)

2 Muuntajat

Muuntaja on sähkökoje, joka aikanaan vakiinnutti vaihtosähkön sähkösiirron pääasialliseksi muodoksi. Muuntajia käytetään vaihtosähköverkossa jännitteen suuruuden tarpeen mukaiseen muuttamiseen. Samalla muuntajalla voidaan eristää kaksi eri jännitetasoilla olevaa sähköverkkoa toisistaan. Kolmivaiheiset tehomuuntajat ovat yksi tärkeimmistä sähkövoimajärjestelmän komponenteista, sillä ne mahdollistavat sähkön siirron pitkillekin matkoille pienillä häviöillä. (Aura & Tonteri 1996, 7, 38; Kiahmeh 2002, 28.1)

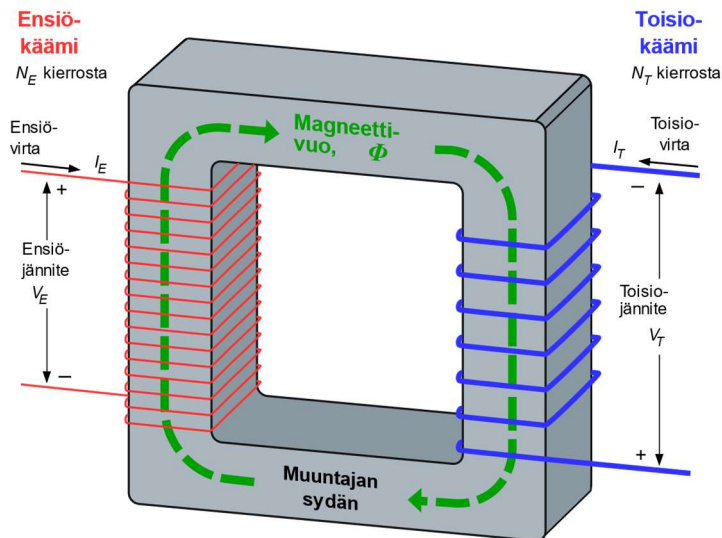
2.1 Muuntajan toiminta

Yksivaihemuuntajat ovat yleensä rakenteeltaan kaksikämmimuuntajia, joissa ensiö- ja toisiökäämit on sijoitettu samalle rautasydämelle. Ensiöksi kutsutaan käämiä, johon sähköteho tuodaan ja toisioksi käämiä, josta sähköteho otetaan kuormitukseen. Käämien välillä teho S siirtyy vaihtomagneettivuon Φ_m välityksellä, siten että ensiökäämin vaihtovirta indusoi rautasydämeen magneettivuon Φ_m , joka vuorostaan indusoi toisiökäämiin sen kierroslukua vastaavan jännitteen kuvion 1 mukaisesti. (Aura & Tonteri 1996, 8-9; Kiahmeh 2002, 28.11)

Häviöttömien muuntajien muuntosuhde μ määräytyy ensiö- ja toisiökäämin kierrosten lukumäärän suhteesta mukailien kaavalla 1:

$$\mu = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

missä U_1 on ensiökäämin jännite, U_2 toisiökäämin jännite, N_1 on ensiökäämin kierrosten lukumäärä, N_2 on toisiökäämin kierrosten lukumäärä, I_1 on ensiökäämin virran suuruus ja I_2 toisiökäämin virran suuruus. (Aura & Tonteri 1996, 10)



Kuvio 1 Muuntajan rautasydän (Transformer3d_col3_fi.svg. 2006)

2.2 Tehomuuntajan käyttö

Kytkemällä kolme yksivaihemuuntajaa esimerkiksi tähtikytkentään saadaan aikaiseksi sähkönsiirrossa käytössä olevia kolmivaiheisia tehomuuntajia. Tehomuuntajat voidaan yleisesti jakaa kahteen eri ryhmään, jakelu- eli pientehomuuntajiin sekä suurtehomuuntajiin. Pientehomuuntajista puhuttaessa tarkoitetaan muuntajia joidenka yläjännitepuolen nimellisjännite U_{1n} on suurempi kuin 20000 V ja alajännitepuolen nimellisjännite U_{2n} on 400 V, lisäksi pientehomuuntajien teho S_n ei saa ylittää arvoa 3150 kVA. Kaikki tätä suuremmat nimellisjännitteelliset sekä -tehoiset muuntajat luokitellaan suurtehomuuntajiksi. (Aura & Tonteri 1996, 38, 65)

2.2.1 Suurtehomuuntaja

Eristysteknisistä syistä voimalaitoksen generaattoreilta ei voida saada yli 30 kV:n jännitteitä ja tämän vuoksi tarvitaan suurtehomuuntajia. Suurtehomuuntajat mahdollistavat jännitetason noston sähkönsiirrolle edullisemmalle tasolle, jolloin siirrossa syntyvät häviöt pienenevät. Jännitteen kasvattaminen myös pienentää virtaa samassa suhteessa, jolloin siirtoverkossa voidaan käyttää pinta-alaltaan pienempiä johtimia. Suomessa sähkönsiirrossa käytettäviä jännitetasoja ovat 110 kV, 220kV sekä 400 kV. (Aura & Tonteri 1996, 7-8, 66; Kiahmeh 2002, 28.1)

Suurtehomuuntajat (kuvio 2) suunnitellaan aina tarkasti juuri tilaajan tarpeiden mukaisesti, minkä vuoksi muuntajien keskinäisissä rakenteissa voi olla suuriakin eroja. Suuresta vaihtelusta huolimatta suurtehomuuntajien perusrakenne pysyy samana kahden pääkomponentin osalta:

1. Ydin, joka on valmistettu korkean permeabiliteetin omaavasta, suuntaisrakenneisista piilevyistä
2. kela, joka on valmistettu ytimen ympärille kierretyistä kuparijohtimista. Kelan tehtävä on mahdollistaa sähkön syöttö ja ulostulo (Csanyi 2013)

Suurtehomuuntaja voidaan toteuttaa esimerkiksi radiaattorijäähdytteisenä kaksikämmimuuntajana, jossa muuntajan jäähdytys tapahtuu öljyn kiertäessä jäähdytysradiaattoreille joko luonnollisesti (ONAN) tai tuulettimilla tehostettuna (ONAF). (Aura & Tonteri 1996, 66; Tehomuuntajat 2000, 5)



Kuvio 2 Suurtehomuuntaja (cuencanalon instalaciones distribucion. 2010)

2.2.2 Jakelumuuntajat

Jakelumuuntajan tehtävä on laskea sähköverkosta tulevan jännitteen taso sellaiseksi, että sitä voidaan hyödyntää kotitalouksissa sekä teollisuudessa. Ennen jakelumuuntajaa siirtoverkon jännitettä lasketaan välimuuntajan avulla esimerkiksi 110 kV:sta 6

kV:iin. Jakelumuuntajalla jännite lasketaan jakeluverkon vaatimalle tasolle, jollaisena sähkö menee kotitalouksiin. (Kiahmeh 2002, 29.1; Aura & Tonteri 1996, 8)

Rakenteeltaan jakelumuuntajat voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: paisuntasäiliöiset jakelumuuntajat, hermeettisesti suljetut (kaasutiiviisti suljetut) jakelumuuntajat sekä valuhartsieristeiset jakelumuuntajat. Näistä kahdessa ensimmäisessä muuntajatyypissä eristys- ja jäähdytysaineena toimii öljy, jonka vanhentumista hidastaa siihen lisätty inhibiitti. Valuhartsieristeiset muuntajat ovat kuivamuuntajia. (Aura & Tonteri 1996, 66; Korpinen N.d.a)

Yleisin jakelumuuntaja tyypeistä on paisuntasäiliöinen jakelumuuntaja (kuvio 3). Hermeettisesti eristetyistä jakelumuuntajissa ei ole paisuntasäiliötä, vaan ne ovat täynnä öljyä ja hermeettisesti tiiviitä. Hermeettiset muuntajat ovat rakenteeltaan elastisia, mikä mahdollistaa niiden mukautumisen käytönaikaisiin tilavuuden muutoksiin. Hermeettisesti eristetyt muuntajat ovat korkeudeltaan paisuntasäiliöllisiä matalampia, mikä mahdollistaa niiden asentamisen pienempiin tiloihin. (Korpinen N.d.a; Aura & Tonteri 1996, 69)



Kuvio 3 Paisuntasäiliöinen muuntaja (Power_transformer_decontaminated_in_France.jpg. 2014)

Valuhartsieristeisiä eli kuivamuuntajia käytetään tiloissa, joissa öljyeristeisten jakelumuuntajien käyttö on kiellettyä tai vaatii kalliita erityistoimenpiteitä. Tällaisia tiloja ovat muun muassa sairaalat, kerrostalot ja teatterit sekä maanalaiset rautatiet ja kaivokset. (Aura & Tonteri 1996, 70)



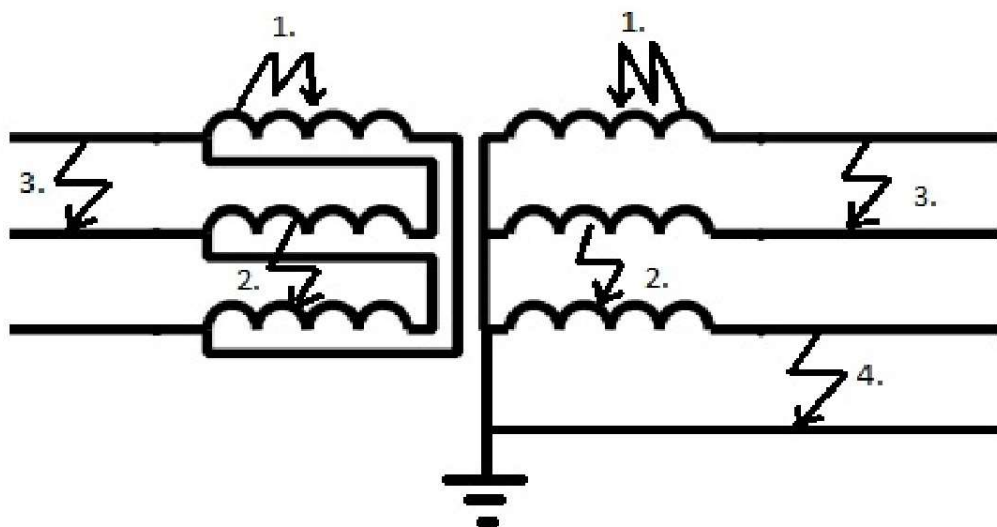
Kuvio 4 Kuivamuuntaja (dry-type-transformer-17014776148.html. N.d.)

2.3 Tehomuuntajissa syntyviä vikoja

Yleisimpiä muuntajien hajoamiseen johtavia syitä ovat pitkäaikaisen yllämmön takia tapahtuva eristysten vanheneminen, ominaisuutensa likaantumisen vuoksi menettänyt öljy, eristyksissä tapahtuvat osittaispurkaukset, verkon ilmastolliset ja kytkentä ylijännitteet sekä ulkoisisten vikojen käämeille aiheuttamista oikosuluista seuraavat voimavaikutukset. (Mörsky 1992, 189)

Muuntajaviat ovat verrattain harvinaisia, sillä niitä tapahtuu hyvin harvoin, alle yksi 100 muuntajavuotta kohti. Vikaantuessaan muuntaja kuitenkin vaurioituu pahoin, ja sen seurauksena edessä on pitkä ja kallis korjaus tai jopa muuntajan uusiminen. Tämän vuoksi muuntajien huolellinen suojaus ja valvonta on tärkeää. (Mörsky 1992, 189)

Yleisimmin muuntajavaurioita aiheuttaneet viat ovat tapahtuneet muuntajan käämityksessä. Käämityksessä tapahtuneista vioista yleisimpiä ovat kierrossulut eli muuntajan ensiön tai toision käämin sisäinen oikosulku. Muita yleisiä vikoja ovat käämisulku eli oikosulku ensiön tai toision käämien välillä, kaksivaiheinen oikosulku eli kahden vaiheen välinen oikosulku sekä maasulku eli maan ja vaiheen välillä tapahtuva oikosulku (Leino N.d., 2; Korpinen N.d.b)



Kuvio 5 Muuntajassa tapahtuvia vikoja

1. ensiö- tai toisiokäämin kierrossulku
2. ensiö- tai toisiokäämin käämisulku
3. kaksivaiheinen oikosulku
4. maasulku

3 Tehomuuntajan suojaus

3.1 Suojusratkaisut

Sähköverkoissa tapahtuvien mahdollisten vikatilanteiden, kuten oikosulkujen, maasulkujen, ylikuormituksen, ylijännitteen, alijännitteen ja johdinkatkosten, varalta muuntajien suojaus ja valvonta tulee toteuttaa huolellisesti. Muuntajan suojaukseen tarkoitettu laitteisto voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: laitteisiin, jotka valvovat muuntajan sähköisiä suureita, sekä laitteisiin, jotka valvovat muuntajan fyysisiä ominaisuuksia. (mörsky 1992, 15; Csanyi 2015; Rockefeller & Horak 2007)

Muuntajasuojausta suunniteltaessa on otettava huomioon mahdollinen kantaverkon takasyöttö. Takasyöttö on tilanne, jossa muuntajan kautta jäädyään syöttämään kantaverkossa olevaa vikaa. Tällainen tilanne on mahdollinen, jos muuntajan alajännitepuolen verkkoon liittyy voimalaitoksia tai jos muuntajat ovat kytkettyinä alajännitepuolelta renkaaseen. Takasyötön estävä releistys asennetaan useimmiten muuntajien katkaisinkenttiin. (mörsky 1992, 189-190)

Muuntajien suojaus voidaan luokitella seuraavasti:

- ylivirtasuojaus (suojaa sisä- ja ulkopuolisilta oikosuluilta)
- maasulkusuojaus (suojaa sisäisiltä maasuluilta)
- käämi- ja kierrossulkusuojaus (suojaa sisäisiltä oikosuluilta)
- ylikuormitussuojaus (suojaa ylikuormitukselta)
- ylijännitesuojaus (suojaa käyttötaajuiselta ylijännitteeltä)
- kaasusuojaus (sisäinen kaasuneritys)
- käämikytkinsuojaus (suojaa käämikytkin vioilta).

Oikeaoppisella muuntajasuojauksella saadaan suojattua muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta myös suojauksessa käytettävien virtamuuntajien rajoittamat ensiö- ja toisiopuolen laitteet. (mörsky 1992, 189-190)

3.2 Relesuojaus

Sähköverkossa tapahtuvia sähköisiä vikoja varten muuntajat tulee suojata erilaisin relein. Releiden tarkoitus on valvoa verkon tilaa ja suorittaa erilaisia kytkentöjä automaattisesti tilanteen niin vaatiessa.

Relesuojaukselta edellytetään seuraavia asioita:

- Suojauksen tulee olla selektiivinen, jotta vian sattuessa verkosta pois jäävä osa olisi mahdollisimman pieni
- Releen tulee reagoida mahdollisimman nopeasti ja herkästi, jotta vikatilanteesta johtuvat vaarat, häiriöt, vauriot ja haitat jäävät mahdollisimman pieniksi. Verkon tulee myös pysyä stabiilina kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen on katettava aukottomasti koko suojattava järjestelmä.
- Suojaukselta edellytetään hyvää käytettävyyttä.
- Koestuksen tulee olla mahdollista käyttöpaikalla.
- Suojauksen tulee olla hankintakustannuksiltaan tarkoitukseen suhteutettuna kohtuullinen

Suojareleet katkaisijoiheen muodostavat eri kokoisia suoja-alueita. Suojauksesta ensisijaisen tärkeää on sen aukottomuus. Aukoton suojaus voidaan saavuttaa silloin, kun kaksi eri suoja-aluetta osaltaan peittävät toisensa. Toinen suojauksessa tärkeä asia on suojauksen selektiivisyys eli se, että suoja havaitsee omalla suojausalueellaan tapahtuvat viat. Absoluuttinen selektiivisyys saavutetaan, kun suojaus toimii ainoastaan sille määritetyllä suoja-alueella. (mörsky 1992, 15-16)

3.3 Fyysinen suojaus

Teknisten suureiden lisäksi myös muuntajien fyysisten ominaisuuksien tarkkailu on olennaista muuntajan toiminnan ja kunnon kannalta. Öljymuuntajien fyysisiä ominaisuuksia valvovina laitteina käytetään muun muassa kaasureleitä, painereleitä, ylipaine venttiileitä, öljyn pintamittareita ja käämilämpömittareita. Nämä laitteet löytyvät usein muuntajassa jo valmiina sen saapuessa loppukäyttäjälle. (Csanyi 2015)

Kaasurele

Kaasurele on toiminnaltaan mekaaninen ja sen tarkoitus on havaita mahdolliset muuntajassa tapahtuvat sähköiset viat. Kaasurele sijaitsee muuntajan päätankin sekä öljysäiliön välisessä putkistossa. Normaalitilanteessa kaasureleen kaksi elohopea kytkintä ovat auki ja täynnä öljyä. Vikatilanteessa releeseen alkaa kerääntyä kaasua, joka syrjäyttää tieltään öljyä. Öljyn pinnan laskettua tarpeeksi, sulkee toinen kytkimistä hälytyspiirin. Kun öljyn pinta laskee liian alas, toinen kytkimistä antaa suojarielelle signaalin, jonka perusteella muuntajan syöttökatkaisija laukeaa. (Csanyi 2015)



Kuvio 6 Kaasurele (4-power-transformer-protection-devices-explained-in-details. 2015)

Painerele

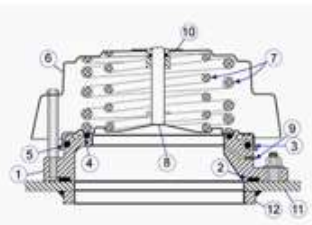
Muuntajaan asennettavan painereleen tehtävä on havaita muuntajan öljynpaineen yllättävät nousut. Rakenteeltaan painerele on hyvin yksinkertainen. Painereleeseen kuuluu mäntä, jousi ja kytkinkontaktori. Paineen noustessa liian korkeaksi männän jouselle aiheuttama voima kasvaa jousen vastavoimaan suuremmaksi ja mäntä liikkuu koskettaen kytkinkontaktoreja. (Csanyi 2015)



Kuvio 7 Painerele (4-power-transformer-protection-devices-explained-in-details. 2015)

Ylipaineventtiili

Ylipaineventtiili vapauttaa muuntajaan kertyneen paineen, suojaten sitä vian aiheuttamalta paineen nousulta. Paineen noustessa liian korkeaksi venttiili vapauttaa ylipaineen samalla lähettämien tiedon laukeamisesta. Yksinkertaisimmillaan ylipaineventtiili voidaan toteuttaa ylipainelevyn avulla. Paineen noustessa liian korkeaksi levy pirstoutuu vapauttaen paineen. Ylipaineventtiilin avulla muuntajassa oleva paine saadaan pidettyä harmittomalla tasolla. (Csanyi 2015)

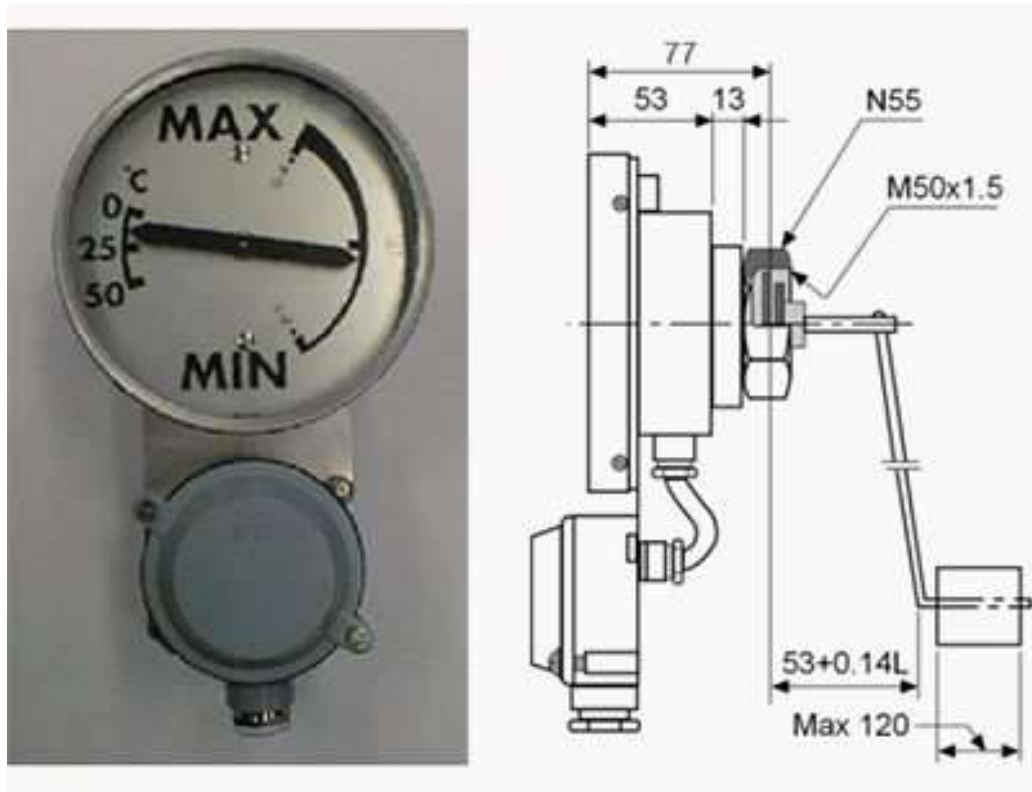


- | | |
|-----|-------------|
| 1. | Runko |
| 2. | tiiviste |
| 3. | kiekko |
| 4. | Tiiviste |
| 5. | tiiviste |
| 6. | kansi |
| 7. | jousi |
| 8. | mittari |
| 9. | vuotoruuvi |
| 10. | tyyppikilpi |
| 11. | muuntaja- |
| 12. | suoja- |
| | huulios |

Kuvio 8 Ylipaineventtiili ja sen rakenne (4-power-transformer-protection-devices-explained-in-details. 2015)

Pintamittari

Vikojen ennaltaehkäisyn kannalta tankin öljyn korkeuden tarkkailu muuntajissa on myös tarpeen. Tätä varten muuntajien paisuntasäiliöihin asennetaan öljyn pintamittareita, joiden avulla pinnankorkeuden tarkkailu on mahdollista. Öljyn pintamittareissa on kaksi hälytysaluetta, minimi ja maksimi. (Csanyi 2015)



Kuvio 9 Pintamittari (4-power-transformer-protection-devices-explained-in-details. 2015)

Lämpömittari

Käämilämpömittarilla seurataan sekä öljynpinnan että käämien lämpötilaa eli ns. hot-spot lämpötilaa. Käämin lämpötilan mittaus on vaikea toteuttaa suoraan käämistä mittaamalla, joten sitä varten on kehitetty erillinen koje, jonka avulla lämpötilan tarkkailu on mahdollista. Kojeen lämpövastus on sijoitettuna muuntajan kuumimmassa öljytilassa ja sitä syötetään virralla, joka saadaan käämin kuormitusjohtimeen liitetyistä virtamuuntajasta. Tällöin lämpövastuksen virta on riippuvainen käämin kuormituksesta, jonka avulla on mahdollista määrittää myös sen lämpötilapoikkeama. Öljyn pintalämpötilan ja hot-spot lämpötilan ero tulee olla sama kuin vastuksen ja öljyn lämpötilaero. (Aura & Tonteri 1996, 75; Csanyi 2015)



Kuvio 10 Muuntajan lämpömittarit (4-power-transformer-protection-devices-explained-in-details. 2015)

Termistorisuojaus

Muuntajien ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa kunkin vaiheen alajännitekäämin yläpäähän asennetulla termistorilla. Termistorien avulla valvotaan muuntajien lämpötilaa. Yleensä käytössä on kaksi termistoriryhmää, joista toinen toimii hälytysrajalla (150°C) ja toinen laukaisurajalla (170°C). Molemmat termistoriryhmät ovat liitettynä omiin releisiin. (Aura & Tonteri 1996, 70)



Kuvio 11 Termistorirele (elektroniset-releet/mittaus-ja-valvontareleet/termistorireleet. N.d.)

3.4 Differentiaalisuojan toiminta

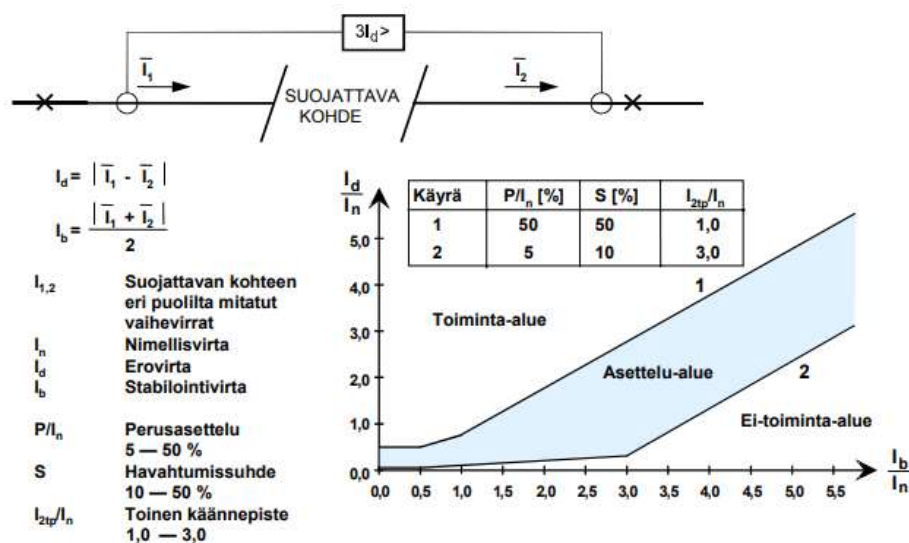
Käyttökohteiltaan differentiaalisuojaus on monipuolinen. Differentiaalisuojalla on mahdollista havaita muuntajassa tapahtuvat sisäiset oikosulut, maasulut, käämisulut sekä kierrossulut tehokkaasti. Se soveltuu kaikkien verkon osien eli muuntajien, kiskosten sekä johtojen suojaamiseen. Differentiaalisuojan tehtävä on verrata kohteeseen tulevien ja siitä lähtevien vaihevirtojen eroja. Jos suoja havaitsee näiden välillä joko amplitudin tai vaihekulman tai molempien suhteen ylittävän suojalle asetetun turvarajan, suoja laukeaa. (Oikosulkusuojaus 2000, 33; Halme 2016, 16)

Differentiaalisuojaus on mittausperiaatteensa vuoksi absoluuttisesti selektiivinen eli se toimii vain suojausalueensa sisällä tapahtuvissa vioissa. Suojausalueeksi määritetty

virranmittauspisteiden välinen alue. Suojausalueen rajallisuuden vuoksi differentiaalisuojausta ei voida hyödyntää varasuojauksena muille suojuille, mutta usein se tarvitsee itse varasuojan vikaantumisen seuraavan toimimattomuuden varalle. Varasuojauksena voidaan käyttää esimerkiksi vakioaikaylivirtarelettä. (Oikosulkusuojaus 2000, 33; Mörsky, 50)

Absoluuttisen selektiivisyyden ansiosta suoja on toimintanopeudeltaan erinomainen. Toinen mittaustavan tuoma etu on sillä saavutettava herkkyys: suoja pystyy havaitsemaan jopa muutaman prosentin nimellisvirrasta olevat vikavirrat. Toimintaherkkyys sekä -nopeus ovat aina riippuvaisia suojattavasta kohteesta, kohteelle valitusta reletyypistä sekä virtamuuntajien ominaisuuksista. (Oikosulkusuojaus 2000, 33)

Virtamuuntajien keskinäisistä erilaisuuksista sekä muuntajan aiheuttamasta tyhjäkäyntivirrasta I_0 johtuen differentiaalisuojuissa voi tapahtua aiheettomia laukaisuja, minkä vuoksi ne tulee asettaa sopivan epäherkiksi. Tällaisia suojuja kutsutaan vaka-voiduiksi differentiaalisuojuiksi. Vakavoinnissa laukaisuun vaadittavan erovirta kasvaa suoraan verrannollisesti läpimenevän virran kanssa. Suojan vakavointivirta I_b määräytyy kuvion 12 mukaisesti suojattavan kohteen eri puolilta mitattujen vaihevirtojen mukaan. Toimintakäyrän muoto määräytyy suojuille määritetyistä asetteluarvoista. Käyrän muotoon vaikuttavat suojan perusasettelu, havahtumissuhde ja toinen käänne-
 nepiste. Toisen käänne-pisteen jälkeisillä vakavointivirran arvoilla havahtumissuhde pysyy vakiona. (Mörsky, 49; Oikosulkusuojaus 2000, 33)



Kuvio 12 Differentiaalisuojan toimintakäyrä sekä funktiot (Oikosulkusuojaus 2000,33)

3.5 Mittamuuntajat

Mittareiden ja releiden valmistaminen suurille jännitteille ja virroille on teknisesti haastavaa, tämän vuoksi primääripiirin jännite- ja virtasuureet tulee muuttaa niille sopivampaan arvoon. Tähän käytetään erillisiä mittamuuntajia. Mittamuuntajia käytetään yleisesti mittaus- ja suojaustekniikassa, ja yleisimpiä niistä ovat jännite- ja virtamuuntajat. (Korpinen N.d.a)

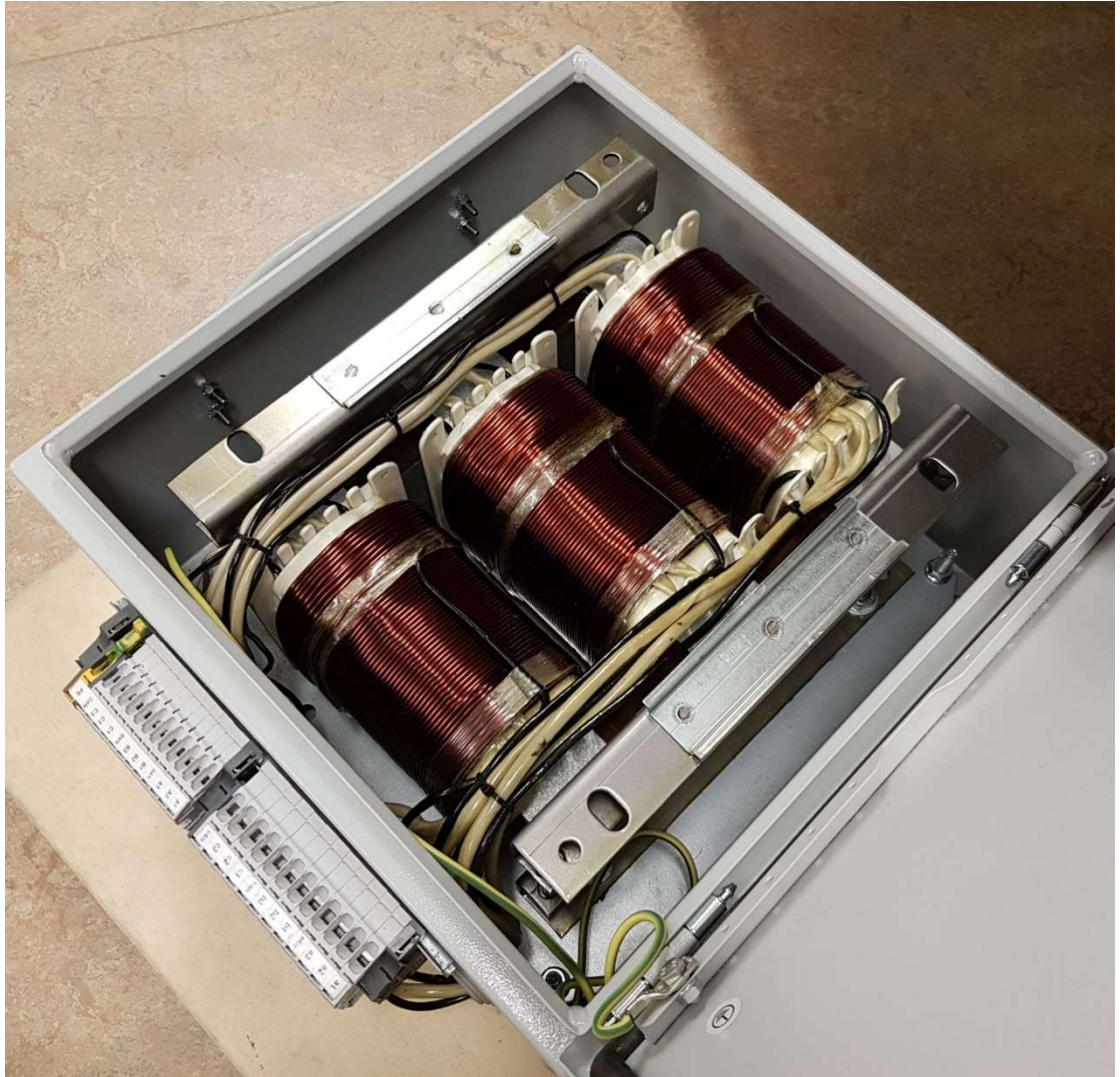
Rakenteeltaan jännitemuuntajat eivät poikkea tavallisesta tehomuuntajasta. jännitemuuntajassa on tehomuuntajan tapaan rautasydän, jonka ympärillä ovat ensiö- ja toisiokäämit. Tehomuuntajaan nähden jännitemuuntaja on verrattain pienitehoinen. Virtamuuntajan tehtävä on ensisijaisesti pienentää mittareiden sekä suojalaitteiden mittaamaa toisiovirtaa. Virtamuuntajassa ensiön kierrosluku on pieni ja toision suuri. Virtamuuntaja valitaan useimmiten mittaus- tai suojaustehtävään, mutta samaa virtamuuntajaa voidaan myös hyödyntää molempiin tarkoituksiin. Hyödynnettäessä molempiin tehtäviin virtamuuntajassa käytetään useampaa sydäntä. Tällöin sydämällä on yhteinen ensiökäämi ja erilliset toisiokäämit. Mittaukseen käytettävää sydäntä kutsutaan mittausydämeksi ja suojaukseen käytettävää suojaussydämeksi. Ulosasennettavat virtamuuntajat ovat yleensä hermeettisesti eristettyjä ja öljytäyteisiä. Sisälle asennettavissa käytetään yleisimmin valuhartsieristystä. (Korpinen N.d.a)

4 Testilaitteisto

4.1 Käytettävä tehomuuntaja

Laboratoriotyössä käytössä on Jyväskylän ammattikorkeakoululta löytyvä 3000 VA TRAFIX 3K66 -kuivamuuntaja. Muuntajassa on käytettävissä kolme eri pääjännitetasoa 100V, 230V ja 400V riippuen käämitysten kytkennästä. Laboratoriotyössä jännitetasona käytetään 100V pääjännitettä. Maksimi virrankestoisuus I_{MAX} muuntajalla on 4.3A, mikä tulee huomioida laboratoriotyön virran mitoituksessa sekä differentiaalisuojalle asetetussa mittamuuntajien muuntosuhteessa.

Muuntajan ensiö- ja toisiokäämitykset voidaan etupaneelin banaaniliitinten avulla kytkeä sekä tähti- että kolmiokytkentään. Laboratoriotyössä muuntajan ensiön kytkentänä on kolmiokytkentä ja toision kytkentänä käytetään tähtikytkentää.



Kuvio 13 Laboratoriotyössä käytettävä muuntaja

4.2 Käytettävä differentiaalisuoja

Suojauksena muuntajalle käytetään Jyväskylän ammattikorkeakoululta löytyvää Siemensin SIPROTEC 5 -sarjan muuntajadifferentiaalisuojaa 7UT82. Muuntajan suojauksessa sitä voidaan käyttää muuntajan pääasiallisena suojana, jonka lisäksi sitä on mahdollista hyödyntää myös lisäsuojauksena kaapeleille ja avojohdoille. Siemens SIPROTEC 7UT82 on rakenteeltaan modulaarinen eli suojan toimintoja voidaan laajentaa. Tämä tekee suojasta tulevaisuutta kestäväen suojausratkaisun. (SIPROTEC 5 N.d.c, 2.11/2)

Suojaa voidaan käyttää differentiaalisuojana tehomuuntajille, säätömuuntajille sekä moottoreille. Suojalle voi määrittää yhden differentiaalisuojausfunktion lisävakautuksella tai kahden rajoitetun maasulun havaitsemistoiminnon. Suojaan on määritettävissä kaksi 3-vaiheista mittauspistettä ja kaksi 1-vaiheista mittauspistettä. (SIPROTEC 5 N.d.c, 2.11/2)

Ennen laitteen käyttöönottoa tulee sille määrittää halutut suojausfunktiot. Suojalle on mahdollista määrittää 40 erilaista suojausfunktiota, kuten valokaarisuojaus, ylikuumentumissuojaus, kytkentävirtasuojaus sekä ylijännitesuojaus. Suojauksien määrittäminen tapahtuu DIGSI 5 -tietokoneohjelmistolla, josta määritetty ohjelma voidaan ladata USB-kaapelin kautta suojalle. Ohjelmisto sisältää myös jo valmiita ohjelmia normaalin kaksikämmitehomountajan differentiaalisuojaukseen sekä moottorin differentiaalisuojaukseen. (SIEMENS SIPROTEC 5 N.d.b, 210-211)



Kuvio 14 Siemens SIPROTEC 7UT82 differentiaalisuoja (Products-systems-solutions/Protection/transformer-differential-protection N.d.)

4.3 DIGSI 5 -ohjelmisto

Suojan konfigurointi tapahtuu Siemens AG:n julkaisemalla DIGSI 5 -ohjelmalla. Ohjelmaa voidaan käyttää kaikkien SIPROTEC 5 -sarjan laitteiden konfigurointiin. DIGSI 5 on graafisen käyttöliittymän omaava ohjelmisto, jolla on mahdollista suunnitella ja ohjelmoida suojaustoimintoja Siemensin valmistamille suojalaitteille. Ohjelmoitujen toimintojen siirtäminen tietokoneelta suojauslaitteelle tapahtuu yksinkertaisesti esimerkiksi USB-johdon avulla.

DIGSI-ohjelmasta on olemassa 3 eri versiota:

- **DIGSI 5 Compact:** Sisältää valtaosan perustoiminnoista kuten parametrien asettamisen sekä prosessidatan lukemisen
- **DIGSI 5 Standard:** Versio sisältää CFC-editorin, näyttöeditorin sekä mahdollistaa käyttäjälle omien symboleiden luonnin. Standard-ohjelmisto tuo mahdollisuuden graafiseen konfigurointiin. Versio täyttää IEC 61850 standardin sille asettamat vaatimukset.
- **DIGSI 5 Premium:** Käyttöliittymistä monipuolisin, perustoimintojen lisäksi versio sisältää DIGSI 5 test suiten, joka mahdollistaa SIPROTEC 5 -sarjan laitteiden ja niiden toimintojen testaamisen. Premium mahdollistaa myös vika-raporttien luvun SIGRA -ohjelmistolla

Jyväskylän ammattikorkeakoululla käytössä on DIGSI 5 Premium V5.00 -ohjelma.

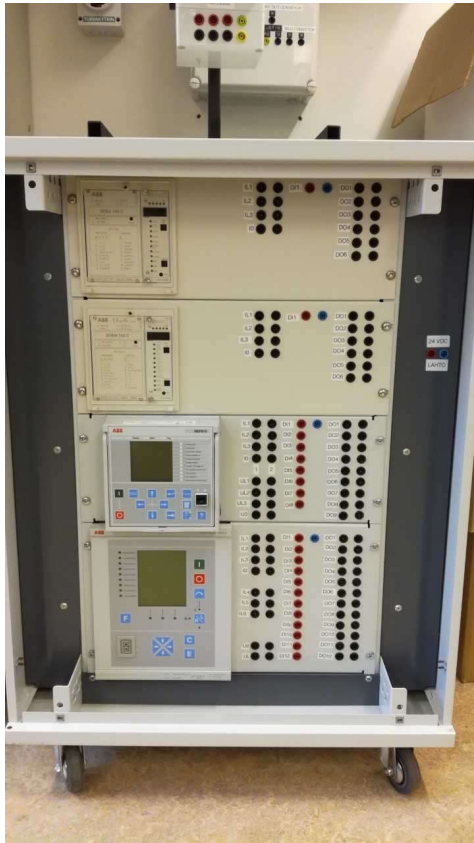
(SIEMENS SIPROTEC 5 N.d.a, 12)

5 Käyttöönotto

Työssä hyödynnettiin pitkälti Jyväskylän ammattikorkeakoululla jo valmiina olevia laitteita. Käyttöönotto aloitettiin rakentamalla laboratoriotyössä käytettävälle muuntajalle kaappi, jonka avulla painavan muuntajan liikuttaminen ja kytkeminen osaksi laboratoriotöitä helpottuu. Tämän jälkeen suunnitellaan laboratoriotyö, jossa osana on työssä käytettävän suojan konfigurointi ja sen eri työvaiheisiin tutustuminen.

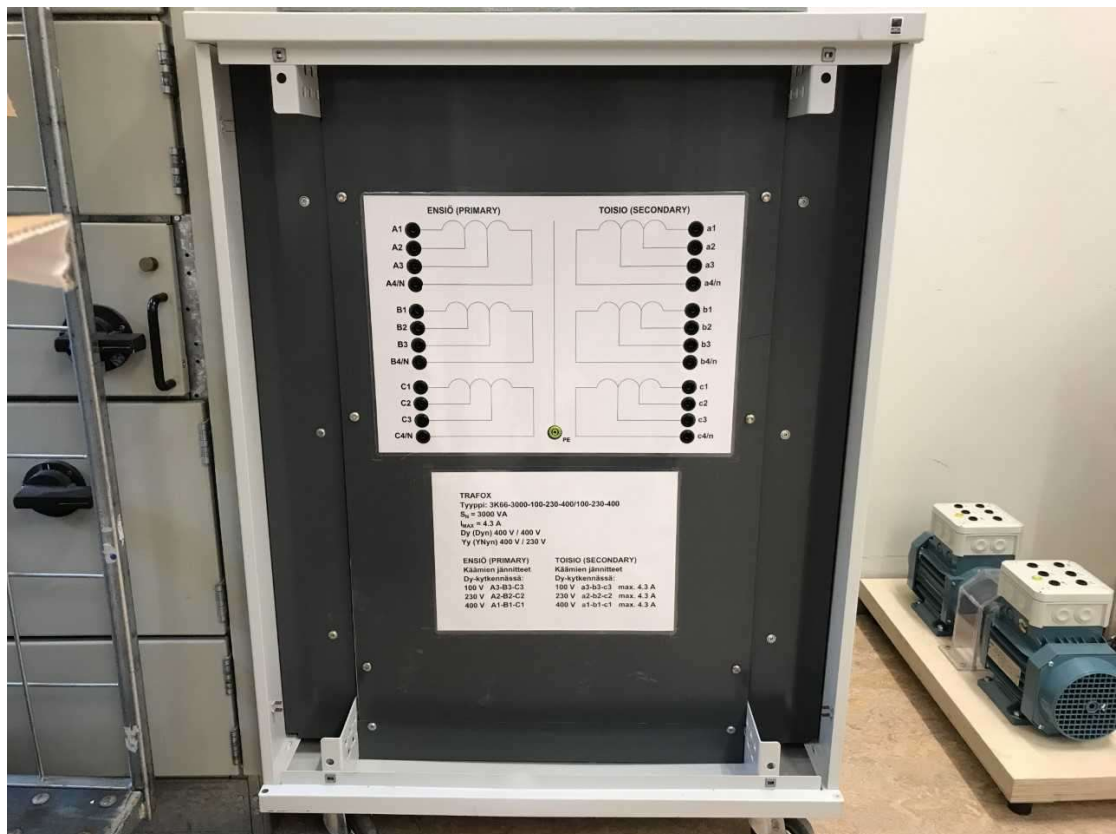
5.1 Käyttöönoton vaiheet

Laitteiston käyttöönotto aloitettiin tyhjentämällä Jyväskylän ammattikorkeakoululta löytyvä relekaappi, jota ei käytännön syistä voitu hyödyntää sen alkuperäiseen tarkoitukseen. Relekaapissa oli asennettuna neljä erilaista relettä, niiden antureita sekä muutamia liittimiä. Releet, anturit ja liittimet tuli irrottaa ja siirtää toisalle siten, että jäljelle jää vain tyhjä kaappi johon muuntaja voidaan sijoittaa.



Kuvio 15 Laboratoriotyössä käytettävä muuntajakärry työn alussa

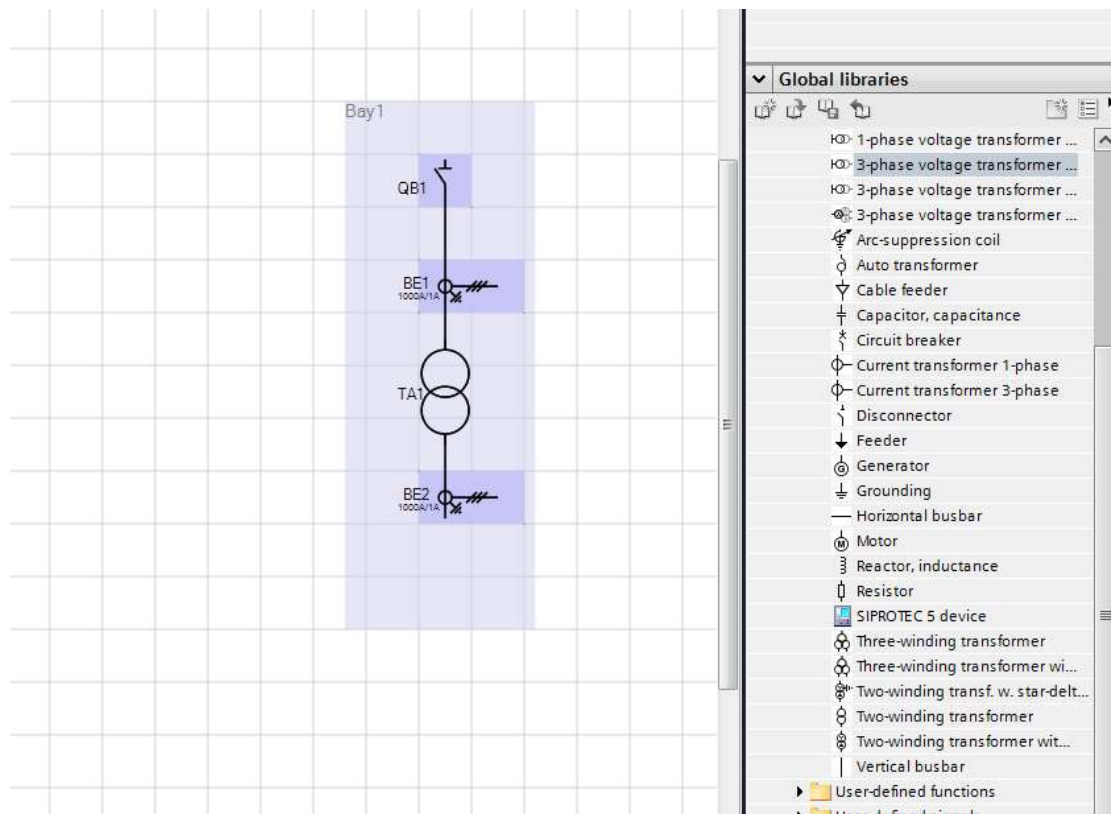
Kaappiin asennettiin 5mm paksusta pleksistä uusi etupaneeli. Lisäksi kaappiin tehtiin erillinen puinen pohjalevy, jotta pohja saadaan varmasti tarpeeksi kantavaksi painavaa muuntajaa varten. Kun kaappi oli saatu valmiiksi, siirrettiin muuntaja kaappiin ja kiinnitettiin se puiseen pohjalevyyn. Etupaneeliin tehtiin reiät valmiiksi tehdyn mallin pohjalta. Reikiin laitettiin liittimet, jotka yhdistettiin 1,5mm² poikkipinta-alalla olevalla johdolla muuntajan vaiheisiin.



Kuvio 16 Laboratoriotyössä käytettävä valmis muuntajakärry

5.2 Suojan konfigurointi

Jotta suoja saadaan toimimaan halutulla tavalla, tulee se ensin konfiguroida. Konfigurointi aloitettiin käynnistämällä tietokoneelta Siemens DIGSI -ohjelma ja luomalla sinne uusi projekti. Kun projekti on luotu, avataan projektipuusta kohta "single line configuration" -työkalu, jolla määritetään laitteelle suojattava alue. Ohjelman piirtoalueelle aukeaa ruudukko, johon oikeanpuoleisesta palkista löytyvästä kirjastosta raahataan tarvittavat piirrosmerkit. Tässä työssä tarvittiin muuntaja, kaksi kolmivaiheista virtamuuntajaa sekä yksi katkaisija.

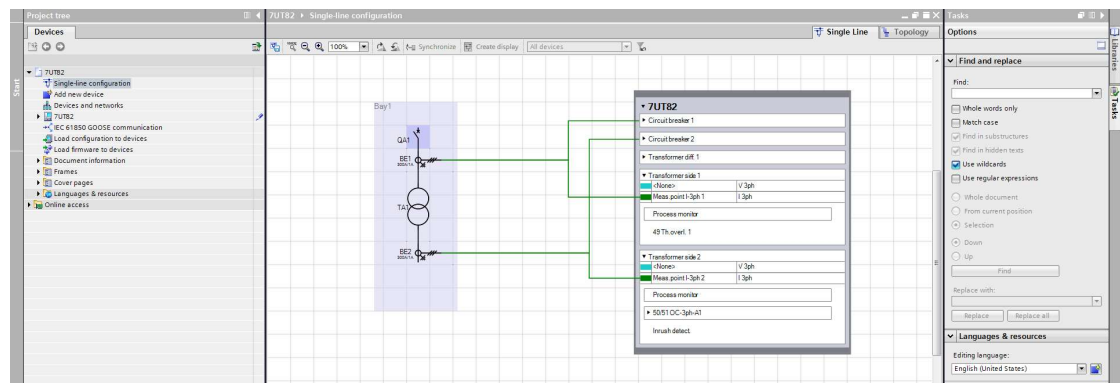


Kuvio 17 Pirrosmerkit ja merkkikirjasto

Seuraavaksi on tarpeellista lisätä itse suojariele kaavioon. Tämä tapahtuu käyttämällä projektipuusta löytyvää "add new device" -wizardia. Näytölle avautuu ikkuna, johon tulee syöttää suojarieleen takaa löytyvä "Short product key". Tämän avulla ohjelma tunnistaa käytettävän suojarieleen ja tarjoaa mahdollisia suojauspohjia. Tässä työssä käytössä on Basic-pohjaa.

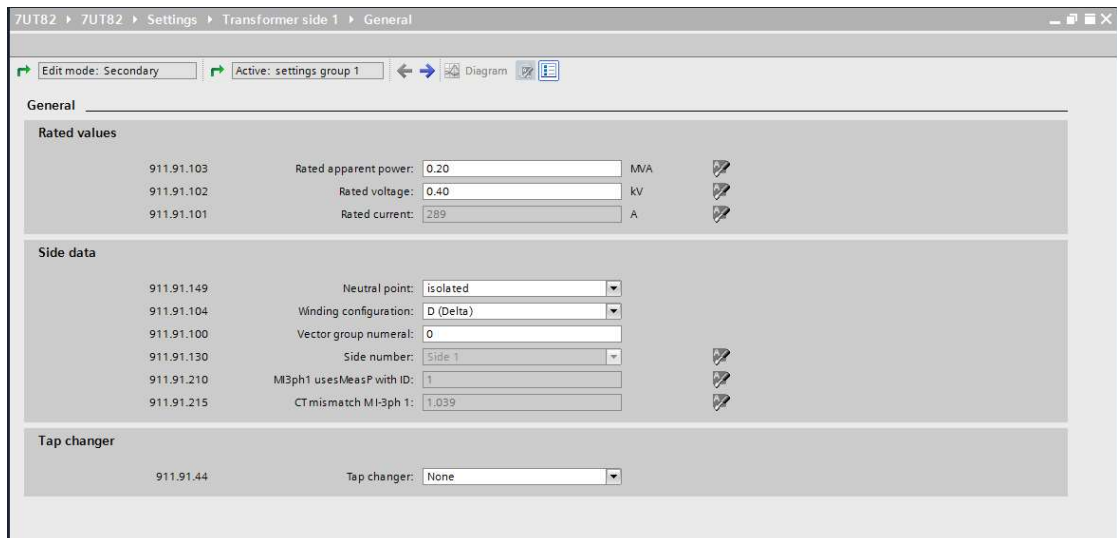
Jotta suojariele saadaan toimimaan halutulla tavalla, täytyy siihen kytkeä kiinni virtamittaukset. Virtamittausten saaminen releelle tapahtuu yhdistämällä muuntajan ensiöpuolen virtamuuntaja suojarieleen "Transformer side 1" virtatuloon. Kun virtamuuntaja on yhdistetty releeseen, pitää asettaa muuntajan ja virtamuuntajan nimellisarvot. Arvot ovat muutettavissa "properties" välilehden alta. Virtamuuntajan ensiön nimellisarvoksi syötetään 300 A ja toision 1 A. Muuntajan ensiöpuolen jännitteeksi syötetään (Rated primary voltage side 1) 0.4 kV, nimellistehoksi (Rated apparent power of transformer side 1) 0.2 MVA ja ensiökäämin kytkennäksi (Delta D) kolmio, jolloin tähtipiste (Neutral point of primary side) on maadoittamaton (Isolated). Ohjelmaan virtamuuntajan muuntosuhde tulee syöttää todellista muuntosuhdetta suurempana, koska suoja on suunniteltu käytössä olevaa muuntajaa huomattavasti suurempi tehoisten muuntajien suojaukseen, eikä DIGSI-ohjelmaan ole mahdollista

määrittää tarpeeksi pieni tehoista muuntajaa. Todellinen laboratoriotyössä käytettävä virtamuuntajan ensiön nimellisarvo on 5 A, mutta asettamalla se ohjelmassa 300 A:iin saadaan differentiaalisuoja havahtumaan käytettävissä olevien komponenttien kannalta riittävän pienellä virralla.



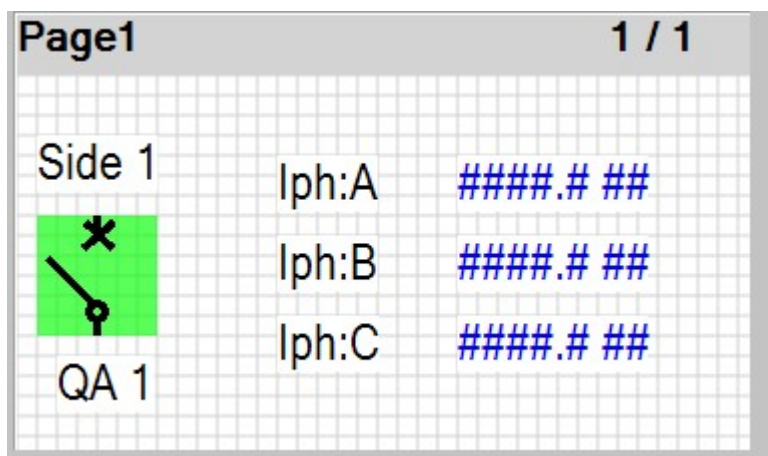
Kuvio 18 DIGSI 5 -ohjelman suojareleen virtamittausten liittäminen

Muuntajan ja virtamuuntajan tiedot tulee syöttää myös suojausfunktion käyttöön. Ensimmäisenä määritetään suojan asetuksiin virtamuuntajan nimellisvirrat. käytetään samoja arvoja 300/1 A kuin aikaisemmin. Muuntajan tietojen päivittäminen aloitetaan kuvion 19 mukaisesti ensiöstä. Ensiön nimellisjännitteeksi (Rated voltage) asetetaan 0.4kV, nimellistehoksi (Rated apparent power) 0.2MVA, ensiökäämin kytkentäksi (Winding configuration) kolmiokytkentä (D), ensiö on maadoittamaton (Neutral point: Isolated) ja sen kytkentäryhmä on 0. Tämän jälkeen tulee määrittää toisiokäämin arvot. Toisiokäämi on nimellisteholtaan ja -jännitteeltään identtinen ensiön kanssa, mutta kytkentänä siinä on tähtikytkentä (Y), tähtipiste on maadoittamaton (Neutral point: Isolated) ja kytkentäryhmä on 11.



Kuvio 19 Ensiön määrittelyn valikkonäkymä

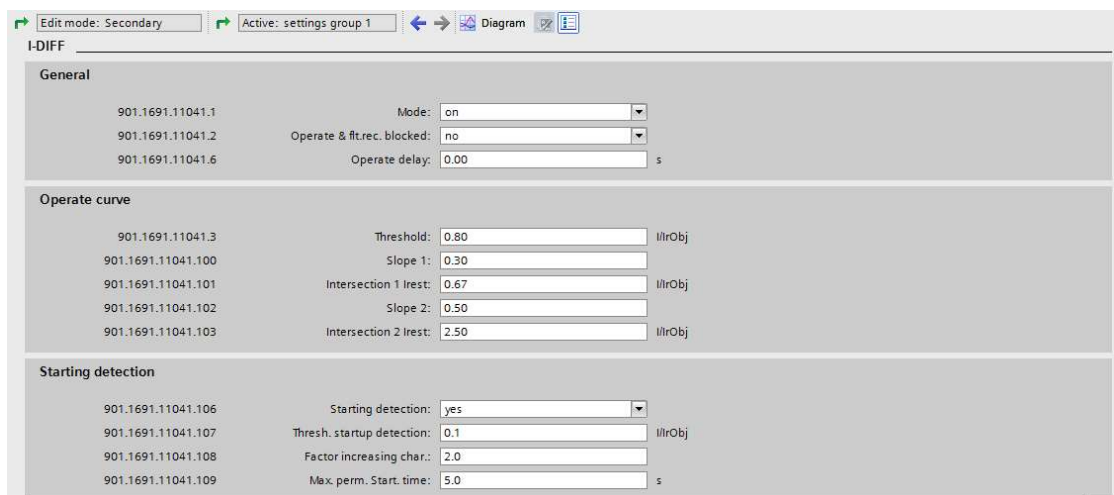
Seuraavaksi lisätään valmiiseen mimiikkanäyttöön ensiöpuolen katkaisijan asentotieto. Mimiikkanäytön muokkaaminen on mahdollista projektipuun kohdan "7UT82" alta löytyvän "Display pages" kautta. Mimiikkanäyttöön lisätään piirtoalueen oikealta puolelta löytyvän palkin "Library" välilehdeltä katkaisija. Kun katkaisija on lisätty, tulee sille saada myös asentotieto. Laite seuraa reaaliaikaisesti kaikkia sille tulevia tietoja, kuten mitattavia arvoja sekä binääritietoja, "signals" välilehden kautta on mahdollista tuoda nämä tiedot mimiikkanäyttöön. Asentotieto voidaan lisätä siirtymällä "Library" välilehdeltä "signals" välilehdelle ja "Circuit breaker 1" alta raahataan "Position"-elementti mimiikkanäyttöön. Kun liitos on tehty onnistuneesti, muuttuu katkaisijan tausta vihreäksi.



Kuvio 20 Katkaisijan onnistuneesti määritetty asentonäkymä

Suojan alimpaan merkkilediin lisätään toiminto, jonka tehtävä on kertoa, onko DIGSI-yhteys koneen ja suojan välillä luotu onnistuneesti. Merkkiledien määrittäminen tapahtuu projektipuun ”7UT82” alaisesta ”Information routing” kohdasta. Ensimmäisenä ohjelma avaa listan eri ylälavikoita, avaamalla ”Device”-valikon päästään lisäämään haluttu toiminto ledille. Avatusta valikosta etsitään ”DIGSI activate”, rullamalla oikealle löytyy ylälavasta ”LEDs”, etsitään ruutu 1.16, avataan ruudun valikko hiiren oikealla ja valitaan vaihtoehto ”Unlatched”. Nyt suojareleen alin ledi saadaan syttymään onnistuneen yhteyden merkiksi.

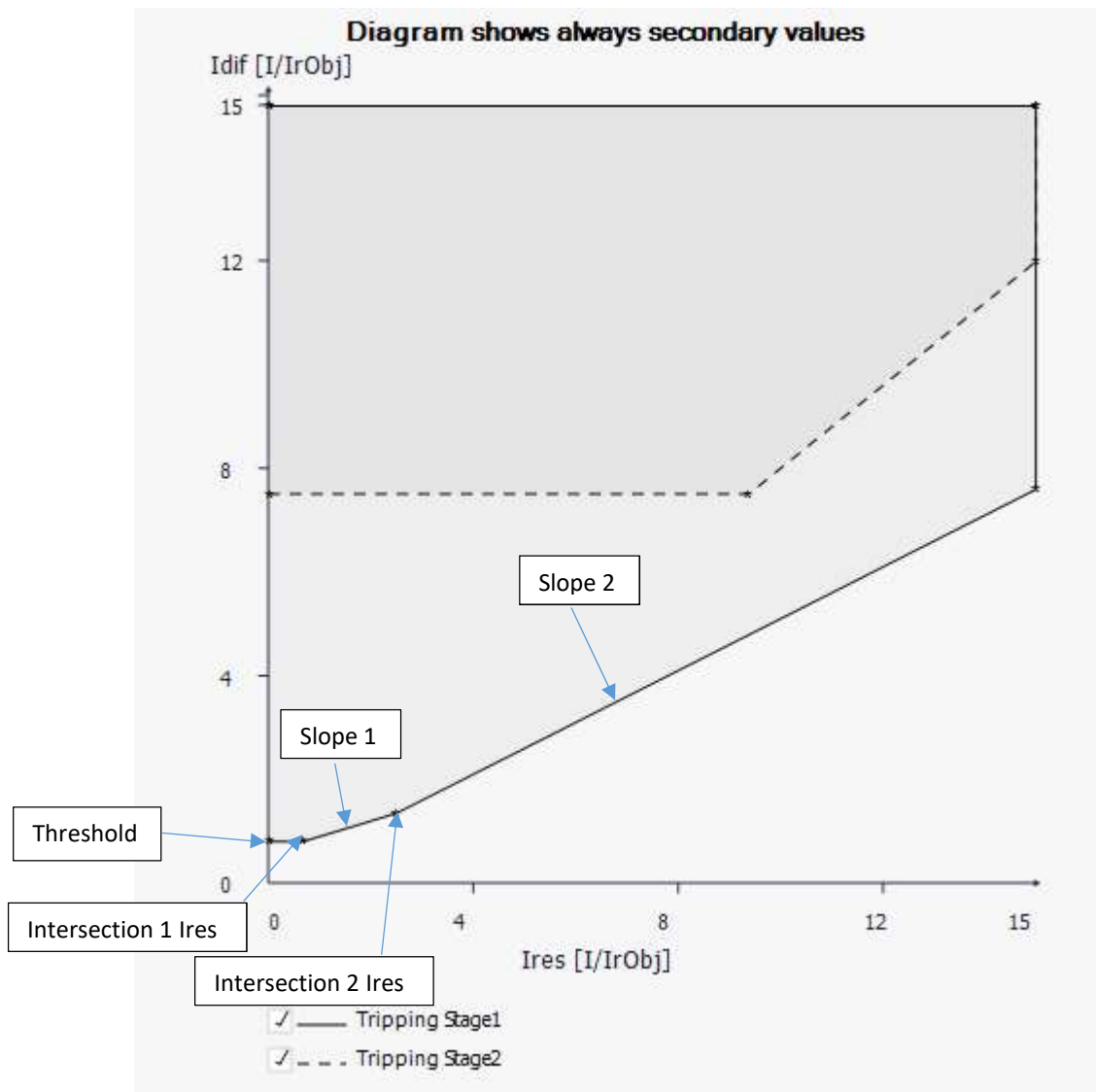
Ennen kuin ohjelma voidaan ladata laitteelle, tulee kennotermiinalin binääritulojen ja -lähtöjen jännitetasoksi muuttaa 24V sekä määrittää mitä suojausfunktioita käytetään. Suojausfunktioista tulee tarkistaa erovirtafunktioiden tila. Erovirtafunktioista päällä pitäisi olla I-DIFF eli differentiaalisuojan suojausfunktio, Starting detection, In-rush blocking with 2.harmonic ja I-DIFF fast. Kaikki edellä mainitut löytyvät suojareleen asetusten ”transformer diff. 1” kohdan ”87T diff. prot. 1” alta. Myös toimintakäyrän havahtumisarvoja tulee laskea, jotta voidaan olla varmoja suojan toiminnasta. Lopuksi suoja kytketään 24V jännitteeseen ja liitetään se USB-johdolla tietokoneeseen. Tämän jälkeen ohjelma voidaan ladata suojalle ”load configuration to device”-työkalun avulla.



Kuvio 21 Suojausfunktioiden määrittämisen valikkonäkymä

Valikkonäkymän ”General” kohdasta voidaan määrittää, se onko suojaus päällä/pois, sekä toimiiko suojaus viiveellä. ”Operative curve” -kohdasta määritellään suojaus-

funktion toimintakäyrän arvot ja muutos kohdat. "Threshold" määrittää käyrän pisteen Y-arvon X-arvon ollessa 0. "Slope 1" määrittää käännepisteiden "Intersection 1 Irest" ja "Intersection 2 Irest" välisen kasvunopeuden. Käännepisteissä käyrän kasvunopeudet muuttuvat, ensimmäisessä risteyskohdassa "Intersection 1 Irest" "Thresthold" arvo muuttuu "Slope 1" kasvun mukaiseksi ja toisessa käännepisteessä "Intersection 2 Irest" "slope 1" kohdan kasvunopeus vaihtuu lopulliseen "Slope 2" arvoon. Kaikki edellä mainitut käyrän pisteet ovat merkittynä kuviossa 22.



Kuvio 22 Suojan toimintakäyrä

Kohdasta "Starting detection" voidaan määrittää arvo, jonka ylittyessä suoja alkaa tarkkailemaan erovirtoja. Toimintoa käytetään suojatessa moottoria, koska moottori aiheuttaa käynnistyessään virtasykäyksen. Ilman "Starting detection"-toimintoa suoja laukeaa aina moottorin käynnistyessä. Kohdasta määritetään myös se, kuinka suuri on suurin sallittu käynnistysvirta ja käynnistysvirran maksimikesto.

Kohdasta "Inrush blocking with 2.harmonic" voidaan määrittää, onko toisen harmonisen havainnointi päällä. Tämä toiminto on välttämätön käytettäessä suoja muuntajan kanssa, sillä valinnan ollessa päällä suoja ei reagoi muuntajan verkkoon kytkettäessä tapahtuvaan virtamuuntajien kyllästymisen aiheuttamaan näennäiseen erovirtaan. (SIEMENS SIPROTEC 5. N.d.b, 927)

Lisänä perus suojaukseen I-DIFF voidaan käyttää I-DIFF fast toimintoa. Toiminnon tarkoitus on katkaista suurivirtaiset sisäiset oikosulut lyhyimmässä mahdollisessa ajassa. (SIEMENS SIPROTEC 5. N.d.b, 467)

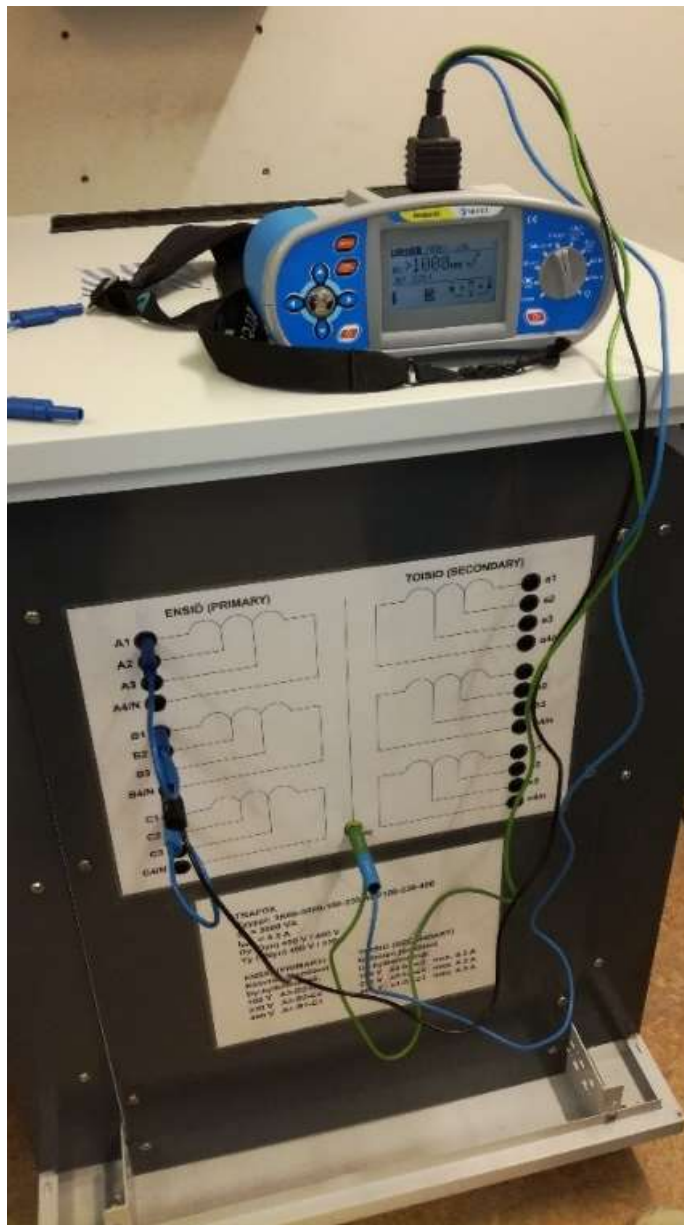
Konfiguroinnin aikana ohjelmalle syötetään erilaisia toiminta-arvoja, koska differentiaalisuoja on suunniteltu suojaamaan huomattavasti käytössä olevaa muuntajaa suurempia muuntajia eikä ohjelmaan voi valmiiksi määrittää käytössä olevaa muuntajaa. Tämän vuoksi ohjelmaan syötetyt arvot tulee skaalata todellisiksi virta-arvoiksi laskeamalla. Skaalaus on osa laboratoriotyön esitehtäviä ja siksi konfiguroinnin aikana saadut arvot merkitään ylös.

5.3 Käyttöönottotarkastus

Ennen muuntajan käyttöönottoa, tulee varmistua sekä muuntajan ja suojan turvallisuudesta ja siitä, että se asennukset on tehty oikein. Käyttöönottotarkastuksessa muuntajalle tehtiin eristysresistanssin mittaus sekä suojajohtimien jatkuvuuden testaus ja differentiaalisuojan suojajohtimien jatkuvuuden testaus. Molemmat mittauksista tehtiin laitteen ollessa jännitteettömänä. Tarkastuksissa käytettiin kouluta löytyvää Metrel Eurotest XE mittalaitetta, jonka avulla käyttöönottomittaus oli mahdollista kokonaisuudessaan tehdä.

Eristysresistanssimittauksen tarkoituksena on varmistua laitteen jännitteellisten osien riittävästä eristyksestä ja samalla voidaan havaita mahdolliset virheelliset kyt-

kennät. Selvitettäessä muuntajan eristysresistanssia valikoituu mittaus tapa maadoitusjärjestelmän mukaan. TN-S järjestelmässä mittaus tapahtuu PE-johtimen sekä äärijohtimien L1, L2, L3 ja N väliltä ja TN-C järjestelmässä PEN-johtimen sekä äärijohtimien L1, L2, L3 väliltä. Koska työssä ei käytetty yhtä erityistä maadoitusjärjestelmää, mittaus suoritettiin yksinkertaisesti mittaamalla ensiön ja toision eristysvastukset laitteen suojamaadoitettua metallirunkoa (PE) vasten. Mittausjännitteenä käyttöönototarkistuksessa käytettiin yleisesti standardissa vaadittua 500V. Jotta eristys voidaan katsoa täyttävän standardissa vaaditun tason, tulee eristysresistanssin olla $>1\text{M}\Omega$. (Tiainen 2017, 352-353) Kytkennät täyttivät vaatimukset ensimmäisellä mittauksella.



Kuvio 23 Ensiön eristysvastuksen mittaus

Suojajohtimien jatkuvuuden testauksella varmistetaan, että suojajohdinsiirit kattavat kokonaisuudessaan koko järjestelmän eli niiden liitokset on tehty oikein. Jatkuvuus tarkistetaan mittaamalla jännitteelle alttiiden osien ja pääpotentiaalintauspisteen välinen suojajohtimen resistanssi. (Tiainen 2017, 350-351) Koska muuntajaa ei kytketä kiinteästi osaksi kiinteistön sähköverkkoa, suojajohtimen mittaus suoritettiin vain etupaneelin PE-liittimelle saakka. Muuntajan suojajohtimien jatkuvuus todettiin olevan kunnossa, jonka ansiosta muuntaja voitiin ottaa käyttöön turvallisesti.

6 Laboratoriotyön tekovaiheet

Suojan konfiguroinnin valmistuttua ja käyttöönottomittausten varmistettua laitteiston turvallisuuden sekä kytkentöjen olevan kunnossa, voitiin itse suojan toiminnan tutkiminen ja laboratoriotyön teko aloittaa. Suojalla ja muuntajalla toteutettiin mitauskytkentä. Tavoitteena oli selvittää, kuinka suoja reagoi erilaisiin muuntajalla tapahtuviin vikoihin. Testauksen lomassa suunniteltiin laboratoriotyötä, joka on tarkoitus tulla osaksi Jyväskylän ammattikorkeakoulun koulutuskokonaisuutta.

Muuntajan ensiö- ja toisiopuolen välinen erovirta tulee saada tarpeeksi suureksi, jotta differentiaalisuoja saadaan havahtumaan. Tämä saadaan aikaiseksi tuottamalla ensiön ensimmäisen ja toisen vaiheen välille vastuksen avulla keinotekoinen kaksivaiheinen oikosulku. Oikosulussa osa ensiön virrasta johdetaan menemään kytkimen takana olevan vastuksen kautta, jolloin ensiön ja toision välinen erovirta kasvaa.

6.1 Asettelu arvojen skaalaus todellisiksi virroiksi

Koska laitteen konfigurointi suoritettiin todellista suuremmilla arvoilla, tulee vikaa simuloivan vastuksen sekä laitteelle syötettävän virran tarvittavat suuruudet laskea. Laskelmissa hyödynnetään DIGSI-ohjelmaan tallennettuja asetteluarvoja kaavojen 2 ja 3 mukaisesti. Suojan perusasettelu I_{diff} on mahdollista laskea jakamalla muuntajan ensiön I_{1DIGSI} ja toision I_{2DIGSI} virtojen erotus muuntajan nimellisvirralla $I_{N DIGSI}$ kaavan 2 mukaisesti. Kaavalla 3 voidaan laskea virtamuuntajan ensiövirran ja muuntajan ensiö- ja toisiovirran suhdeluku, joka mahdollistaa todellisten virta-arvojen laskennan.

$$I_{diff} = \frac{|I_{1DIGSI} - I_{2DI}|}{I_{N DIGSI}} \quad (2)$$

$$I_{res} = \frac{I_{N DIGSI}}{I_{1N DIGSI}} \quad (3)$$

Siemens DIGSI-ohjelmasta saadaan muuntajan nimellisvirraksi $I_{N DIGSI}=289$ A ja ohjelmaan on määritetty virtamuuntajan ensiövirta $I_{1N DIGSI}=300$ A. Näiden avulla voidaan ratkaista mittauskytkennässä käytössä olevalle virtamuuntajalle 5/1 A vaadittava ensiövirran suuruus kaavoilla 4 ja 5:

$$I_{res} = \frac{I_{N DIGSI}}{I_{1N DIGSI}} = \frac{289A}{300A} = 0,963 \approx 0,96 \quad (4)$$

$$\rightarrow I_{1tod} = \frac{I_{1N CT}}{I_{2N CT}} \cdot I_{res} = \frac{5}{1} \cdot 0,96 = 4,8A \quad (5)$$

Kaavan 5 perusteella saadaan selville muuntajalle normaali kuormitusvirta 4.8 A.

Suojauksen toimintaan vaadittava virtamuuntajan ensiöpuolen virransuuruus voidaan määrittää, kun tiedetään suojausportaan toimintakäyrän perusasettelu $I_{diff} = 0,5$, joka on määritetty ohjelmaan. Kaavoja 6, 7, 8 ja 9 hyödyntämällä voidaan laskea I_{1DIGSI} todellinen suuruus seuraavasti:

$$I_{diff} = \frac{|I_{1DIGSI} - I_{2DIGSI}|}{I_{N DIGSI}} = 0,5 = \frac{|I_{1DIGSI} - 289A|}{289A} \quad (6)$$

$$\rightarrow I_{1DIGSI} = 0,5 \cdot 289A + 289A = 433,5A \quad (7)$$

$$\rightarrow I_{res} = \frac{I_{1DIGSI}}{I_{1N DIGSI}} = \frac{433,5A}{300A} = 1,445 \quad (8)$$

$$\rightarrow I_{2tod} = \frac{I_{1N CT}}{I_{2N CT}} \cdot I_{res} = \frac{5}{1} \cdot 1,445 = 7,225A \quad (9)$$

Kun käytössä olevan muuntajan vaaditut virrat tiedetään, voidaan niiden erotuksen avulla laskea vikavirtaa rajoittavalle vastukselle jäävän virran suuruus käyttämällä kaavaa 10.

$$|I_{2tod} - I_{1tod}| = 7,225A - 4,8A = 2,425A \quad (10)$$

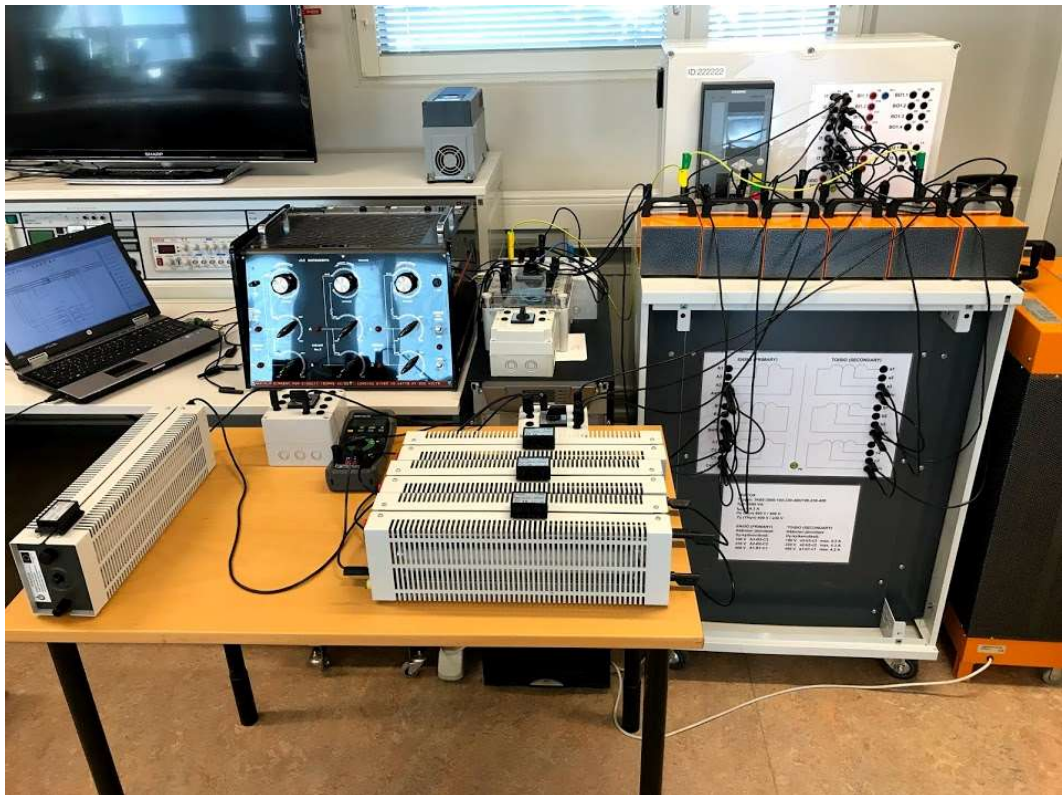
Kun tiedetään virran ja jännitteen suuruus voidaan laskea vastuksen resistanssi. Jännitteenä U arvona käytetään 100 V, koska vastus on kytketty kahden vaiheen väliin, jolloin siihen vaikuttaa pääjännite.

$$R = \frac{100V}{2,425A} = 41,237 \dots \Omega \approx 41,24\Omega \quad (11)$$

Laskujen perusteella voitiin valita oikean kokoinen ja virrankestoisuudeltaan tarpeeksi suuri vastus laboratoriotyöhön. Käyttöön valikoitui 100 Ω liukuvastus, jonka maksimivirran kestoisuus 15 minuutille on 2.5 A. Tässä tapauksessa vastus voidaan todeta käyttökelpoiseksi, koska 15 minuutin turvarajaa ei laboratoriotyössä tulla ylittämään.

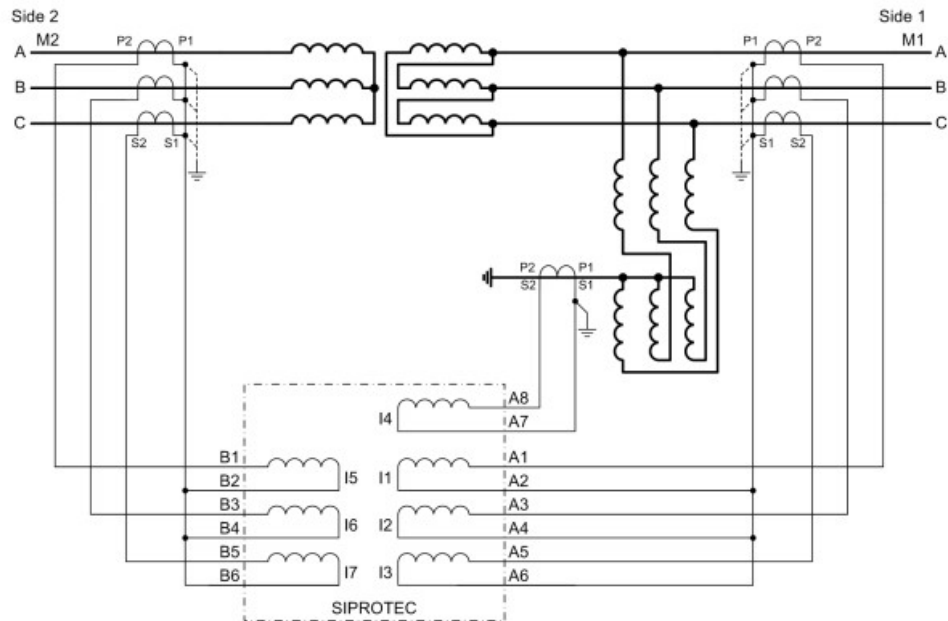
6.2 Muuntajan ja suojan kytkennät sekä testaus

Käytettävän vastuksen ja todellisten virtojen vaadittujen suuruuksien oltua tiedossa, voitiin työ aloittaa toteuttamalla suojalla ja muuntajalla kuvion 24 mukainen mittauskytkentä. Muuntajan ensiöpuoli kytkettiin säädettävän jännitteen lähtöön ja muuntajan toisiopuolelle kytkettiin vastukset, joiden tarkoituksena oli simuloida kuormaa. Ensiöpuolen ensimmäisen ja toisen vaiheen väliin vikaa simuloimaan ja vikavirtaa rajoittamaan kytkettiin liukuvastus, joka voitiin kytkimen avulla kytkeä päälle ja pois. Päälle kytkettäessä se aiheuttaa kaksivaiheisen oikosulun, johon suojan tulisi reagoida.



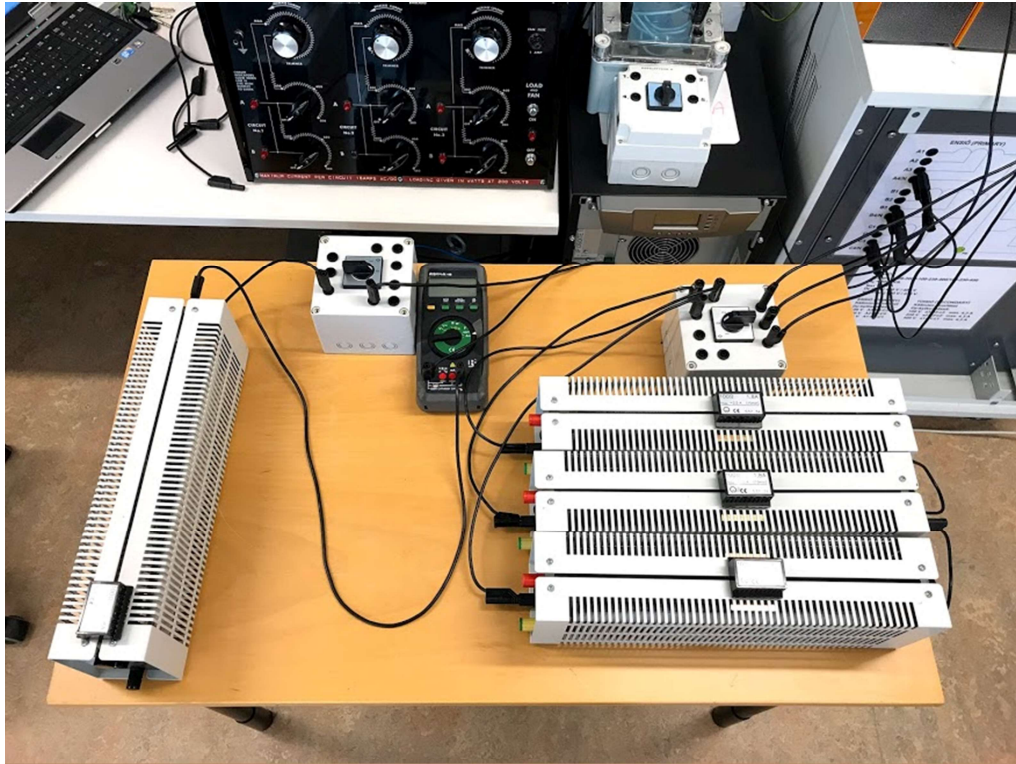
Kuvio 24 Laboratoriotyön mittauskytkentä

Suojalaitteen kytkennässä apuna käytettiin internetistä löytyvää Siemens SIPROTEC 5 -yleisohjekirjaa, joka sisälsi sarjan suojille useita erilaisia esimerkkikytkentöjä. Kaikista ohjekirjassa esitetyistä kytkentävaihtoehdoista käyttöön valikoitui kuvion 25 vaihtoehto, sillä se vastasi parhaiten laitteelle määritettyä suojausfunktiota. Suojan kytkennät tehtiin kuviota 25 mukailleen, lopullisesta työstä jätettiin kuitenkin pois jännitemuuntajien tähtipisteessä oleva maasulkuvirtaa tarkkaileva virtamuuntaja.



Kuvio 25 Työssä käytetty kytkentäesimerkki (SIEMENS SIPROTEC 5 N.d.b, 2013)

Valmiista kytkennöistä piirrettiin kytkentä Kymdatan CAD-ohjelmalla ja liitettiin osaksi laboratoriotyöohjetta. (kts. liite 2)



Kuvio 26 Vikaa simuloivan vastuksen sekä kuormaa simuloivien vastusten kytkennät

Varsinainen suojan testaus voitiin aloittaa, kun kytkennät oli todettu oikeiksi. Testauksessa muuntajalle kytkettiin ensin jännite ja katsottiin kaiken toimivan normaalisti, minkä jälkeen ensiöpuolen vaiheiden välin kytketty vastus kytkettiin päälle ja aiheutettiin siten muuntajalle kaksivaiheinen oikosulku. Oikosulun sattuessa suojan tuli toimia sille ennalta määritetyllä tavalla. Testeissä suoja todettiin toimivaksi juuri niin kuin pitää, mutta se tuli käynnistää uudelleen jokaisen vian jälkeen, koska toistaiseksi vieraasta syystä suojan hälytyksiä ei voinut muulla tavoin nollata.

6.3 Laboratoriotyön suunnittelu

Ajankäytöllisten syiden vuoksi laboratoriotyö päädyttiin jakamaan kahteen eri osaan. Laboratoriotyö sisältää kaksivaiheisen toiminnallisen osuuden sekä työhön perehdyttävät ennakkotehtävät. Ennakkotehtävien tavoitteena on saada opiskelija tutustumaan ja ymmärtämään differentiaalisuojien perustoiminta sekä ymmärtämään millaisissa käyttökohteissa suoja on käytännöllinen. Esitehtävien lähdemateriaalina käytetään Jorma Mörskyn ”Relesuojaustekniikka (Otatieto 1992)”-kirjan differentiaali-

suojausta käsittelevää lukua sivuilta 46-50 sekä ABB: TTT-käsikirja (2000) lukua 7. Lisäksi ennakkotehtävissä on laskutehtävä, jossa lasketaan DIGSI-ohjelmaan asetetuista arvoista vikaa simuloivan vastuksen suuruus. Laboratoriotyötä varten laadittiin Excel-taulukko, jossa jokaiselle laboratoriotyöryhmälle valitaan eri lähtöarvot plagioidin ehkäisemiseksi.

Laboratoriotyön ensimmäisessä vaiheessa konfiguroidaan Siemens DIGSI 5 -ohjelmalla suojalle laboratoriotyöohjeiden mukainen suojausohjelma, joka ladataan USB-kaapelin avulla suojalaitteelle työn toiminnallista osuutta varten. Ohjelman laatimisen ohessa ohjelmasta poimitaan esitehtävissä olevaa laskutehtävää varten tarpeelliset arvot eli $I_{N \text{ DIGSI}}$ ja $I_{1N \text{ DIGSI}}$ suuruudet, ohjelmalle annettu $I\text{-DIFF}$ -arvo sekä mittaamuntajien ensiön ja toision nimellisvirtojen suuruudet. Esitehtävissä tulee laskea myös vikaa simuloivan vastuksen suuruus.

Laboratoriotyön toisessa vaiheessa tehdään laboratoriotyöohjeista löytyvän kytkentäkaavion avulla mittauskytkentä ja perehdytään siihen, kuinka suoja vikatilanteen sattuessa toimii. Laboratoriotyön tavoitteena on tutustuttaa opiskelija differentiaalisuojauksen toimintaan ja siihen millä tavoin differentiaalisuoja kytketään suojaamaan käytössä olevaa muuntajaa. Työn lopussa tehdyistä havainnoista laaditaan laboratorioraportti, jossa vastataan työohjeessa (kts. liite 2) esitettyihin kysymyksiin.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia Jyväskylän ammattikorkeakoululle laboratoriotyö, jonka ohessa tuli tutustua erilaisiin muuntajan suojausratkaisuihin. Työssä tehtiin laboratoriotyössä käytettävälle muuntajalle kaappi, selvitettiin differentiaalisuojan toimintaperiaate, konfiguroitiin ja suunniteltiin differentiaalisuojalle suojausohjelma, ladattiin se laitteelle ja kokeiltiin, kuinka suojaus käytännössä toimii. Laboratoriotyön toteutuksessa käytettiin suojan konfigurointiin jo valmiiksi olemassa olevia ohjeita sekä Siemens SIPROTEC 5 -yleisohjekirjasta löytyviä kytkentä esimerkkejä, joiden pohjalta laboratoriotyö oli helppo muodostaa. Työn edetessä suunniteltiin, millainen laboratoriotyöstä kokonaisuudessa tulee.

Ajankäytöllisistä syistä laboratoriotyö päädyttiin jakamaan kahteen osaan, joista ensimmäisessä suoritetaan suojan konfigurointi ja toisessa työn toiminnallinen osuus.

Lisäksi laboratoriotyöhön laadittiin ennakkotehtävä, joka sisältää kysymyksiä koskien differentiaalisuojausta sekä laskutehtävän, jossa tavoitteena on selvittää muuntajan kaksivaiheista oikosulkua simuloivan vastuksen suuruus.

Työn ensimmäisessä vaiheessa konfiguroidaan Siemens DIGSI 5 -ohjelmalla suojalle suojausohjelma laboratoriotyöohjeiden perusteella. Kun ohjelma on saatu valmiiksi, ladataan se suojalle USB-kaapelin kautta. Konfiguroinnin lomassa ohjelmasta poimitaan esitehtävissä olevaa laskutehtävää varten tarpeelliset arvot.

Jälkimmäisen vaiheen alussa tehdään laboratoriotyöohjeen mukainen mittauskytkentä ja tutustutaan suojan toimintaan vikatilanteessa. Laboratoriotyössä tarkoituksena on tehdä opiskelijalle tutuksi differentiaalisuojan toimintaperiaate, sen konfigurointiin tutustuminen sekä suojan kytkeminen suojaamaan muuntajaa.

Työn aikana ammattikorkeakoululta löytyvä muuntajalle saatiin käytännöllisempi kytkentätapa. Muuntajan kytkennässä aiemmin käytetty aikaa vievä mittajohtojen kytkentä muuntajan riviliittimille saatiin työn ansiota korvattua huomattavasti nopeammanlailla banaaniiliitin kytkennällä. Tämä helpottaa muuntajan hyödyntämistä jatkossa eri laboratoriotöissä sekä mahdollistaa uusien töiden helpomman toteutuksen ja suunnittelun.

Laboratoriotyön aikana huomattiin, ettei laboratoriotyön aikana suojaa voinut vian jälkeen nollata muutoin kuin käynnistämällä se uudestaan. Käytännössä nollaamisen tulisi tapahtua helpommin, sillä suojan todellisissa käyttökohteissa suojana uudelleen käynnistäminen jokaisen vian jälkeen ei ole mahdollista. Ajan puutteen takia ongelmaa ei lähdetty ratkomaan vaan se jätettiin osaksi laboratoriotyön mahdollista jatkokehitystä.

Työn lähtökohdista saatiin aikaiseksi yleispätevä sekä toimiva laboratoriotyökokonaisuus, joka kykenee täyttämään sille asetetut vaatimukset. Kovin syvällistä kuvaa aiheesta ei laboratoriotyön avulla saa, mutta sen avulla on mahdollista luoda pohja syventävää tietoa varten. Työssä käytetty laitteisto toimi yllättävän hyvin laboratoriotyökäyttöön, sillä kun tajuttiin ettei työssä tarvitse käyttää suojan nimellisvirtoja voitiin jokaiselle ryhmälle määrittää omat lähtötiedot sen sijaa, että olisi käytetty kaikille samoja niin kuin alussa oletettiin.

Alkuperäisenä suunnitelmana oli tehdä monta erilaista vikavaihtoehtoa, mutta toiseksi työ on rajoitettu yhden vian havaitsemiseen ja käyttöön. Suojan monipuolisuuden ansiosta laboratoriotyötä voidaan laajentaa myös kattamaan muita vikoja, mikä luo lisämahdollisuuksia jatkokehitystä ajatellen. Toisaalta kytkentöjen sekä konfiguroinnin tekeminen todettiin aikaa vieväksi, jolloin ajankäytöllisesti yhden tietyn vian havainnointi voidaan katsoa järkeväksi.

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että työlle asetetut tavoitteet saavutettiin toivottunlaisesti. Jyväskylän ammattikorkeakoululle saatiin käyttökelpoinen laboratoriotyö, muuntajan hyödyntämisestä tehtiin helpompaa ja pitkään hyllyssä olleet laitteet saatiin hyötykäyttöön.

Lähteet

4-power-transformer-protection-devices-explained-in-details. 2015. Muuntajan Fyysinen suojaus kuvat. electrical engineering portal. Viitattu 14.9.2018.

<https://electrical-engineering-portal.com/4-power-transformer-protection-devices-explained-in-details>

Ammattikorkeakoulut Suomessa. N.d. Opetus- ja kulttuuriministeriö.

<https://minedu.fi/ammattikorkeakoulut>. Viitattu 10.5.2019.

Aura, J. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. Porvoo: WSOY. Viitattu 10.9.2018.

cuencanaloninstalacionesdistribucion. 2010. Suurtehomuuntaja esimerkkikuva. educastur. Viitattu 19.9.2018.

<http://blog.educastur.es/cuencanaloninstalacionesdistribucion/2010/11/01/deposito-de-expansion/>

Csanyi, E. 2013. Large power transformer tailored to customers' specifications.

Electrical Engineering Portal. Viitattu 5.10.2018. <https://electrical-engineering-portal.com/an-overview-of-large-power-transformer-lpt> .

Csanyi, E. 2015. 4 power transformer protection devices explained in details.

Electrical Engineering Portal. Viitattu 12.9.2018. <https://electrical-engineering-portal.com/4-power-transformer-protection-devices-explained-in-details> .

dry-type-transformer-17014776148.html. N.d. Kuivamuuntajan esimerkkikuva.

Indiamart. Viitattu 19.9.2018. <https://www.indiamart.com/proddetail/dry-type-transformer-17014776148.html> (kuivamuuntaja)

elektroniset-releet/mittaus-ja-valvontareleet/termistorireleet. N.d. Termistorirele

esimerkkikuva. ABB. Viitattu 9.5.2019. <https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/elektroniset-releet/mittaus-ja-valvontareleet/termistorireleet>

Halme, T. 2016. 110 kV:n päämuuntajälähtöjen suojausselvitys Kymijoen vesivoimalaitoksilla. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, sähkötekniikka, sähkövoimatekniikka. Viitattu 9.5.2019.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/109017/Halme_Teemu.pdf?sequence=1&isAllowed=y .

Jyväskylän ammattikorkeakoulu. N.d. Viitattu 10.5.2019.

<https://www.jamk.fi/fi/Etusivu/>

Kiahmeh, P. 2002. Power generation handbook: selection , applications, operation, and maintenance. New York: McGraw-Hill handbooks. Viitattu 15.9.2018.

Korpinen, L. N.d.a 9 Muuntajat ja sähkölaitteet. Opiskelumateriaali kirjoittajan omilta sivuilta. Viitattu 7.9.2018.

http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf .

Korpinen, L. N.d.b Vikatilanteet. Opiskelumateriaali kirjoittajan omilta sivuilta.

Viitattu 12.5.2019.

<http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf> .

Leino, A. N.d. Tehomuuntajien differentiaalisuojaus. projektityö. Tampereen teknillinen yliopisto, sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 9.5.2019.
<https://docplayer.fi/25698429-Tehomuuntajan-differentiaalisuojaus.html> .

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: Otatieto. Viitattu 15.9.2018.

Oikosulkusuojaus. 2000. ABB:n TTT-käsikirja – luku 7. Viitattu 21.9.2018.
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_5_Oikosulkusuojaus-releill%84.pdf .

Power_transformer_decontaminated_in_France.jpg. 2014. Paistuntasäiliöisen muuntajan esimerkkikuva. Wikipedia. Viitattu 19.9.2018.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Power_transformer_decontaminated_in_France.jpg

Products-systems-solutions/Protection/transformer-differential-protection. N.d. Siemens SIPROTEC 7UT82 kuva. Siemens. Viitattu 19.9.2018.
<https://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/Protection/transformer-differential-protection/Pages/7UT82.aspx>

Tehomuuntajat. 2000. ABB:n TTT-käsikirja – luku 11. Viitattu 10.10.2018
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/11_Tehomuuntajat.pdf

Rockefeller, G. & Horak, J. 2007. Transformer Protection Application Guide. IEEE. Viitattu 12.9.2018. <http://sites.ieee.org/fw-pes/files/2013/01/transfguide.pdf>

SIEMENS SIPROTEC 5. N.d.a Engineering Guide DIGSI 5. Manual. Siemens. Viitattu 11.10.2018

SIEMENS SIPROTEC 5. N.d.b Transformer differential protection. Manual. Siemens. Viitattu 20.10.2018

SIPROTEC 5. N.d.c Devices Protection, Automation and Monitoring. Catalog SIPROTEC 5.01, Edition 4. Siemens. Viitattu 12.5.2019.
https://www.automation.siemens.com/tip-static/dlc/en/Energy-Automation-for-Medium-Voltage/Catalog_SIPROTEC_5_Protection.pdf

Tiainen, E. 2017. D1-2017: käsikirja rakennusten sähköasennuksista. uud.p. 24. Espoo: Sähköinfo. Viitattu 14.3.2019

Transformer3d_col3_fi.svg. 2006. Muuntajan periaatekuva. Wikipedia. Viitattu 10.9.2018. https://fi.m.wikipedia.org/wiki/Tiedosto:Transformer3d_col3_fi.svg

Liitteet

Liite 1. Suojan konfigurointiohje

DIGSI 5 -konfigurointiohje

Ohjeessa käydään läpi SIPROTEC 5 7UT82 konfigurointi DIGSI 5 ohjelmalla. Ohje sisältää seuraavat vaiheet:

- Projektin luominen
- Asetusten lataaminen releeseen

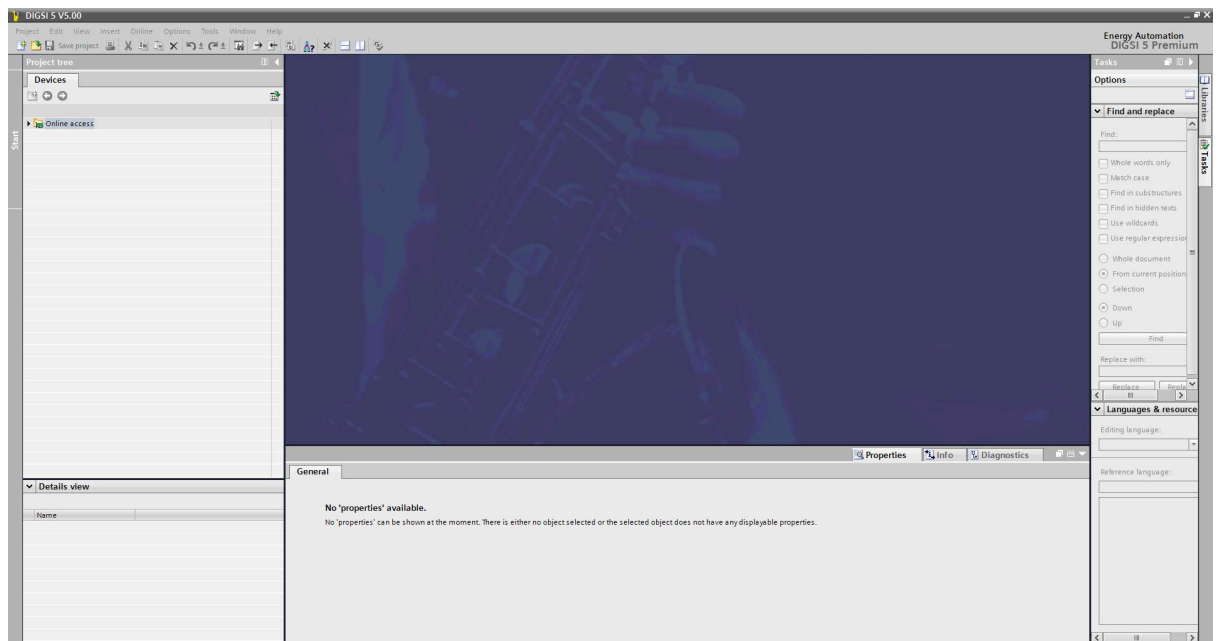
Alkutoimenpiteet

Jotta suoja voidaan lisätä projektiin, tulee sen short product code tietää. Short product code lukee laitteen kyljessä:



Projektin luominen

Kirjaudu DP74 tilan koneelle, käyttäjätunnus ja salasana löytyvät koneen päällä olevista tarroista. Kirjautumisen jälkeen avaa DIGSI 5-ohjelma työpöydältä löytyvästä kuvakkeesta, avatessa ohjelma antaa varoituksen ”project damaged” johon painetaan vain ”ok”. Nyt ohjelma on avattu, ruudun vasemmalla puolella on projektipuu työkaluineen, keskellä projektin työalue ja oikealla kirjastot.



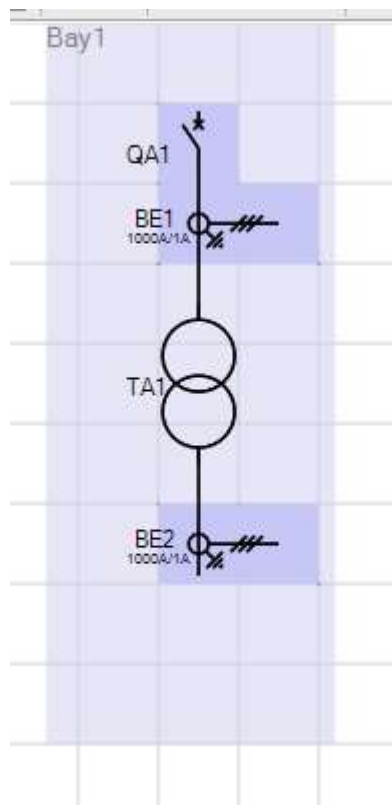
Tee uusi projekti vasemmasta yläkulmasta löytyvällä ”Project” -valikolla: Project → New. Anna projektille nimi ja paina ”Create”

Luo seuraavaksi piirtoalue tuplaklikkaamalla projektipuusta löytyvää Single line configuration -työkalua.



Piirtoalueen avauduttua keskelle klikkaa keltaisella pohjalla olevasta ruudusta "library" ja vasempaan laitaan latautuu kirjasto, josta raahataan piirrosmerkit pohjalle. tarvittavat piirrosmerkit löytyvä "Single-line and display elements" -polun alta. Työhön tarvitaan muuntaja yksi katkaisija ja kaksi kolmivaiheista virtamuuntajaa.

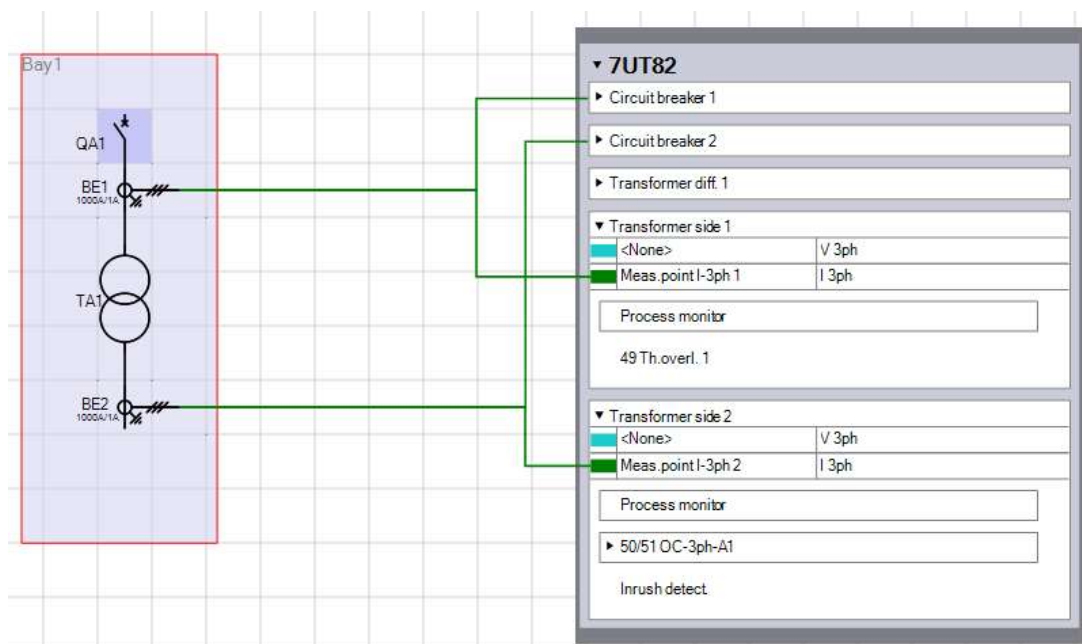
Lisää piirrosmerkit kuvan mukaisesti ylhäältä alaspäin asettaen seuraavan aina edellisen jättämälle siniselle alueelle, jolloin kaikki merkit saadaan saman projektin alle.



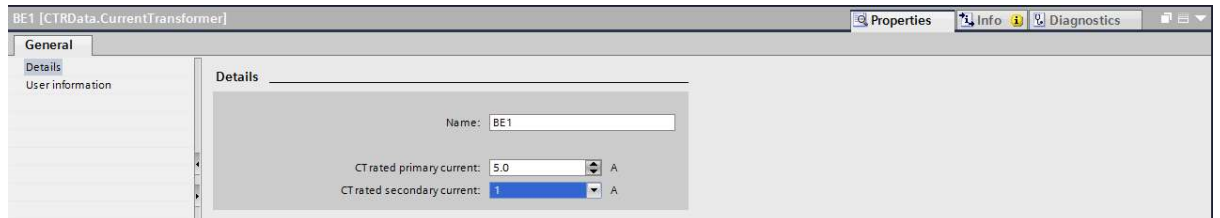
Lisää kaavioon suojariele tuplaklikkaamalla projektipuusta kohtaa "Add new device". Avautuu seuraavanlainen ikkuna.

syötä short product code ikkunaan ja vahvista se. Jos koodia ei löydy, yritä uudelleen päivittämällä lista alareunasta löytyvällä painikkeella. Valitse haluttu suojauspohja. Tässä työssä riittää basic (87T) ja paina lopuksi "Ok".

Jotta suojaus saadaan toimimaan, pitää siihen kytkeä virtamittaukset kiinni. Tämä tapahtuu vetämällä piuha muuntajan yläpuolen virtamuuntajalta suojausalueen "Transformer side 1" virtatuloon. Vastaavasti alapuolen virtamuuntaja kytketään "Transformer side 2" virtatuloon:

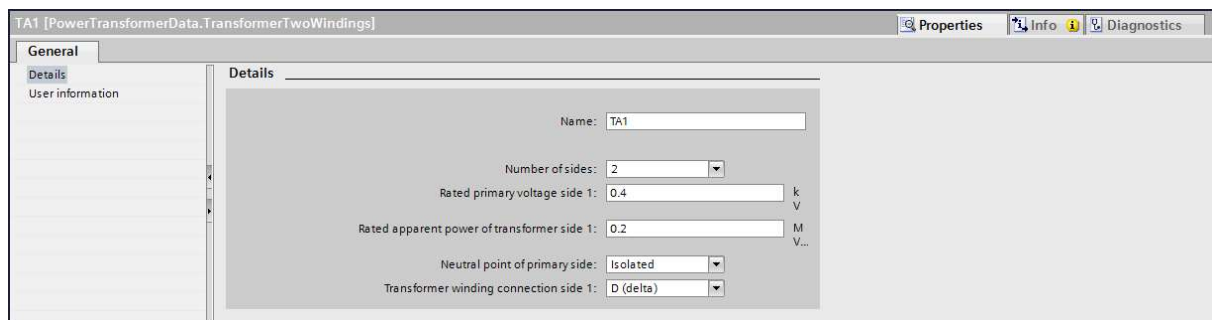


asetta muuntajan ja virtamuuntajien nimellisarvot, koska ohjelma ei tunnista alle 0.2MVA näennäisvirtaa on ensiön nimellisarvo asetettava huomattavasti todellista arvoa suuremmaksi. Nimellisarvoja päästään muuttamaan ylempää virtamuuntajaa klikkaamalla ja valitsemalla alhaalta "Properties" välilehden. Asetetaan ensiön (primary) nimellisarvoksi ryhmälle annettu arvo ja toision (secondary) 1 A.

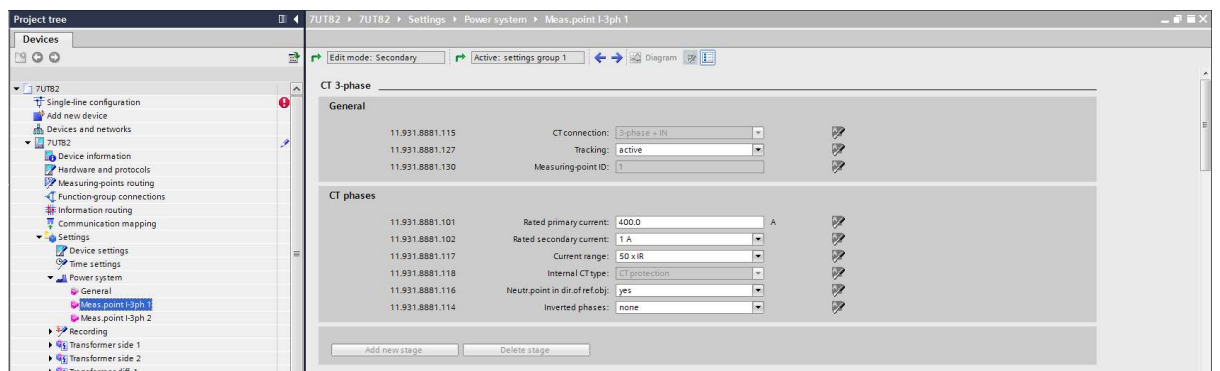


Toista sama myös alapuolen virtamuuntajalle.

Seuraavaksi asetetaan muuntajan arvot. Ohjelman ei voida suora syöttää muuntajan arvoja, joten asetetaan ensiön (primary) jännitteeksi 0.4 kV, nimellistehoksi 0.2 MVA, käämi on kytketty kolmioon (Delta) ja maadoittamaton.



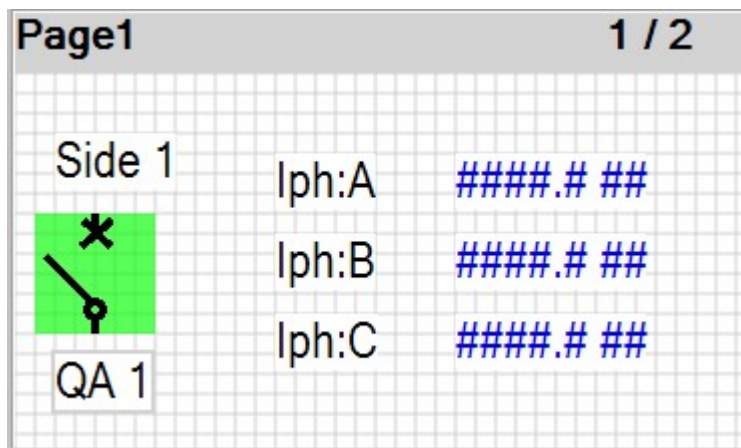
Seuraavaksi syötetään tarvittavat tiedot suojausfunktioille, tiedot ovat osittain samoja kuin aiemmin syötetyt. Aloitetaan yläpuolen virtamuuntajasta. Tiedot päästään syöttämään suojareleen asetuksista projektipuun hakemistopolusta 7UT82 → settings → Power system → meas. point I-3 ph. Asetusikkuna aukeaa sitä tuplaklikkaamalla.



Ensiöpuolen nimellisvirraksi asetetaan ryhmälle valikoitunut arvo ja toisioon 1 A. Kun ensiöpuolen virta on muutettu, kysyy ohjelma "Do you want to adjust the secondary setting values of all functions automatically?" Valitse "No". Toista sama alapuolen virtamuuntajalle.

Seuraavaksi päivitetään muuntajatiedot oikeiksi. Ensiön tiedot voidaan muuttaa polun: 7UT82 → settings → transformer side 1 → General. Nimellistehoksi 0.2MVA, jännitteeksi 0.4kV, kolmiokytkentä (D), maadoittamaton (isolated) ja kytkentäryhmä 0. Seuraavaksi päivitetään toisioin tiedot. Toiossa nimellisjännite ja -teho pysyvät samoina, mutta kytkentänä tähti (Y), maadoittaton (Isolated) ja kytkentäryhmä 11.

Muokkaa seuraavaksi mimiikkanäyttöjä. Editori löytyy projektipuusta polun 7UT82 → Display pages → Page 1. Avaataan "page 1" ja raahataan oikealta puolelta löytyvästä kirjastosta katkaisija. Kirjasto avataan sivupalkin "library" kohdasta. Kun katkaisija on saatu mimiikkanäyttöön, vaihdetaan sivupalkista "signals" välilehdelle. Katkaisijalle voidaan asettaa asentotieto raahaamalla "Circuit breaker 1" kohdan alta löytyvä "position"-elementti katkaisijaan. Tausta muuttuu vihreäksi onnistuneen liitoksen merkiksi.

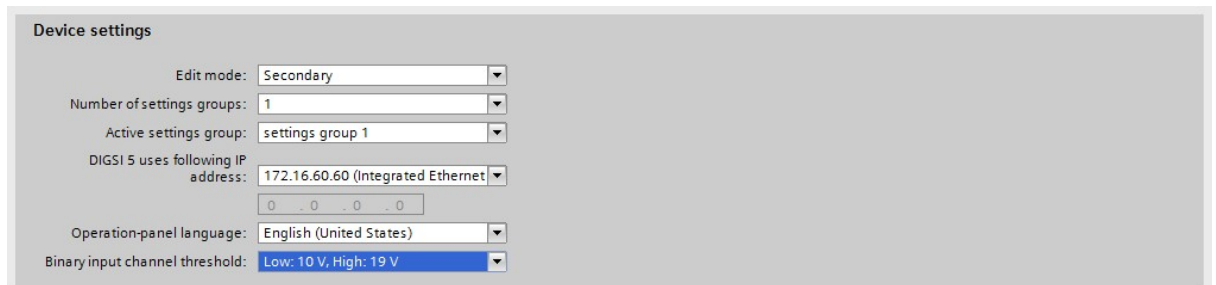


Lisää alimpaan merkkilediin (1.16) toiminto, joka kertoo, onko DIGSI-yhteys luotu onnistuneesti. Mene projektipuun hakemistoon 7UT82 → Information routing. Avaa editori.

Haluttu toiminto löytyy polun Device → DIGSI active alta. vierittämällä editori-ikkunaa oikealle löytyy kohta "LEDs"

Klikkaa oikeaa kohtaa hiiren oikealla ja valitse "unlatched". Nyt alin ledi syttyy aina kun suojaareleen ja tietokoneen välillä on DIGSI-yhtetys

Muuta kennotermiinaalin binääritulojen ja -lähtöjen jännitetaso 24 volttiin. Asetukseen pääsee polun 7UT82 → Settings → device settings kautta.



Device settings

Edit mode: Secondary

Number of settings groups: 1

Active settings group: settings group 1

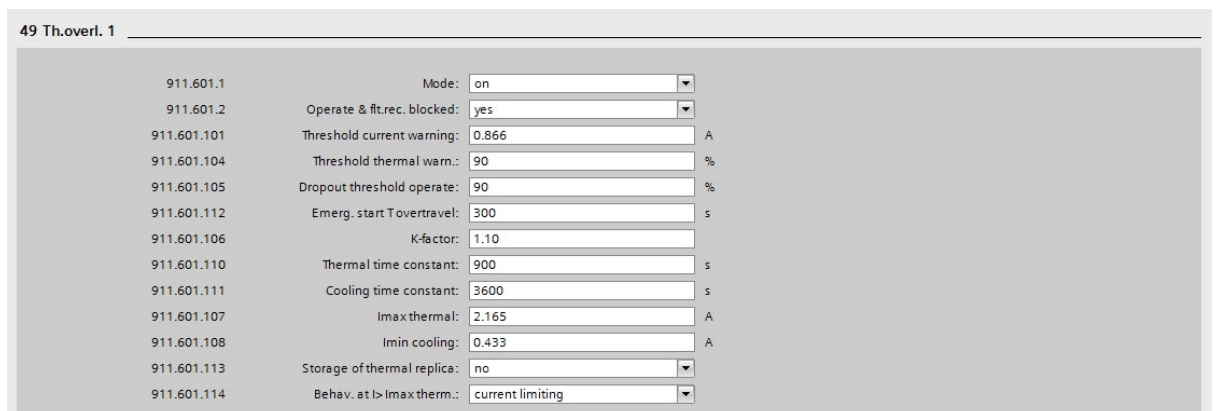
DIGSI 5 uses following IP address: 172.16.60.60 (Integrated Ethernet)

Operation-panel language: English (United States)

Binary input channel threshold: Low: 10 V, High: 19 V

Asettelu

Asettelujen pitäisi olla suurilta osin valmiiksi kohdillaan, mutta muutamaa suojaus-funktiota tulee muuttaa ja käydä kytkemässä päälle. Ensimmäisenä käydään varmistamassa, että 49 Th.overl.1 on päällä. Se löytyy hakemistopolun 7UT82 → settings → Transformer side 1 → 49. Th.overl. 1.



49 Th.overl. 1

911.601.1	Mode:	on	
911.601.2	Operate & fit.rec. blocked:	yes	
911.601.101	Threshold current warning:	0.866	A
911.601.104	Threshold thermal warn.:	90	%
911.601.105	Dropout threshold operate:	90	%
911.601.112	Emerg. start Tovertravel:	300	s
911.601.106	K-factor:	1.10	
911.601.110	Thermal time constant:	900	s
911.601.111	Cooling time constant:	3600	s
911.601.107	Imax thermal:	2.165	A
911.601.108	Imin cooling:	0.433	A
911.601.113	Storage of thermal replica:	no	
911.601.114	Behav. at I>Imaxtherm.:	current limiting	

Tarkista myös onko funtio 50/51 Transformer side 2:sta.

Seuraavaksi siirrytään erovirtafunktion pariin. Erovirtafunktiota päästään muokkaaamaan polun 7UT82 → Settings → Transformer diff. 1 → 87T diff. prot. 1 kautta.

Kohta I-DIFF general asetetaan "on"

I-DIFF	
General	
901.1691.11041.1	Mode: <input type="text" value="on"/>
901.1691.11041.2	Operate & fit.rec. blocked: <input type="text" value="no"/>
901.1691.11041.6	Operate delay: <input type="text" value="0.00"/> s

lisäksi ”operative curve” Slope 2 käyrä pitää asettaa ryhmälle määrättyyn arvoon, jotta laite saadaan reagoimaan sopivan pienellä virralla.

Operate curve	
901.1691.11041.3	Threshold: <input type="text" value="0.20"/> I/IrObj
901.1691.11041.100	Slope 1: <input type="text" value="0.30"/>
901.1691.11041.101	Intersection 1 Irest: <input type="text" value="0.67"/> I/IrObj
901.1691.11041.102	Slope 2: <input type="text" value="0.50"/>
901.1691.11041.103	Intersection 2 Irest: <input type="text" value="2.50"/> I/IrObj

lopuksi laitetaan päälle myös Starting detection, Inrush blocking with 2. harmonic ja I-DIFF fast.

Asetusten lataaminen laitteelle

Asetusten lataaminen suojalaitteelle tapahtuu kytkemällä suoja 24 V jännitteeseen ja yhdistämällä se USB-johdolla tietokoneeseen. Asetukset voi ladata laitteelle ”load configuration to device”-työkalun avulla.

Liite 2. laboratoriotyöohje

LABORATORIOTYÖ: DIFFERENTIAALISUOJAUS

Sähköenergia siirrossa ja jakelussa eräs tärkeimmistä ja kalleimmista komponenteista on kolmivaiheinen tehomuuntaja. Korkean hintansa ja pitkien toimitusaikojen vuoksi muuntajien suojaus on ensisijaisen tärkeää. Tässä laboratoriotyössä tutustutaan suurille muuntajille yleiseen differentiaalisuojaukseen.

Kirjoita alla olevien esitehtävien vastaukset ja myöhemmin mittausraportti koneella puhtaaksi JAMK:n raportointipohjalle (Optimassa) ja palauta raportit Optiman palautuskansioon vain ja ainoastaan **pdf-muodossa**. Esitä vastaukset omin sanoin (ei suoraa kopiointia lähdeoteoksesta) riittävän laajasti ja selkeästi, jotta niistä huomaa, että olet ymmärtänyt asian. Muista merkitä käyttämäsi lähteet näkyviin. Kun raportit palautetaan Optimaan, ne tarkistetaan automaattisesti Urkund-plagioinnintunnistusjärjestelmässä, joka ilmoittaa opettajalle kuinka paljon dokumentista löytyi yhtäläisyyksiä muiden lähteiden kanssa.

Ryhmältä riittää yksi raportti. Esitehtäväraportti tulee palauttaa Optimaan viimeistään mittausta edeltävänä päivänä.

Laitteet:

- 3-vaiheinen muuntaja (Dyn11, 100/100 V, 3 kVA)
- Siemens SIPROTEC 7UT82 differentiaalisuoja
- 6 kpl 5/1 A virtamuuntajia
- 4 kpl liukuvastuksia
- 2 kpl kytkimiä
- virtamittari

Esitehtävät

1. Mihin differentiaalisuojaus perustuu?
2. Miksi differentiaalisuojaus vaatii usein lisäksi jonkun toisen suojauksen?
3. Mitä tarkoitetaan vakavoinnilla ja miksi se on tarpeellista tehdä?
4. Miten suojan vakavointivirta määräytyy?
5. Mitä tarkoittaa on *Absoluuttisesti selektiivinen suojaus* ja mitä etuja sillä voidaan saavuttaa?
6.
 - a. Selvitä laskemalla kuinka suuri vastus vaiheiden välille tulee kytkeä, jotta haavtumisvirta ylittyy konfiguroinnissa määritetyillä arvoilla. ohessa laskuesimerkki. Käytä ryhmäjakolistassa annettuja arvoja.
 - b. Laske vikaa simuloivan vastuksen läpi kulkevan virran suuruus sekä vastuksen resistanssi kohdasta a saatujen virta-arvojen avulla
 - c. Ohessa on lista käytettävissä olevista liukuvastuksista ja niiden virrankestoisuuksista. Mikä vastuksista kannattaa valita ja miksi?

Vastuksen max. resistanssi	I _{max}	I _{max} 15min
33 Ω	3,1 A	4,4 A
100 Ω	1,8 A	2,5 A
330 Ω	1,0 A	1,4 A
1000 Ω	0,57 A	0,8 A

Lasku esimerkki:

$$I = 289A \quad I_N = 300 A \quad I_{diff} = 0,7 \quad U = 400V$$

$$I_{diff} = \frac{(I_1 - I_2)}{I_{N2}} \quad I_{res} = \frac{I}{I_N} \quad |I_{1tod} - I_{2to}| = I_R$$

Aluksi tulee selvittää kaavoilla 1 ja 2 virtamuuntajan 5/1 A ensiövirran suuruus:

$$I_{res} = \frac{I}{I_N} = \frac{289A}{300} = 0,95 \quad (1)$$

$$I_{2tod} = \frac{I_{1N CT}}{I_{2N CT}} \cdot I_{res} = \frac{5}{1} \cdot 0,95 = 4,76A \quad (2)$$

Kun virtamuuntajan ensiövirta tiedetään, lasketaan muuntajan todellinen ensiövirran suuruus kaavoilla 3, 4, 5, 6 ja 7:

$$I_{diff} = \frac{(I_1 - I_2)}{I_{N2}} \quad (3)$$

$$I_{diff} = \frac{(I_1 - I_2)}{I_{N2}} = 0,7 = \frac{(I_1 - 289A)}{289A} \quad (4)$$

$$\rightarrow I_1 = 0,7 \cdot 289A + 289 = 491A \quad (5)$$

$$I_{res} = \frac{I_1}{I_N} = \frac{491A}{300A} = 1,64 \quad (6)$$

$$I_{1tod} = \frac{I_{1N CT}}{I_{2N CT}} \cdot I_{res} = \frac{5}{1} \cdot 1,64 = 8,2A \quad (7)$$

$$I_{1tod} = 8,2A \quad I_{2tod} = 4,76A$$

Mittaukset

1. Suojan konfigurointi

Konfiguroidaan laboratoriotyöohjeiden mukainen ohjelma suojalle. Käytä ryhmälis-
tassa annettuja muuntajan ensiön nimellisvirtaa sekä Idiff Arvoja. Konfiguroinnin ai-
kana otetaan talteen kuvankaappaus suojaustoimintojen asetteluista sekä käyrästä
mittausraporttia varten.

2. Mittauskytkennän teko

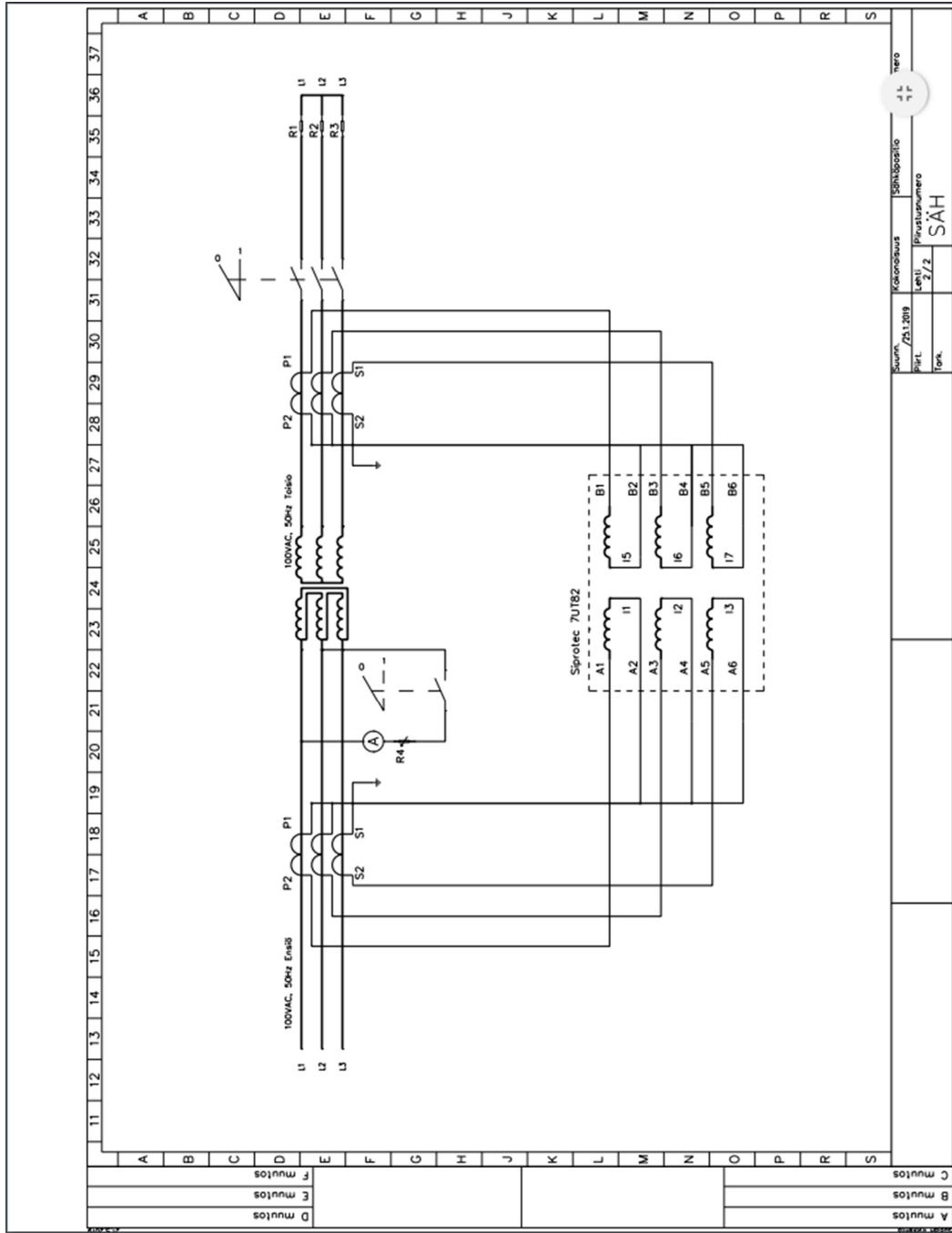
Tehdään oheisen kytkentäkuvan mukainen kytkentä EP03-tilan muuntajalle, kun mit-
tauskytkentä on valmis, tarkistuta kytkentä työnohjaajalla. Ota kytkennästä kuva mit-
tausraporttia varten.

3. Testaus

Testataan, onko suojan asettelut tehty oikein ja toimiiko se esitehtävissä lasketuilla
arvoilla.

4. Mittausraportti

Tehdään JAMK:n raportointimallin mukainen mittausraportti, jossa selitetään mikä
suojaustoiminto vaikuttaa mihinkin pisteeseen ja merkitään pisteet käyrälle sekä ker-
rotaan lyhyesti, miten mittauskytkentä toimi. Hyödynnetään konfiguroinnin aikana
otettuja kuvankaappauksia sekä mittauskytkennästä otettua kuvaa.



1 L
1 F

Kokoräätös
Suunn. 7/31/2019
Päiv. 2/2
Tonn.

SÄHKÖSUUNNITTELO
Piirustuksen numero

SÄH

A multos

B multos

C multos

D multos

E multos

F multos