

Matti Vainikainen

Sähköverkon suojausviestintä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

12.5.2013

Alkulause

Tämä insinööri työ tehtiin Siemens Osakeyhtiön Energy Transmission divisioonalle Espooseen. Työssä tutkittiin sähköverkon suojausviestintää ja Siemensin SWT 3000-laitetta tähän tarkoitukseen. Tarkoituksena oli tutustua ja tutkia kyseisen laitteen sopivuutta Suomen sähkönsiirtoverkon suojausviestintään.

Kiitän kaikkia, jotka ovat mahdollistaneet tämän työn. Erityisesti työtovereitani, jotka ovat jaksaneet vastalla kysymyksiini aiheeseen liittyen.

Helsingissä 12.5.2013

Matti Vainikainen

Tekijä Otsikko	Matti Vainikainen Sähköverkon suojausviestintä
Sivumäärä Aika	37 sivua + liite 12.5.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Tuomo Heikkinen myyntipäällikkö Ville Tiesmäki
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Siemens Osakeyhtiön Energy Transmission divisioonalle. Työ tuli ajankohtaiseksi uuden sukupolven SWT 3000-telesuojauslaitteen tullessa käyttöön ja sovellettavaksi useissa projekteissa.</p> <p>Työssä käytiin läpi sähkönsiirtoverkon suojausviestintää ja Siemens SWT 3000-laitteen sopeutusta suojausviestikäyttöön. Materiaaleina käytettiin Siemensin sisäisiä dokumentteja ja yleistä kirjallisuutta aiheesta. Työn edetessä kävi ilmi, että aiheesta ei ole kovin paljon aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, eivätkä yritysten sisäiset dokumentit olleet monesti julkisia. Lisäksi digitaalisuuden lisääntyessä suojausviestinnässä osa standardeista on vielä kehitysvaiheessa, eivätkä ne ole vielä telesuojauksen osalta valmiita.</p> <p>Insinöörityössä tutustuttiin suojausviestiverkkoihin ja niiden toimintaperiaatteisiin Suomessa. Tämä työ antaa kuvan suojausviestinnästä ja sen periaatteista sähkönsiirtoverkossa erityisesti aiheeseen perehtymättömille.</p>	
Avainsanat	telesuojaus, suojausviestintä, Siemens SWT 3000, sähköverkko, perusteet

Abstract

Author Title Number of Pages Date	Matti Vainikainen Energy Transmission Network Protection Signaling 37 pages + 1 appendix 12 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer Ville Tiesmäki, Sales Manager
<p>This thesis was made for the Siemens Osakeyhtiö Energy Transmission division. The main purpose of this thesis was to study electric transmission teleprotection and the suitability of Siemens SWT 3000 device for that task. The project became current because the new generation teleprotection device SWT 3000 is taken into use in several projects.</p> <p>Sources used in this work are Siemens internal documents and general literature on the subject. Some of the teleprotection standards could not be used as material because they are still under development and not yet ready.</p> <p>In this thesis teleprotection networks and their principles in Finland were explored. This thesis provides an overall picture of the protection signaling in electricity transmission network, particularly to persons not familiar with the topic.</p>	
Keywords	teleprotection, protection signaling, Siemens SWT 3000, power grid, basics

Sisällys

Alkulause

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Siemens Osakeyhtiö	2
3	Insinööriyön tavoitteet ja lähtökohdat	3
4	Suojauksen viestiyhteydet	4
4.1	Sähköverkon telesuojauksen historia	4
4.2	Suojausviestiyhteyksien vaatimuksia	5
4.3	Nykyinen tilanne	7
4.4	Suojausviestiverkon kehitys tulevaisuudessa	9
4.5	Viestiyhteydet Suomessa	10
4.6	Yleisimmät viestiyhteydet	11
4.6.1	Kupariyhteydet	11
4.6.2	Voimajohtokantoaaltoyhteydet	11
4.6.3	Radiolinkit	11
4.6.4	Optiset kaapelit	11
4.7	Suojausviestiyhteyksien käyttö	12
5	Sähkönsiirtoverkon suojaus	13
5.1	Distanssisuojaus	13
5.2	Differentiaalisuojaus	14
5.3	Suojauksen toiminta vian aikana	15
6	Siemens SWT 3000 -laite	17
6.1	SWT 3000 -laitteen käyttötapoja	19

6.2	SWT 3000 -laitteen käyttö	20
6.3	SWT 3000 -laitteen hallintaohjelmistot	21
6.4	SWT 3000 -laitteen asennus	27
6.5	Sopivuus suojausviestintään Suomessa	30
6.6	Käytännön sovellukset	31
6.6.1	Uuden sähköaseman liittäminen vanhaan järjestelmään	31
6.6.2	IEC 61850 -väyläratkaisujen hyödyntäminen	33
7	Yhteenveto	35
	Lähteet	36

Liitteet

Liite 1. Suojauskaavio

Lyhenteet

ADSS	<i>All Dielectric Self Supporting</i> ; metalliton itsekantava ukkosköysi
DTT	<i>Direct Transfer Trip</i> ; suora keskinäislaukaisu, viestiyhteystoiminto suoraan releessä
G703.1	<i>Digitaalinen tiedonsiirtostandardi</i> ; max. nopeus 64 kbps
G703.6	<i>Digitaalinen tiedonsiirtostandardi</i> ; max. nopeus 2048 kbps
GOOSE	<i>General Object Oriented Substation Event</i> ; sähköasemien laitteiden välinen kommunikointitapa
I/O	<i>Input/Output</i> ; tiedon signalointi laitteiden välillä
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> ; kansainvälinen sähköalan standardointi järjestö
IEC 60834	<i>Standardi</i> ; määrittelee telesuojausta
IEC 61850	<i>Standardi</i> ; sähköasemaympäristöön suunniteltu Ethernet-pohjainen lähiverkkoprotokolla
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> ; kansainvälinen tekniikan alan järjestö joka keskittyy sähköön
kbps	kilobittiä sekunnissa, tiedonsiirtonopeuden mittayksikkö
Mbps	megabittiä sekunnissa, tiedonsiirtonopeuden mittayksikkö
MUX	<i>Multiplekseri</i> ; laite, jolla voidaan valita useasta sisääntulevasta signaalista yksi ja ohjata se ulostuloon
OPPC	<i>Optical Phase Conductor</i> ; valokuituvaihejohdin

OPGW	<i>Optical Ground Wire</i> ; ukkosköysi jossa sisäänrakennettu valokuitukaapeli
PLC	<i>Power Line Communication</i> ; kantoaaltoyhteys voimajohtoa pitkin
POTT	<i>Permissive Overreach Transfer Trip</i> ; salliva yliulottuva suojaus
PUTT	<i>Permissive Underreach Transfer Trip</i> ; salliva aliulottuva suojaus
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i> ; kaukokäyttö asema
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> ; sähköasemien Ethernet pohjainen käytönvalvonta- ja ohjausjärjestelmä
Smart Grid	<i>Älyverkko</i> ; mahdollistaa monipuolisen verkon monitoroinnin, ohjauksen ja uusien vaihtelevien energiantuotantomuotojen liittämisen sähköverkkoon
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i> ; TCP/IP-verkkojen hallinnassa käytettävä protokolla
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> ; Internet-liikenteessä käytettävä pakettipohjainen verkko
Wrapped	vaihe tai ukkosjohtimen ympärille kieputettu valokuitu
X.21	<i>Digitaalinen tiedonsiirtoprotokolla</i> ; max. nopeus 64 kbps, paikallisten laitteiden kommunikointiin

1 Johdanto

Tässä insinöörityössä esitellään sähkönsiirtoverkon suojausviestiyhteyksiä ja Siemens SWT 3000 -laitetta siihen käyttöön. Työssä tutustutaan ja käydään läpi telesuojauksen periaatteita ja teoriaa sekä tutustutaan hieman Suomen kantaverkon käytäntöihin verkon suojauksessa. Työssä ei keskitytä verkkoprotokolliin eikä tietoliikennetekniikkaan enempää kuin on tarvetta asian ymmärtämisen kannalta.

Sähköasemien suojausjärjestelmät välittävät eri signaaleja asemien välillä. Tähän käytetään signaalinsiirtoa eli telesuojausta. Telesuojausta tarvitaan sähkönsiirtoverkoissa ja erityisesti Suomen kantaverkossa välittämään tietoa distanssi- ja differentiaalireleiden välillä, jotta nämä voivat toimia luotettavasti ja nopeasti koko johdon matkalla. Tulevaisuudessa lisääntyvä uusiutuvan energian käyttö sekä erittäin suurten tuotantoyksiköiden liittäminen sähkönsiirtoverkkoon luo nopeille ja luotettaville suojausviestiyhteyksille myös todennäköisesti uusia käyttökohteita.

2 Siemens Osakeyhtiö

Tämä työ on tehty Siemens Osakeyhtiölle ja sen Energy Transmission divisioonalle. Energy Transmission toimiala palvelee asiakkaitaan sähkönsiirtoon liittyvissä palveluissa. Pääasiallinen toimipiste sijaitsee Espoon Perkkäällä, ja uudet toimitilat ovat rakenteilla lähettyville. Uusien toimitilojen on tarkoitus valmistua 2013. Tilat täyttävät tiukimmatkin energiansäästöön liittyvät määräykset, ja niissä on sovellettu Siemensin omaa osaamista energia- ja talotekniikan alalta.

Siemens Osakeyhtiö on Siemens AG:n täysin omistama Suomen tytäryhtiö. Siemens Osakeyhtiöllä on tytäryritykset Virossa, Latviassa ja Liettuassa. Siemens AG on perustettu Saksassa vuonna 1847 ja Suomen tytäryhtiö vuonna 1898.

Emoyhtiö Siemens AG:n liikevaihto vuonna 2012 oli 73 miljardia euroa ja tulos 6,3 miljardia euroa. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Münchenissä Saksassa. Maailmanlaajuiset sektorit ovat Industry, Energy, Healthcare, Infrastructure and Cities. Työntekijöitä on maailmanlaajuisesti noin 370 000 ja Suomessa noin 660. Yritys toimii kaikilla mantereilla lähes 190 maassa. [1.]

3 Insinööriyön tavoitteet ja lähtökohdat

Yhteiskunta on tullut yhä riippuvaisemmaksi jatkuvasta ja häiriöttömästä sähkön saannista ja näin energiayhtiöille on tullut entistä tärkeämmäksi saada rajoitettua sähköverkon vikojen vaikutusalue mahdollisimman pieneksi. Viallinen alue on pystyttävä paikallistamaan entistä nopeammin ja tarkemmin sekä kytkemään pois käytöstä nopeasti.

Releiden avulla verkkoa voidaan suojata, mutta tällöin sähköverkosta kytkeytyy useissa tapauksissa tarpeettoman suuria alueita pois käytöstä. Releiden tullessa entistä älykkäämmiksi parempien mikroprosessoreiden ja laskentaohjelmistojen avulla vika-alueita voidaan paikallistaa entistä tarkemmin, mutta tällöinkin rele pystyy havainnoimaan vain omaa suojausalueitaan. Suojausviestiyhteyksien avulla releet saadaan keskustelemaan ja vaihtamaan mittaustietojaan. Tällöin releet pystyvät vertailemaan mittaamiaan ja laskemiaan arvoja toisten releiden tuloksiin ja päättämään entistä paremmin ja pienempien vikojen paikan. Näin saadaan useiden releiden yhteistyöllä selville vikapaikka entistä tarkemmin ja nopeammin, jolloin vain vaurioitunut alue voidaan kytkeä irti sähköverkosta.

Suojauksen viestiyhteyden avulla sähköverkon distanssisuojat saadaan laukaisemaan nopeasti ja varmasti kaikissa johdon vioissa. 400 kV:n sähkölinjoilla tämä toiminta on tärkeää verkon vakauden kannalta. 220 kV ja 110 kV sähköjohdoilla tämä on tarpeellista lyhyillä johdoilla, joissa distanssisuojan mittaustarkkuus ei välttämättä riitä tai joissain tapauksissa nopea laukaisu tarvitaan hitaan (2. vyöhykkeen) laukaisun aiheuttaman maapotentiaalin kasvun takia.

Lisäksi voidaan välittää hälytys sähköyhtiön valvomoon, jossa voidaan tarkastella ja seurata tilannetta etänä. Näin on syntynyt tarve suojalaitteiden suojausviestiyhteyksille sähköverkon välillä, jota kutsutaan usein telesuojaukseksi (*engl. Teleprotection*).

Telesuojausta määrittelevät keskeisimmät standardit ovat IEC 60834-1 ja IEC 61580. IEC 61580 -telesuojausosio on vielä määrittelyn alla, eikä se ole toistaiseksi voimassa kokonaisuudessaan.

4 Suojauksen viestiyhteydet

4.1 Sähköverkon telesuojauksen historia

Sähköverkon suojausviestiyhteyksille alkoi tulla tarvetta distanssisuojien yleistyessä kantaverkossa. Yksittäisen suojan virittäminen johdon viimeiselle osuudelle on vaikeaa ja saattaa johtaa virhelaukaisuihin. Myös johtodifferentiaalireleet tarvitsevat jatkuvaa viestiyhteyttä toistensa välillä, koska releet vertaavat jatkuvasti johdon molempien päiden virtaa keskenään. Ne antavat käskyn katkaisijoille irroittaa johto-osa verkosta, jos mittaustulosten erotus kasvaa yli asetellun rajan. Suojauslaitteiden digitalisoituminen ja mikroprosessorit ovat mahdollistaneet yhä paremman suojauksen ja selektiivisyyden tason sähkönsiirtoverkossa. Näin saadaan rajattua vika-alue nopeammin ja tarkemmin pois verkosta eikä vaaranneta verkon stabiilisuutta, laitteita tai ihmisiä. [2, s. 560; 3, s. 70-73.]

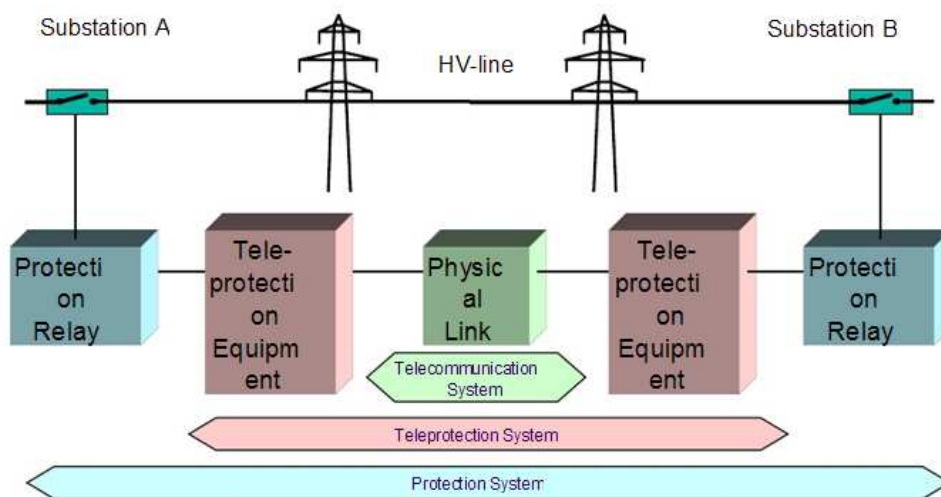
Alkuaikoina viestiyhteyksien ongelmana olivat korkeat kustannukset ja epäluotettavuus. Analogiset signaalit olivat herkkiä häiriintymään sähköaseman ja voimajohtojen magneettikentistä. Lisäksi metallijohtimiin indusoitui herkästi jopa tuhansien volttien jännitteitä erityisesti vikatilanteissa ja maasuluissa. Tämä saattoi vaurioittaa laitteita, johtoja ja käyttäjiä sekä sekoittaa signaalit. Analogiset yhteydet vaativat myös paljon kupari-kaapelointeja sekä kalliita ja hankalasti hoidettavia voimajohtokantaaaltoyhteyksiä (VKA) voimajohtoja pitkin.

Myös analogisia radiolinkkejä käytettiin yleisesti tiedonsiirtoon etenkin harvaan asutuilla alueilla, joissa kaapelointi olisi tullut liian kalliiksi. Haittana näissä oli tiedonsiirtokapasiteetin rajallisuus ja korkeat käyttökustannukset. Analogisilla yhteyksillä tavallinen tiedonsiirtonopeus oli 56 kbps tai 64 kbps. Lisäksi eri valmistajien laitteet eivät olleet yleensä yhteensopivia eikä yhteistä standardia ollut ennen digitaalisten laitteiden tuloa 1990-luvulla. [4.]

4.2 Suojausviestiyhteyksien vaatimuksia

Suojausviestiyhteyksiltä vaaditaan erittäin suurta luotettavuutta ja häiriöiden sietoa. Näillä yhteyksillä siirretään etenkin sähkönsiirron kantaverkon tapauksessa vain releiden välisiä tietoja, ja järjestelmät on eristetty muista verkoista turvallisuuden ja nopeuden maksimoimiseksi. Vian erottaminen verkosta pitäisi tapahtua alle 100 ms:ssa sen alkamisesta. Tämä asettaa suuria vaatimuksia nopeudelle, koska johdon irtilaukaisukäskyt yleensä vielä varmistetaan havahtuneelta releeltä. Viestien tulisi kulkea mahdollisimman vähäisellä viiveellä viestiä välittävien laitteiden läpi releeltä releelle.

Protection System Architecture



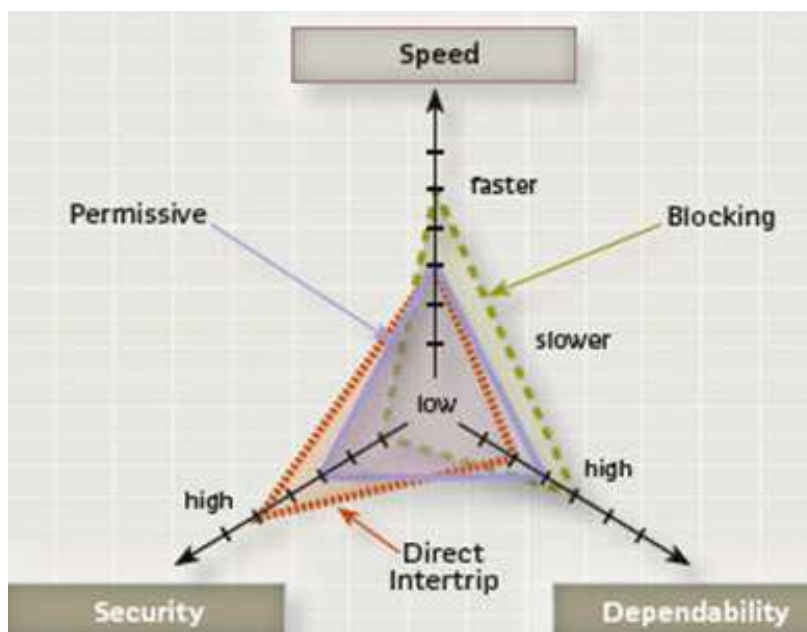
Kuva 1. Suojauksen jaottelu eri alueisiin [5]

Kuvassa 1 on esitetty, kuinka rele al-aseamalla A välittää tietonsa jossain muodossa telesuojauslaitteelle A, joka välittää tiedot haluttua siirtotietä pitkin telesuojauslaitteelle B, joka taas välittää tiedon eteenpäin ala-aseman B releelle.

Kuvasta voitiin havaita, miten johdon molemmissa päissä releet valvovat ja mittaavat linjan sähköisiä arvoja. Releet voivat vaihtaa mittaustietojaan jatkuvasti viestiyhteyden avulla. Jos toinen releistä havaitsee vian, se lähettää välittömästi tiedon toiselle releelle, joka voi joko vahvistaa tiedon, tai havahtunut rele voi myös antaa suoran käskyn (*Trip*) laukaista johdonsuoja katkaisijat ja erottaa viallinen osa muusta sähköverkosta. Tällöin vikaantunut johdin saadaan molemmista päistään välittömästi irti verkosta, ja vika ei pääse laajentumaan, eikä laiterikkoja synny.

IEC 61850 -standardiin ollaan liittämässä myös telesuojaukseen liittyviä suosituksia. Uusissa suosituksissa yritetään saada telesuojaus ja sähköasemien yleinen TCP/IP-pohjainen SCADA-automaatio keskustelemaan keskenään niin, että telesuojauksen äärimmäistä kiireellisyyttä ja luotettavuutta vaativat GOOSE-signaalit saavat aina etusijan viestinnässä. Näin saataisiin koko sähköaseman tietoliikenne yhden järjestelmän alle. [6.]

Usein vaaditaan, että viestiyhteydet ovat myös kahdennettuja, jolloin yhden tiedonsiirtotien vaurioituminen ei katkaise järjestelmän toimintaa, vaan antaa hälytyksen valvomoon ja laite siirtyy automaattisesti käyttämään toista viestintäkanavaa. Usein valokuituverkko toimii ensisijaisena siirtotienä ja kupari- tai radiolinkki toimii varatienä, mikäli kuidussa havaitaan vaurioita, tai tieto on vääristynyttä, eikä läpäise tarkistusta. Viestiyhteyksissä joudutaan aina tekemään kompromisseja eri ominaisuuksien välillä.



Kuva 2. Viestintäkanavan ominaisuudet eri käyttökohteisiin [7, s. 3]

Kuvassa 2 esitetään, mitä ominaisuuksia viestintätavalta voidaan vaatia.

Kuvassa 2 on näytetty eri signaalien vaatimuksia, eli

- estosignaalin (*Blocking*) on oltava nopea ja käyttövarma
- suoran laukaisun (*Direct Intertrip*) signaalin oltava hyvin turvallinen
- sallivan signaalin (*Permissive*) tulee olla kompromissi nopeuden, turvallisuuden ja käyttövarmuuden välillä [7, s. 3.]

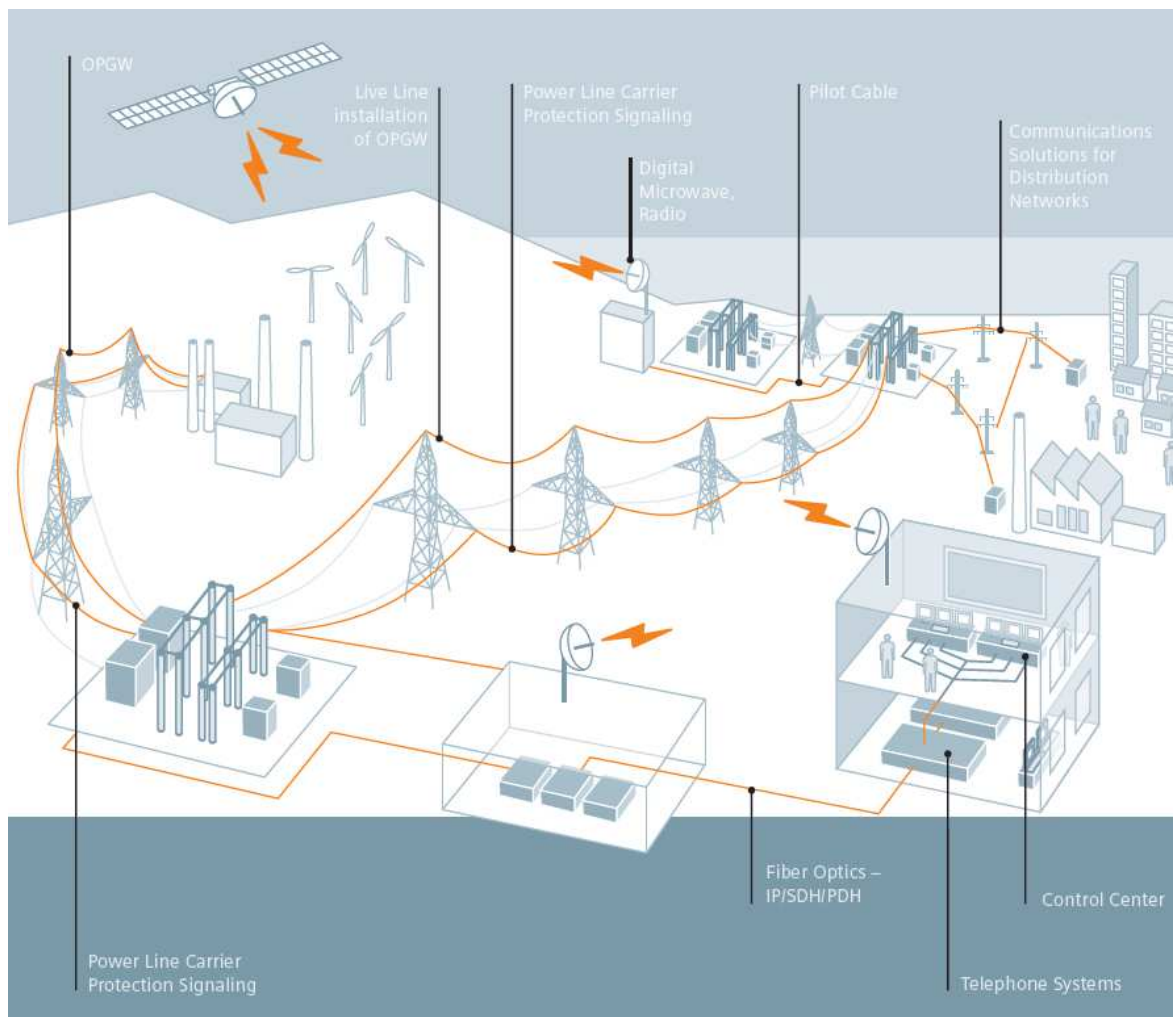
Analogisissa laitteissa usein ilmennyt ongelma oli signaalien yli- tai alikuuluminen verkossa, jolloin viesti saatettiin tulkita väärin, tai se ei saapunut koskaan perille. Tämä saattoi aiheuttaa väriä laukaisuja verkon katkaisijoissa ja johtaa turhiin käynteihin sähköasemilla sekä sähkön toimitusvarmuuden heikentymiseen asiakkaille. Digitaalisessa muodossa olevan tiedon virheet on helpompi havaita ja korjata tai vaihtaa yhteys toiseen tiedonsiirtotiehen, mikäli virheiden määrä viestinnässä ylittää asetellun rajan.

4.3 Nykyinen tilanne

Nykyisin ollaan siirtymässä yhä enemmän digitaaliseen tiedonsiirtoon suojausviestinnässä. Kehitys alkoi 1990-luvulla elektroniikan halventuessa ja luetettavuuden parantumisessa. Lisäksi valokuituyhteydet alkoivat yleistyä ja esimerkiksi valtakunnallinen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj pitää hallussaan huomattavaa valokuituverkkoa, joka on rakennettu kantaverkon OPGW-ukkosjohdin kaapeleiden sisään asennettujen kuitukaapeleiden ja maahan upotettujen kuitukaapeleiden avulla. Fingrid Oyj ja muut verkkoyhtiöt kuitenkin vuokraavat yleensä tiedonsiirtokapasiteetin teleoperaattoreille ja ostavat näiltä tarvittavan tiedonsiirtokapasiteetin. [8, s. 404 - 411]

Valokuitu on teknisesti erinomainen ratkaisu sähköasemilla ja sähkönsiirtoverkossa, koska se on immuuni sähkömagneettisille häiriöille ja sillä saavutetaan pitkiä siirtomatkoja sekä suuria tiedonsiirtokapasiteetteja. Alkuaikoina optiset yhteydet olivat nopeudeltaan vaatimattomat 2 - 16 Mbits, mutta nykyään yksittäinen valokuitukaapeli voi välittää tietoa jopa 10 000 Mbits:n nopeudella. [4]

Digitaaliset laitteet mahdollistavat myös entistä monipuolisemman datan siirtämisen laitteiden välillä entistä nopeammin. Vanhan sukupolven analogisilla laitteilla päästiin noin 20 - 40 ms viestin käsittelyaikoihin laitteissa kun nykyisillä digitaalisilla laitteilla päästään alle 10 ms vasteaikoihin. Tämä nopeuttaa entisestään suojauksen toimintaa, kun viallinen johto-osa tai laite saadaan entistä nopeammin kytkettyä irti verkosta ja estetään sen vaurioituminen. Lisäksi digitaalisilla laitteilla on entistä helpompi valvoa järjestelmän kuntoa ja vähentää turhia käyntejä itse laitteiden luona sähköasemilla. Suojausviestilaitteet eivät ota kantaa, mitä tietoa ne siirtävät, ja jotkin paikalliset energiyhtiöt käyttävät niitä myös esimerkiksi kulutustietojen siirtämiseen sähköasemilta valvomoihin. [2; 4; 5]



Kuva 3. Nykyaikainen suojausviestiverkko. [9]

Kuvassa 3 on havainnollistettu nykyaikainen sähkösiirtoverkon suojausviestiverkko ja sen osat. Tiedonsiirron ja luotettavuuden varmistamiseksi käytetään useita erillisiä reittejä.

4.4 Suojausviestiverkon kehitys tulevaisuudessa

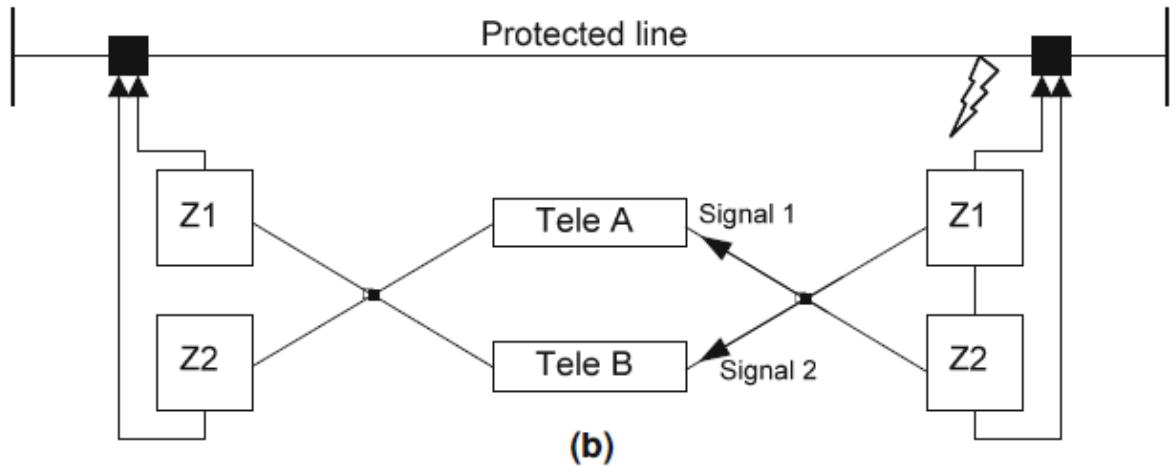
Älyverkko-ajattelun (*Smart Grid*) sekä uusiutuvan energian tuotannon ja yhä isompien laitosten liittyessä sähkösiirtoverkkoon on myös suojausviestiyhteyksien oltava aikaisempaa monipuolisempia. Sähkön siirtomäärä verkoissa voi vaihdella voimakkaasti tuotannon ja kulutuksen mukaan. Tämä vaatii entistä parempia laitteita valvomaan verkon toimintaa. Tällöin erityisesti viestiyhteyksien eri asemien välillä on toimittava nopeasti ja luotettavasti, jottei ei tapahdu virheellisiä toimintoja, ja releet sekä valvontalaitteet ovat aina varmasti selvillä sähköverkon halutusta tilanteesta.

Äkillisten tuotannon muutosten varalta myös telesuojauksen käyttöä ollaan laajentamassa ennalta määriteltujen kulutuskohteiden erittäin nopeaan irtikytkemiseen verkoista eri maissa. Tällä yritetään varmistaa verkon vakaus esimerkiksi suuren voimalaitoksen äkillisen verkosta tippumisen sattuessa tai tuulivoiman tuotannossa tapahtuvan erittäin nopean muutoksen tapahtuessa. Tulevaisuudessa on Suomessakin varauduttava tällaisten verkkosuojien rakentamiseen. [3.]

Digitalisoituminen tuo myös ongelmia. Yksi esiin tullut uhkakuva on mahdolliset tietoturvaongelmat. On pelätty, että tiedonsiirron keskittyessä ja siirtyessä digitaalisessa muodossa yleistä tiedonsiirtoverkkoa pitkin on ulkopuolisilla mahdollisuus tunkeutua järjestelmään ja aiheuttaa vahinkoja. Toinen uhkakuva liittyy tekniikan nopeaan kehitykseen ja tukipalveluiden saatavuuteen. Laitteiden käyttäjät vaativat jopa vuosikymmenien tuotetuen laitteilleen ja tämä asettaa valmistajille vaatimuksia varaosien, ylläpidon ja teknisen neuvonnan osalta. Tekniikan nopea kehitys voi johtaa laitteiden kriittisten varaosien vaikeaan saatavuuteen jo muutamien vuosien kuluttua markkinoille tulosta. Tämä voi pakottaa valmistajat varastoimaan suuria määriä varaosia pitkiksi ajoiksi samalla kun laitteita tuodaan markkinoille.

4.5 Viestiyhteydet Suomessa

Suomen kantaverkossa käytetään telesuojausta aina 400 kV:n siirtolinjoilla. 220 kV:n ja 110 kV:n linjoilla käytäntö vaihtelee. Yleisesti vain lyhyillä johdoilla tai tapauksissa joissa tarvitaan nopeaa laukaisua yhteydet ovat käytössä. Vähintään tuplattuja suojausviestiyhteyksiä käytetään yleisesti 400 kV:n linjoilla ja näin pyritään varmistamaan tiedonsiirron luotettavuus kaikissa tilanteissa.



Kuva 4. Esimerkki kahdennetusta suojausviestiyhteydestä distanssireleiden välillä. [3 s. 71]

Kahdennetuissa suojausviestiyhteyksissä yhteyksien on oltava täysin erillään ja ainakin toisen tulisi olla valokuitupohjainen. Lisäksi vaaditaan myös releiden tuplaamista 400 kV:n linjan molemmissa päissä. Releiden on myös oltava eri tai erilaisella logiikalla toimivia malleja, jotta vältetään mahdollisen ohjelmointivirheen tai piilevän vian aiheuttama virhetilanne suojauksessa. Yhteyden käytettävyyden on oltava yhdellä viestiyhteydellä 99,7% ja kahdella yhteydellä 99,999% vuodessa.

Suurimpana riskinä koko voimajärjestelmän vakaudelle pidetään suojausviestiyhteyksien toimimattomuutta. Viestiyhteyksien menetys voi pahimmillaan johtaa koko verkon suojauksen vääränlaiseen toimintaan tai täydelliseen toimimattomuuteen. [3, s. 70 - 71, 82 - 84]

4.6 Yleisimmät viestiyhteydet

4.6.1 Kupariyhteydet

Kuparikaapeliyhteydet soveltuvat lyhyille etäisyyksille. Pitkillä matkoilla ongelmaksi nousevat signaalin vaimentuminen ja vääristymät. Mikäli käytetään teleyrityksen verkkoa, verkon operaattori voi lisäksi asettaa omia vaatimuksiaan käytettäville laitteille ja linjan käytölle. Indusoituvat ylijännitteet erityisesti vikatilanteiden aikana ovat ongelmallisia. Teleoperaattorit ovat myös pitäneet kupariverkon investoinnit matalalla ja puhelinverkko alkaa monesti olla huonossa kunnossa. Ongelmana kuparikaapeloinneissa on myös arkuus sääilmiöille ja esimerkiksi puiden kaatuminen linjoille. Enää uusia kupariyhteyksiä ei rakenneta.

4.6.2 Voimajohtokantaaaltoyhteydet

Voimajohtokantaaaltoyhteyksiä (VKA, engl. *PLC*) on käytössä enää muutamalla lyhyellä välillä kantaverkossa, joihin korvaavaa tekniikkaa ei ole onnistuttu toimittamaan. Poistuvaa tekniikkaa eikä uusia laitteistoja enää rakenneta.

4.6.3 Radiolinkit

Radiolinkit ovat käytössä erityisesti ala-asemayhteyksissä syrjäisillä alueilla, joihin kaapelointi olisi kallista. Ne mahdollistavat varsin pitkät siirtomatkat ja kohtuullisilla investoinneilla. Käytössä on lähinnä analogisia laitteita, mutta myös joitain digitaalisia laitteita on olemassa. Ongelmana ovat huonot siirtonopeudet ja epäluotettavuus. Toiminta-
taajuudesta riippuen radiolinkit voivat vaatia näköyhteyden kohdeasemaan, mikä nostaa rakennuskustannuksia. Radiolinkit ovat lisäksi alttiina ilmastollisille häiriöille kuten ukkoselle ja kovalle vesisateelle, jotka huonontavat signaalin laatua ja aiheuttavat häiriöitä. Yleensä eivät sovi suojausviestintään epäluotettavuutensa takia.

4.6.4 Optiset kaapelit

Optisia valokuitukaapeleita käytetään sekä sähköasemien sisäiseen että niiden väliseen viestintään. Ne tarjoavat suuria tiedonsiirtonopeuksia ja hyvää häiriön kestoa

sähköasemien ja voimajohtojen häiriöalttiissa ympäristössä. Ne ovat myös immuuneja indusoituville jännitteille käytettäessä metallittomia kaapelityyppejä. Optisten kaapeleiden ongelmia ovat kuitenkin alttius vedelle kaapelin vaipassa mahdollisesti ilmenevien vaurioiden takia, sekä korkea hinta. Myös vahvistinväli voi olla ongelma pitkällä matkoilla, koska se voi olla maksimissaan 150 km.

Suurin osa kantaverkon valokuituyhteyksistä on ukkosjohtimissa kulkevia. Tämä laskee niiden rakennuskustannuksia ja mahdollistaa helpomman asennuksen myös jo olemassa oleville siirtolinjoille. Tyyppeinä käytetään OPGW-, ADSS-, OPPC- ja Wrapped-tyyppisiä johtimia. Haittana tässä tyypissä on se, että mikäli esimerkiksi johdinpylväs kaatuu, ja johtimet vaurioituvat, katkeaa myös tiedonsiirtoyhteys hyvin todennäköisesti samalla. [2, s. 558 - 563; 4; 8, s. 385 - 414]

4.7 Suojausviestiyhteyksien käyttö

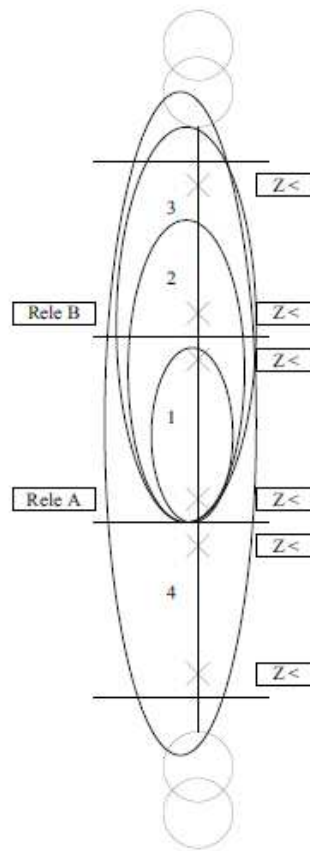
Sähkönsiirronkantaverkossa suojausviestiyhteyksiä käytetään yleisesti distanssisuojauksen yhteydessä. Differentiaalisuojauksessa releet kytketään mahdollisuuksien mukaan suoraan kiinni toisiinsa valokuidulla ilman mutkia. Distanssisuojauksissa voidaan siirtää esimerkiksi POTT-, PUTT- tai DTT-käskyjä. [2, s. 560 - 561]

DTT:tä eli suoraa keskinäislaukaisua ja PUTTia eli aliulottuvaa toimintoa käytetään distanssireleiden kanssa. Muuntajakentissä käytetään yleisesti DTT:tä ja johdon päissä PUTTia, koska monihaaraisen johdon distanssirele (Z) ei välttämättä aina havahdu johtovioissa. [10]

5 Sähkösiirtoverkon suojaus

5.1 Distanssisuojaus

Distanssisuojauksessa käytetään distanssireleitä (Z), joita kutsutaan yleisesti etäisyysreleiksi niiden toimintatavan takia. Rele mittaa jatkuvasti verkon virtaa ja jännitettä, joiden avulla saaduista tiedosta se laskee impedanssin, joka taas on verrannollinen etäisyyteen. Tarkoituksena on laukaista oikosulkua lähinnä oleva katkaisija irti, mikäli verkossa havaitaan vika.



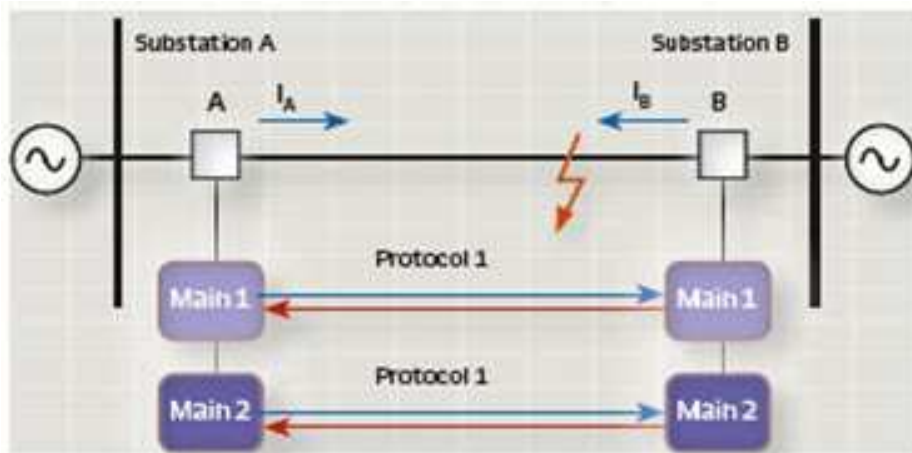
Kuva 5. Distanssisuojauksen alueet. [11, s. 15]

Kuvasta 5 havaitaan, miten distanssireleillä on normaalisti useita eri toiminta-alueita. Ensimmäinen rele toimii myös varasuojana seuraavalle releelle. Jos vika havaitaan toisen releen toiminta-alueella, rele A ei saa laukaista ennen relettä B. Tämä voidaan tehdä porrastamalla releiden suojausalueiden laukaisuaikoja tai käyttämällä viestiyhteyksiä releiden väliseen kommunikointiin ja toiminnan koordinointiin. Viestiyhteys ei ole välttämätön tämän reletyyppin toiminnan kannalta, mutta se nopeuttaa ja tarkentaa

vikapaikan löytymistä ja poiskytkemistä mikäli se on käytettävissä. [2, s. 210 - 214; 11, s. 14 - 15]

5.2 Differentiaalisuojaus

Differentiaalisuojauksessa käytetään differentiaalireleitä (X). Differentiaalirele mittaa virtaa ja vertaa sen tulosta johdon toisessa päässä olevan releen arvoihin. Mikäli virtojen erotus kasvaa yli asetellun arvon suoritetaan laukaisu ja viallinen johto-osa irroiteetaan verkosta. Tämä reletyyppi on täysin selektiivinen ja suojaa näin ollen vain omaa aluettaan. Tämän tyyppin releet ovat myös hyvin nopeita ja siten hyviä herkkien laitteiden ja johtojen suojaukseen. Differentiaalirele vaatii toimiakseen jatkuvan viestiyhteyden vastapäähän.

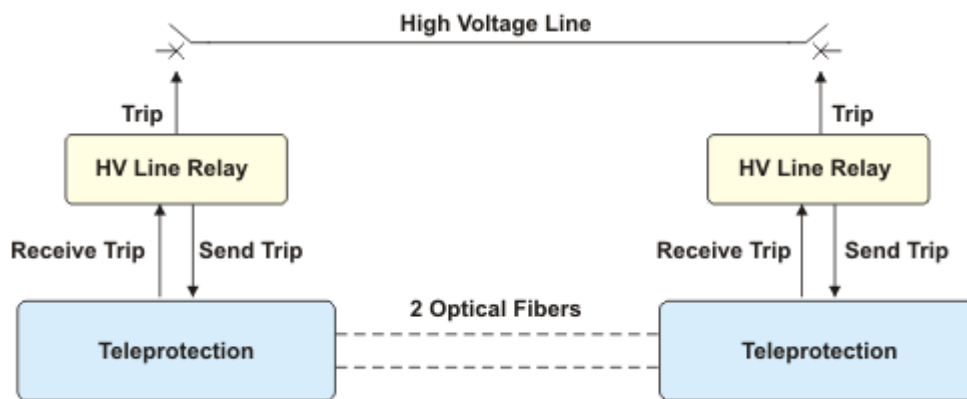


Kuva 6. Vian havaitseminen ja releiden viestintä [10 s. 5]

Kuvasta 6 nähdään differentiaalisuojauksen toimintaperiaate. Rele A huomaa virran I_A nousevan, mutta ei vielä välttämättä havahdu tästä. Rele B taas huomaa virran I_B suunnan vaihtuvan ja lähettää tiedon releelle A. Näillä tiedoilla rele A ymmärtää, että johdolla on vika ja antaa välittömän käskyn katkaisijalle A kytkeä viallinen johto-osa irti ja lähettää käskyn releelle B, joka myös antaa välittömän käskyn katkaisijoille B. [3, s. 82 - 84; 11, s. 13 - 14]

5.3 Suojauksen toiminta vian aikana

Kantaverkon vakauden kannalta suojausten ja -viestiyhteyksien nopea ja virheetön toiminta on ensiarvoisen tärkeää. Suojauksen on oltava kaikissa tilanteissa mahdollisimman nopea haittojen minimoinnin ja kantaverkon vakauden takia. Sen on myös oltava luotettava kaikissa suojausalueen vioissa joka tilanteessa ja vain vioittunut osa verkosta tulisi kytkeä irti vian sattuessa. Lisäksi suojauksen olisi toimittava ainoastaan tapauksissa, joihin se on suunniteltu. [10, 13]



Kuva 7. Suurjänniteverkon suojausesimerkki. [12]

Kuvasta 7 nähdään kuinka ensimmäinen rele antaa käskyn (*Send Trip*), jonka telesuojauslaite välittää kahta erillistä valokuitupohjaista viestikanavaa pitkin välittömästi toiselle releelle (*Receive Trip*). Toinen rele voi omiin mittaus- ja laskentatietoihinsa nojaten arvioida, onko kyseessä todellinen vika, mahdollisesti toisen releen toimintahäiriö tai väärin tulkittu viesti. Tilanteessa, jossa molemmat releet toteavat vian todella olevan olemassa, antavat ne katkaisijoille molemmissa päissä käskyn (*Trip*), joka irrottaa linjan välittömästi verkosta.

Vioittuneen osion irtikytkemiseen kuluva aika voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$T_{Total} = T_{REL} + T_{AC} + T_{BR} \quad (1)$$

Vian irtikytkemisaika koostuu seuraavista osista:

T_{REL} on releellä kuluva aika vian havaitsemiseen

T_{AC} on käskyn siirtoaika laitteelta katkaisijalla plus mahdollinen signaalin siirtoaika toiselle releelle tai laitteelle

T_{BR} on katkaisijan toiminta-aika

T_{Total} kokonaisajan tulisi olla alle 100 ms, maksimissaan 5 sykliä 50 Hz:n taajuudella

Tavoitellusta alle 100 ms:n ajasta voidaan päätellä, että asioiden on tapahduttava nopeasti ja varmasti, jotta haluttuun laukaisuaikaan päästäisiin mahdollisimman varmasti. Jokainen ylimääräinen millisekunti, jonka vika saa kehittyä kuumentaa johtimia, ylikuormittaa laitteita ja aiheuttaa vaaraa ihmisille. Nämä voivat lyhentää laitteiden käyttöikää ja myöhemmin aiheuttaa vääränlaista toimintaa. [5, s. 19; 12; 13]

6 Siemens SWT 3000 -laite

Työssä tutustuttiin myös Siemens SWT 3000-telesuojauslaitteeseen ja sen käyttöohjelmistoon PowerSysiin. Lisäksi tutkittiin laitteen soveltuvuutta telesuojaukseen Suomessa.



Kuva 8. Siemens SWT 3000 -laite

Kyseessä on uuden sukupolven suojausviestilaite, joka yhdistää analogiset ja digitaaliset ominaisuudet yhteen laitteeseen. Laite itsessään on modulaarinen ja halutut ominaisuudet saadaan erilaisten lisäkorttien avulla. Samaan aikaan on mahdollista käyttää analogisia, digitaalisia, sekä valokuitupohjaisia viestikanavia, ja jokainen lähtö on ohjelmoitavissa yksitellen tarpeen mukaan.

Saatavilla olevan valokuitumuuntimen avulla laite itsessään pystyy välittämään tietoja ilman erillisiä vahvistimia tai multipleksereitä valokuituverkossa. Tällöin säästetään tilaa ja vältetään erillisen laitteen ostamiselta ja ylläpidolta.

Laitteen ominaisuuksia

Laite on yhteensopiva IEC 60834-1 - ja IEC 61850 -standardien kanssa, mikä mahdollistaa hyvän yhteensopivuuden eri valmistajien laitteiden kesken sähköasemaympäristössä. Lisäkorttina saatavilla on optinen moduuli, joka on IEEE C37.94-standardin mukainen ja yhteensopiva eri valmistajien laitteiden kanssa. Ethernet-moduulin avulla laite voidaan haluttaessa liittää suoraan sähköaseman IEC 61850 -pohjaiseen tiedonsiirtoverkkoon. IEC 61850-liikennöintistandardi mahdollistaa myös GOOSE-viestinnän eli

tiedonsiirron suoraan suojaus- ja ohjausyksiköiden välillä. Aikasynkronointi voidaan ottaa jo olemassa olevista järjestelmistä tai ulkopuolista lähteistä kuten GPS.

Turvallisuuden varmistamiseksi käytössä on useita käskyjen koodaustapoja, joilla varmistetaan tiedon lähettäjä ja viestin oikeellisuus. Lisäksi laite sisältää Siemensin kehittämän *Impulse Noise Compression*-teknologian (INC), jolla parannetaan analogisten signaalien kuuluvuutta haastavissa olosuhteissa. Digitaalisessa viestinnässä käytetään laitteiden osoitteenmuodostusta, jonka avulla tiedetään lähettäjä ja vastaanottaja, eikä käskyä toteuteta väärässä kohteessa signaalin harhautuessa.

Protection Mode		Command I/O		Transmission			
		Binary	IEC 61850	Coding F6 Modulation	Coded Tripping	Path Analog	Digital
1	Double system protection	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Single phase protection	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	4 commands with priority	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3A	4 independent commands	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3B	2 plus 2	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	1 single command active	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5A	3 independent commands	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5D	8 independent commands	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
6	Multi Command Mode (24) iSWT integrated into PowerLink	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	

Kuva 9. SWT 3000 toimintotiloja.

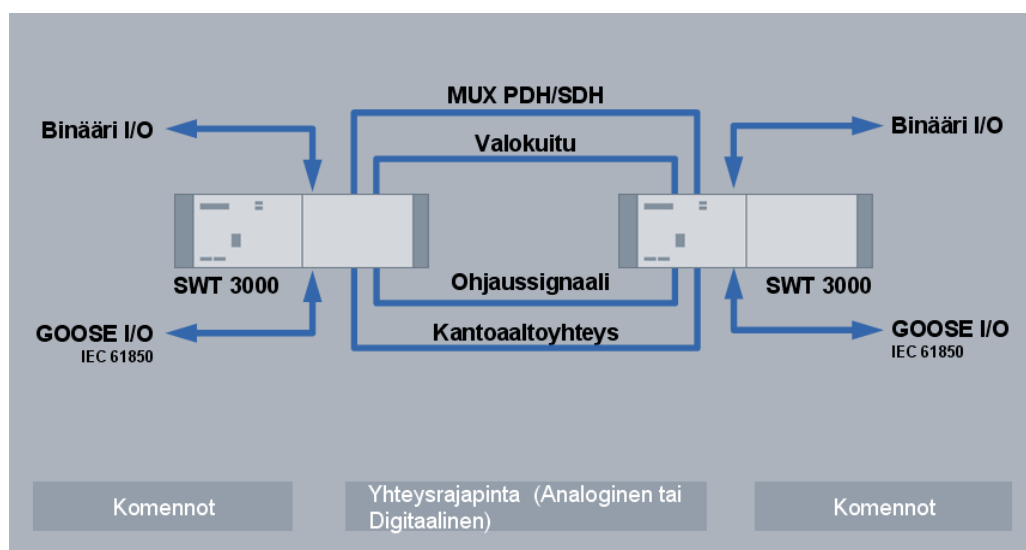
Kuvassa 9 on esitetty laitteen erilaisia toimintatiloja. Vasemmassa laidassa on suojaus-toiminnon numero ja lyhyt kuvaus siitä. Keskellä on ilmoitettu missä toimintaympäristöissä mikäkin komento on mahdollinen. Kuvion oikeasta puoliskosta nähdään, mitä koodausmahdollisuuksia suojausviestiin on mahdollista saada, ja mitä siirtoteitä on mahdollista käyttää. Komennot voidaan välittää binääri-muodossa tai IEC-61850-mukaisen datana.

Digitaalisista tiedonsiirtotavoista tuettuina ovat X.21, G703.1 ja G703.6. Analogiset viestit voidaan reitittää laitteen läpi minimissään 10 ms:ssa ja digitaaliset 3 ms:ssa. Mahdolliset häiriöt signaalissa voivat pidentää välitysaikaa. I/O-tulojen jännite valitaan manuaalisesti laitteen takapaneelissa olevilla siltauksilla välillä 24/48/60/110/250 V DC.

Laitteeseen on saatavilla toinen virtalähde, jolloin molemmat toimivat samanaikaisesti, eikä yhden syötön häiriintyminen vaikuta laitteen toimintaan. Tämä lisää toimintavarmuutta, kun virtalähteiden syötöt ovat eri lähteistä. Virtalähteet voivat käyttää eri käyttöjännitteitä välillä 24/48/60/110/220/250 V DC ja 115/230 V AC 47-63 Hz.

6.1 SWT 3000 –laitteen käyttötapoja

Laitteen yleisin käyttökohde on suojausviestinnässä sähköverkoissa. Muita käyttötapoja löytyy esimerkiksi öljy- ja kaasuteollisuudesta pitkien putkilinjojen suojaamiseen.



Kuva 10. SWT 3000 -laitteen mahdollisia kytkentätapoja. [15]

Kuvassa 10 on esitetty erilaisia käyttötapoja laitteelle. SWT 3000 ei ota kantaa siirrettävään tietoon, vaan toimittaa tiedon haluttuun määränpäähän mahdollisimman nopeasti tai muulla halutulla tavalla. Signaaleihin on mahdollista asettaa viiveitä, lukituksia tai koodauksia, mikäli käyttäjä haluaa esimerkiksi estää liian herket tai virheelliset relelaukaisut sähköverkossa. Laite välittää aina viestit useita reittejä pitkin. Tämä auttaa havaitsemaan viat siirtotieissä ja näin pystytään välittömästi siirtymään oikein toimivalle. Työn liitteessä 1 on esimerkki suojauskaaviosta, miten laite liitetään suojausjärjestelmään.

Uuden mallin etuna on mahdollisuus toimia vanhassa analogisessa maailmassa vanhojen yhteyksien kanssa sekä samalla mahdollistaa tulevaisuudessa siirtymisen digitaaliseen aikaan modernisointien yhteydessä. Myös molempien yhtäaikainen käyttö

onnistuu haluttaessa. Digitaaliset ja analogiset komponentit on erotettu toisistaan turvallisuuden ja luotettavuuden varmistamiseksi.

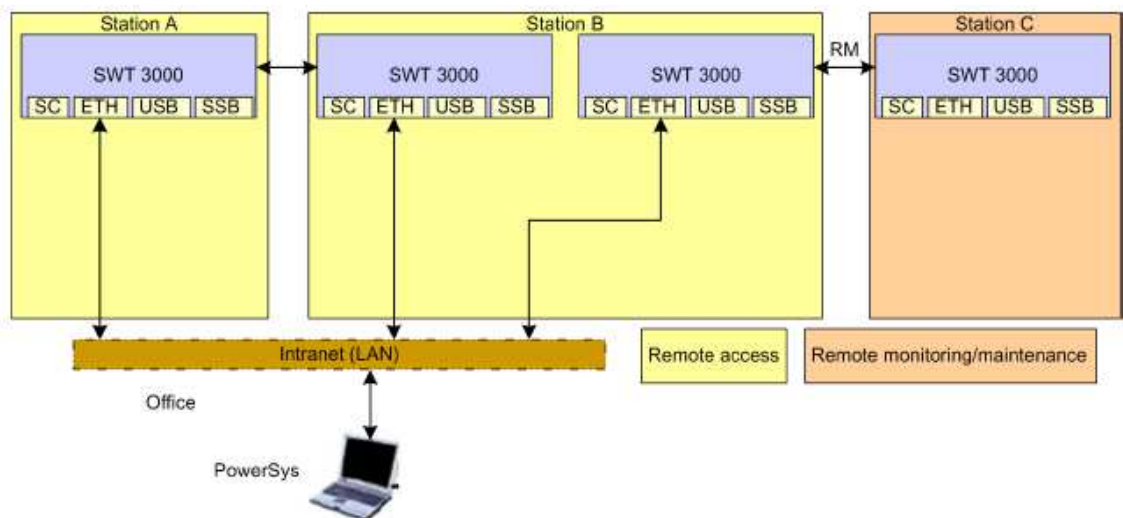
6.2 SWT 3000 -laitteen käyttö

Paikallinen hallinta

Laitetta voidaan hallita paikanpäällä PC-tietokoneen ja PowerSys-ohjelmiston avulla. Paikallista hallintaa varten etupaneelista löytyy USB-B- ja RJ45-liittimet. Laitteen takaa löytyy lisäksi huoltoväylä RS232 tähän tarkoitukseen.

Etäkäyttö

Myös etäkäyttö on mahdollista. Etäyhteyden avulla voidaan hallita useita laitteita yhdestä paikasta ja näin helpottaa järjestelmän ylläpito- ja muutostöitä. Etäkäytön ollessa käytössä käyttäjän on kiinnitettävä tietoturvaan erityistä huomiota.



Kuva 11. Eri tapoja hallinta SWT 3000 -laitteita

Kuvassa 11 on esitetty erilaisia tapoja hallita SWT 3000 -laitteita.

- SC huoltoväylä
- ETH ethernet-liityntä

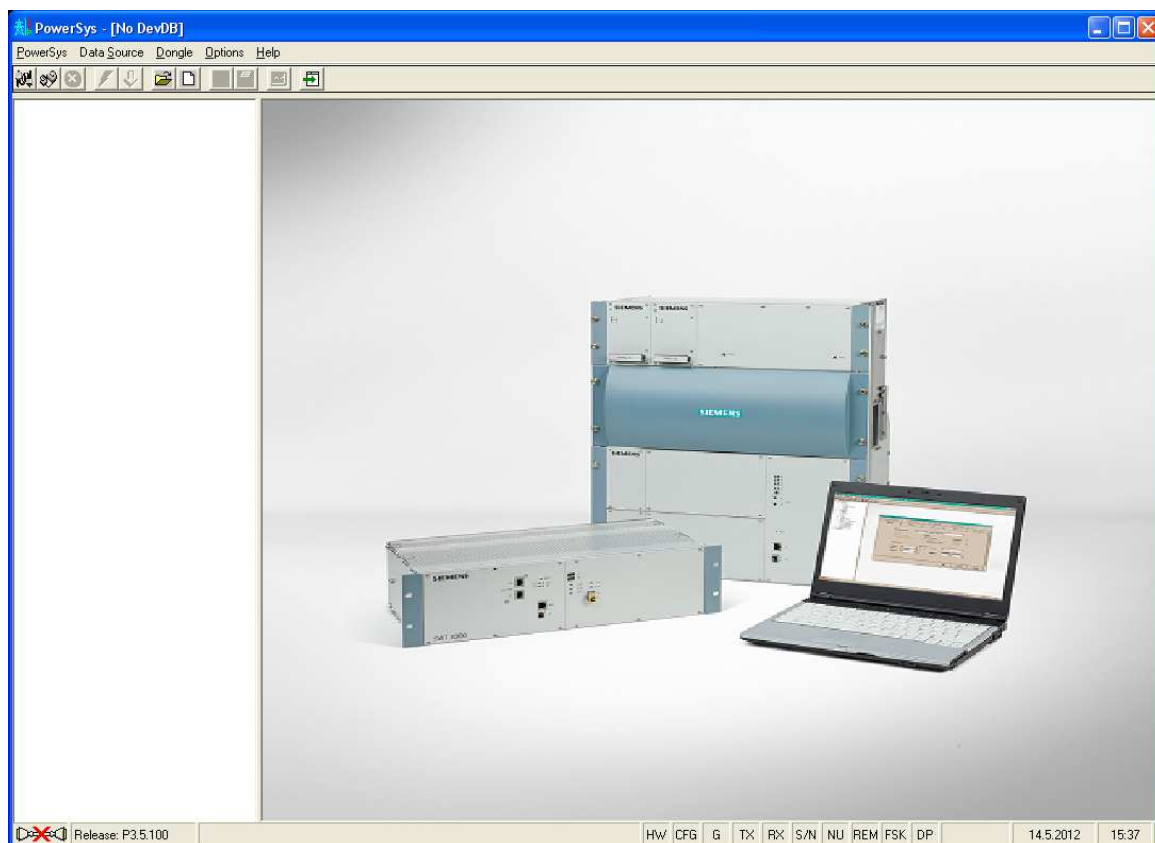
- USB B-liitin
- SSB kaukovalvontaliittymä
- RM kaukokäyttökanava

Pääasiallinen hallintaohjelmisto on Siemensin PowerSys. Laite on yhteensopiva minkä tahansa SNMPv2-verkonhallintajärjestelmän (*Simple Network Management Protocol version 2*) kanssa lisäämällä se järjestelmän laitetietokantaan. Liittäminen tapahtuu etupaneelin NMS (Network Management System) RJ45-liittimen kautta suurempaan TCP/IP-pohjaiseen verkonhallintajärjestelmään. SNMPv2-verkossa laite liittyy saumattomasti suurempaan koko sähköverkkoa ohjaavaan järjestelmään ja vähentää erillisten ohjelmistojen tarvetta. RS232-huoltoväylän kautta voidaan myös tarkkailla ja ohjata laitetta etänä. Tällöin käytetään Remote Management tekniikkaa.

6.3 SWT 3000 -laitteen hallintaohjelmistot

PowerSys

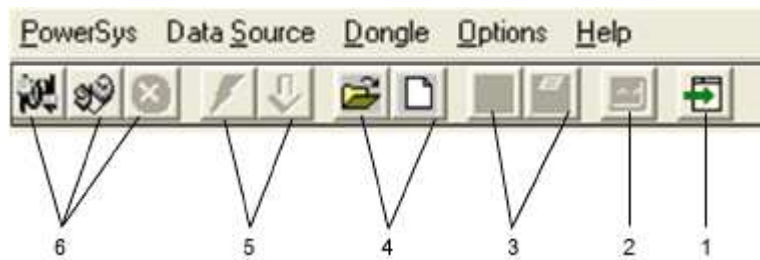
SWT 3000 -laitteen hallintaan on oma ohjelmistonsa PowerSys. Ohjelmisto on Siemensin kehittämä ja soveltuu SWT 3000:n lisäksi saman valmistajan PowerLink-sarjan laitteiden hallintaan. PowerLink-laitteistot siirtävät tietoa voimajohtokantaaaltoyhteyksien (VKA) kautta. Näitä käytetään samoissa järjestelmissä kuin telesuojauslaitteita. Näin voidaan hallinnoida suurempaa kokonaisuutta yhdestä paikasta yhdellä ohjelmistolla, mikäli käytössä on Siemensin valmistamia ja PowerSys-yhteensopivia laitteita.



Kuva 12. Aloitusnäkymä PowerSys ohjelmistossa

Ohjelma toimii Microsoft Windows-ympäristössä eikä vaadi käyttäjältä erityistä ohjelmointiosaamista tai laitteiden laajaa tuntemusta. Tavoitteena on ollut kehittää ohjelmasta mahdollisimman yksinkertainen ja käyttäjäystävällinen. Näin entistä useampi ja laitteisiin perehtymätönkin pystyy hoitamaan tehtäviä hyvin lyhyellä koulutuksella sekä manuaalia seuraamalla. Tämä auttaa laskemaan laitteen ylläpitokuluja ja helpottamaan ylläpitoa.

Ohjelmiston avulla voidaan yhteen tai useampaan laitteeseen määritellä tai ladata valmiiksi suunnitellut parametrit ja arvot tai päivittää laitteen ohjelmisto. Ohjelman yläpal-kista löytyvät seuraavat ominaisuudet.

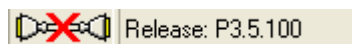


Kuva 13. PowerSys-ohjelmiston yläpalkki

Kuvassa 13 on esitetty näkymä PowerSys-ohjelmiston hallintapaneelistä. Seuraavassa on lyhyesti lueteltuna eri ikonien toiminnot:

1. Avaa MergeTool ohjelman
2. Mittaustyökalu
3. Tallenna ja tulosta ulosanto
4. Avaa valmis tiedosto tai tee uusi
5. Ohjelmoi laite, lähetä asetukset laitteelle
6. Tiedonlähde on laite, etäyhteys tai katkaise yhteys laitteeseen

Vasemmassa alapalkissa on esitetty ohjelmiston ja laitteen välinen tila. Lisäksi siitä nähdään käytössä olevan PowerSys-ohjelmiston versio.

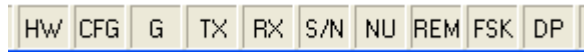


Kuva 14. PowerSys-ohjelmiston ja laitteen välinen tila

Kuvasta 14 nähdään välittömästi laitteen ja ohjelmiston tila. Mikäli johtimen päällä on punainen ruksi, ei ohjelmistolla ja laitteella ole yhteyttä.

- Punainen - ei yhteyttä laitteeseen
- Harmaa - etäyhteys RM-laitteen (*Remote Management*) kautta

- Vihreä - paikallinen yhteys laitteeseen
- Keltainen - vain lukuoikeudet laitteeseen

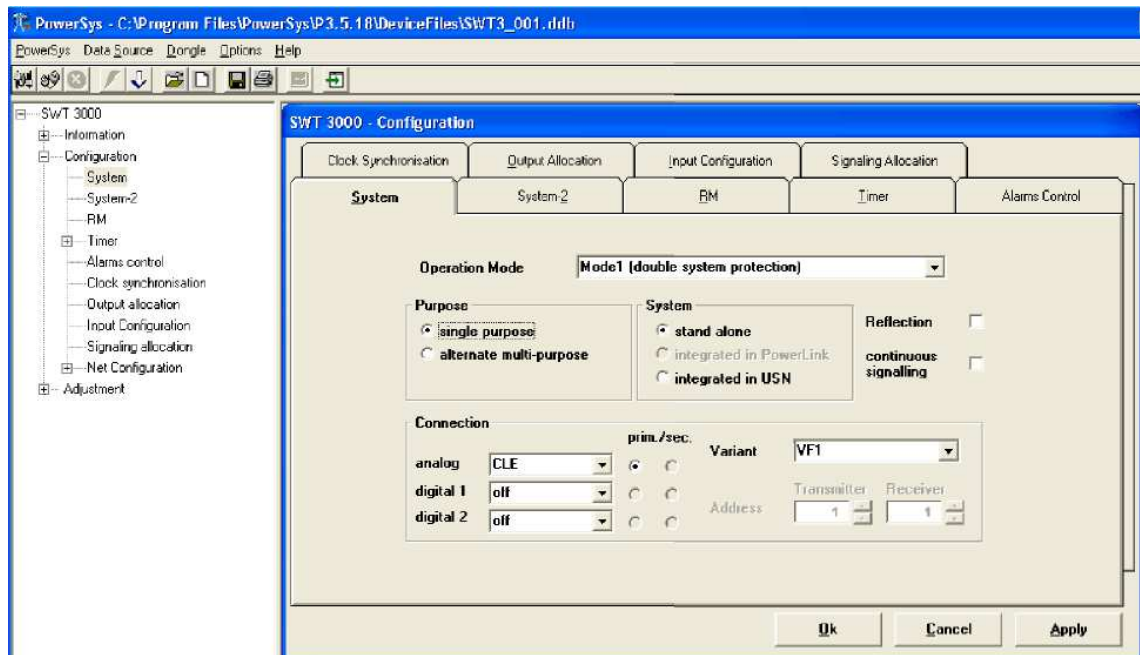


Kuva 15. PowerSys-ohjelmiston hälytyspalkki

Kuvassa 15 on esitetty PowerSys-ohjelmiston hälytyspalkki, jossa

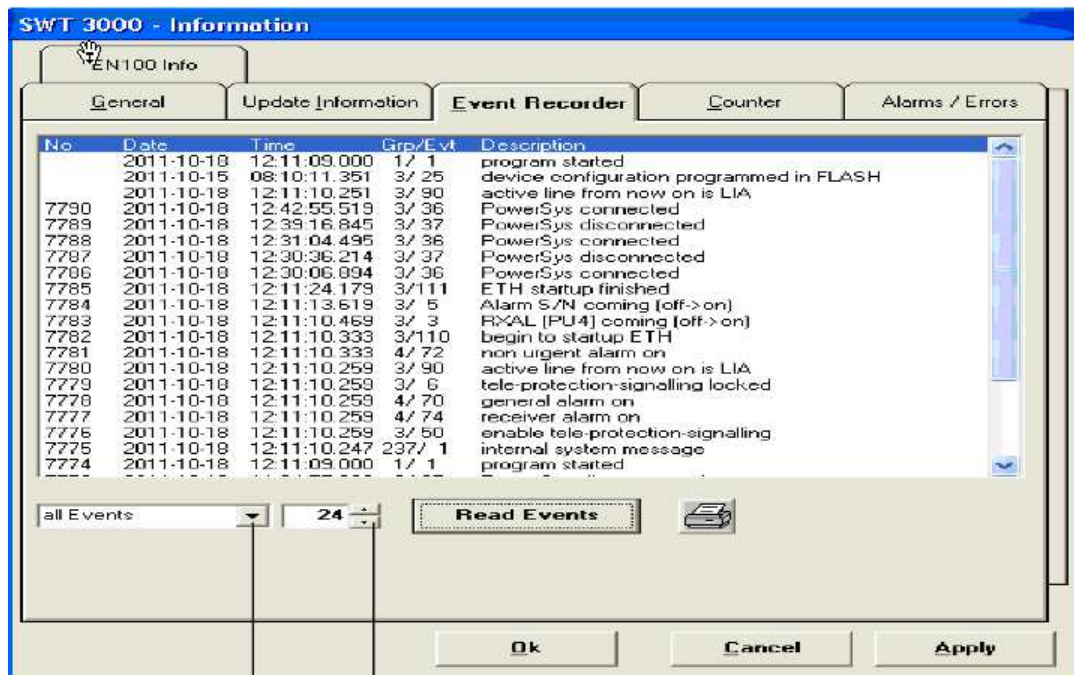
- HW - moduulin hälytys, jolloin moduulissa on vika
- CFG - vika asetuksissa
- G - yleinen hälytys
- TX - lähetinhälytys
- RX - vastaanottohälytys
- S/N - signaalin kohina hälytys
- NU - ei kiireellinen hälytys
- REM - vika etäasemalla
- FSK - iFWT vika, vain jos PowerLink iFWT asennettu
- DP - vaihdettu toissijaisille lähetysnopeudelle

Mikäli jonkin kirjainsarjan kohdalla on punainen tausta, ilmoittaa se viasta tai häiriöstä. Laitteen käyttöönotossa on laitteelle määriteltävä salasana huolellisesti. Mikäli salasana unohdetaan, laite on lähetettävä valmistajalle uudelleen avattavaksi.



Kuva 16. Näkymä SWT 3000 ollessa kytkettynä PowerSys-ohjelmistoon

Kuvassa 16 on esitetty näkymä, jossa SWT 3000- ja PowerSys -ohjelmisto ovat yhteydessä. Valikoista päästään muokkaamaan ja tarkastelemaan laitteen asetuksia. Käyttöliittymä on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi ja havainnolliseksi käyttää. Eriasetukset ovat omilla välilehdillään, joista ne on helppo löytää.



Kuva 17. Näkymä PowerSys-ohjelmiston tapahtumatallentimesta

Kuvasta 17 nähdään SWT 3000 –laitteen tapahtumatalennin ruutu. Eri välilehdiltä voidaan keskitetysti ja helposti tarkastaa laitteen tila, ja se mitä laitteen muistiin on tallennut. Jokaisen tiedon perässä on lyhyt kuvaus tapahtumasta selventämässä ja nopeuttamassa tietojen tulkintaa. Erityisesti kenttäolosuhteissa lyhyt kuvaus tapahtuneesta auttaa nopeuttamaan vian selvitystä ja ongelmien ratkaisemista.

Laite ylläpitää lokitiedostoa yhteyksistä ja tapahtumista toimiessaan. Lokitiedoston maksimikoko on 9999 tapahtumaa, minkä jälkeen laskuri aloittaa jälleen 0:sta.

Taulukko 1. Grp-numeron selite

Grp numero	Selitys
1	Järjestelmäohjaus
2	Telesuojauskomennot
3	Hälytys
4	Hälytys
128-255	Järjestelmän sisäinen viesti

Taulukosta 1 nähdään Grp (*Group Identifier*) numeroiden merkitys. Evt (*Event Identifier*) merkitsee tapahtuman tunnistetta.

MergeTool

MergeTool-ohjelman avulla laite voidaan yhdistää IEC 61850-standardin mukaiseen automaatioverkkoon. Järjestelmään luodaan laitteelle digitaalinen identiteetti ja MergeToolin avulla se liitetään verkkoon omalla IED-nimellä (*Intelligent Electric Device*) ja laitteeseen ladataan verkon asetukset. Lopuksi laitteeseen ladataan yksi kahdeksasta valmiista ohjelmasta. Ohjelma määrittelee, sen kuinka monta yhtäaikaista komentoa halutaan välitettävän 1-8 komennon välillä.

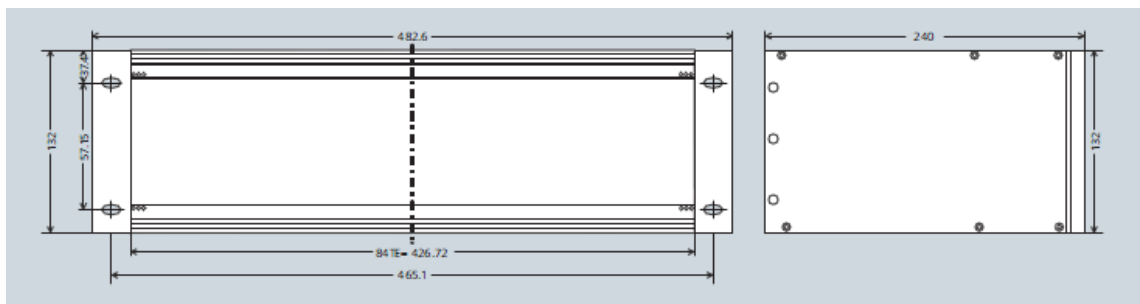
MemTool

MemTool-ohjelma on tarkoitettu laitteen Firmware-ohjelmiston päivitykseen. Ohjelmaa käytettäessä on varmistuttava uuden Firmware-version sopivuudesta laitteeseen ja haluttuun käyttötarkoitukseen. Päivityksen aikana on varmistuttava, ettei mikään pääse

katkaisemaan päivitystä. Epäonnistunut Firmware päivitys voi johtaa laitteen toimimattomuuteen tai väärään toimintaan.

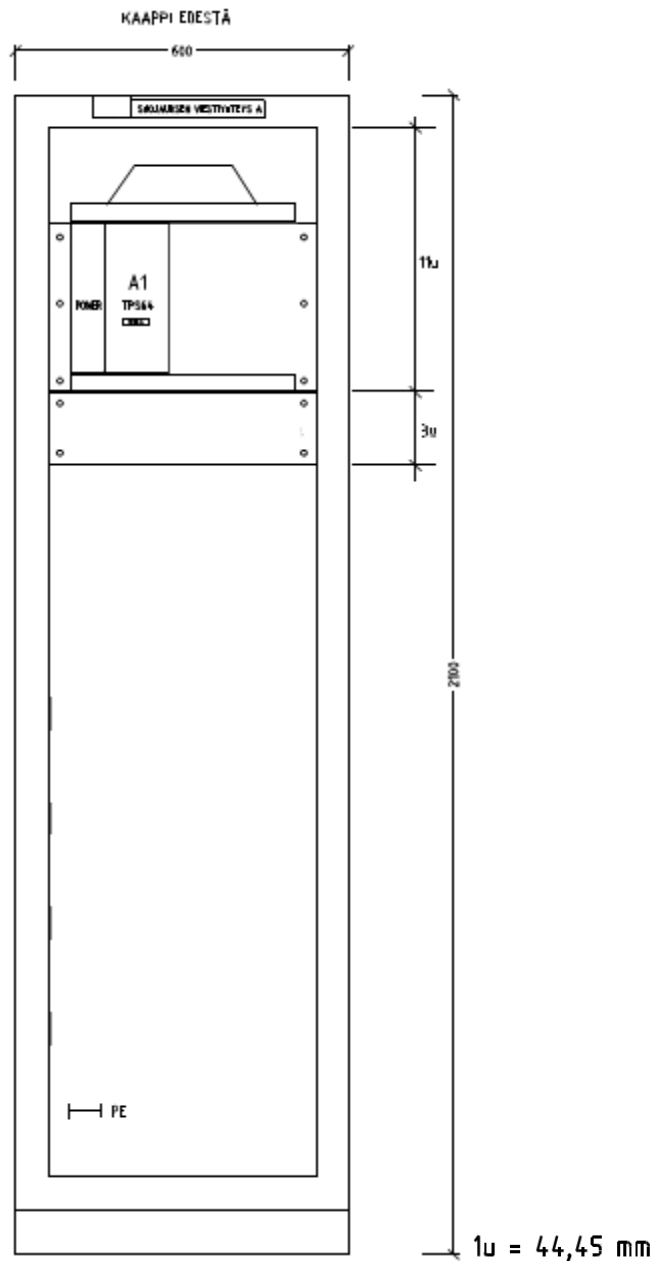
6.4 SWT 3000 -laitteen asennus

Siemens SWT 3000 -laite voidaan asentaa vaakasuunnassa normaalin 19" leveään laitekaappiin ja se vie 3u:n tilan pystysuunnassa. Laitteita voidaan pinota päällekkäin tarpeen mukaan esimerkiksi silloin kun suojauskohteena on 400 kV sähkönsiirtolinja, joka vaatii aina kahdennetut suojareleet ja suojausviestilaitteet.



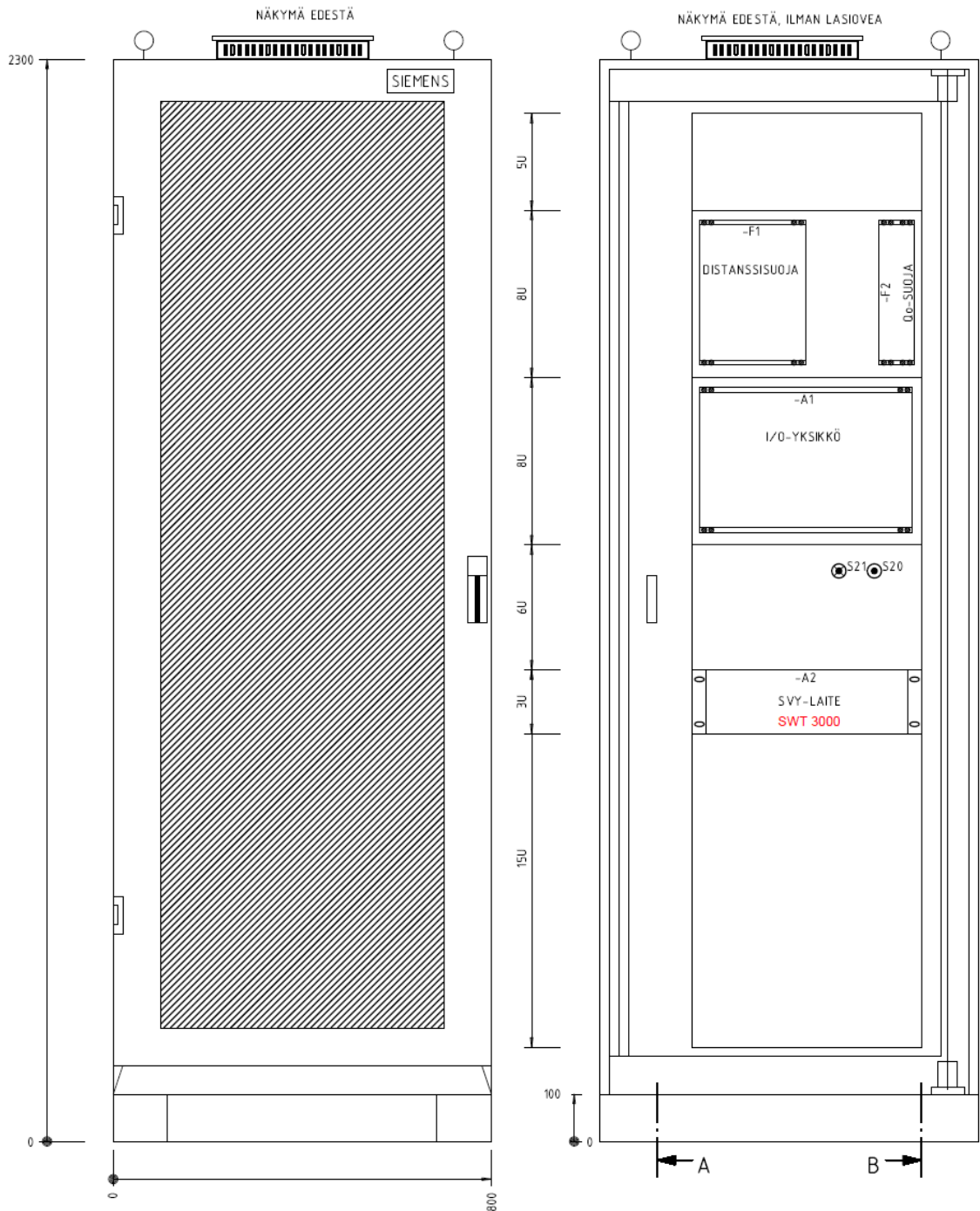
Kuva 18. SWT 3000 -laitteen ulkomitat

Kuvasta 18 nähdään SWT 3000 -laitteen ulkomitat ja kiinnitysreikien sijainti. Verrattuna yleisesti suomessa käytettävään suojausviestilaitteeseen Nokia TPS 64, on Siemens SWT 3000 huomattavasti pienikokoisempi.



Kuva 19. Nokia TPS 64 -laitteen asennus 19" leveään laitekaappiin

Kuvasta 19 nähdään yleisesti käytössä olevan Nokia TPS 64 -laitteen vaatima tila kaappiasennuksesta. Nokia TPS 64 on aina asennettava erilliseen koteloon, johon on integroitu laitteen virtalähde. Tämä kokonaisuus vie 11u tilaa pystysuunnassa. Tähän koteloon voidaan asentaa maksimissaan 3 kappaletta Nokia TPS 64-laitteita pystysuunnassa.

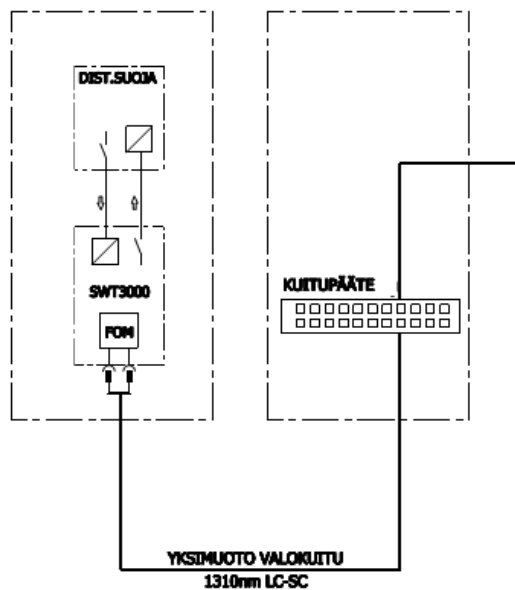


Kuva 20. Kuvassa esimerkki suojauskaapista ja laitteiden sijoittelusta

Kuvasta 20 nähdään, että Siemensin SWT 3000 -laite vie vain 3u pystytilaa ja virtalähteet sekä halutut lisäkortit ja lähdöt sisältyvät tähän korkeuteen. Pienemmän koon ansiosta kaikki lähdönsuojauslaitteet voidaan helpommin asentaa yhteen laitekaappiin ja näin vähentää laitekaappien tarvetta sähköasemalla. Pienemmän laitekaappi määrän johdosta voidaan sähköasemarakennusten kokoa pienentää ja vähentää kaappien

välisen johdotuksen tarvetta. Yhdistämällä kaikki johdonsuojauslaitteet yhteen laitekaappiin saadaan yksinkertaistettua sähköaseman rakennetta ja säästöjä rakennuskuiluissa. Näin rakennettu valmis paketti voidaan myös koestaa helpommin jo kaappivalmistajan tehtaalla ja varmistua kokonaisuuden oikeanlaisesta toiminnasta.

Varustamalla SWT 3000 –laite valokuitumuuntimella voidaan erillisten muuntimien ja reitittimien määrää edelleen vähentää, sekä järjestelmän rakennetta yksinkertaistaa.



Kuva 21. Valokuitumuuntimella varustetun SWT 3000 -laitteen ja distanssireleen väyläkaavio

Kuvassa 21 on esitetty väyläkaavioesimerkki kuinka distanssireleeltä tieto tuodaan kuparijohtimilla suojausviestilaitteelle ja siirretään edelleen valokuituverkkoa pitkin eteenpäin.

6.5 Sopivuus suojausviestintään Suomessa

Tyyppihyväksyntä SWT 3000 -laitteelle Fingrid Oyj:n verkkoon on saatu. Fingrid Oyj ei enää vaadi erillisiä laboratoriokokeita vaan on siirtynyt kyselylomakkeeseen, jonka perusteella arvioi laitteen sopivuuden omaan käyttöönsä. Kaavakkeella kerätään yhteen laitteen tekniset ominaisuudet erittäin kattavasti ja tämän, sekä muiden käyttäjien kokemusten perusteella Fingrid päättää laitteen hyväksynnästä valittuun käyttötarkoitukseen.

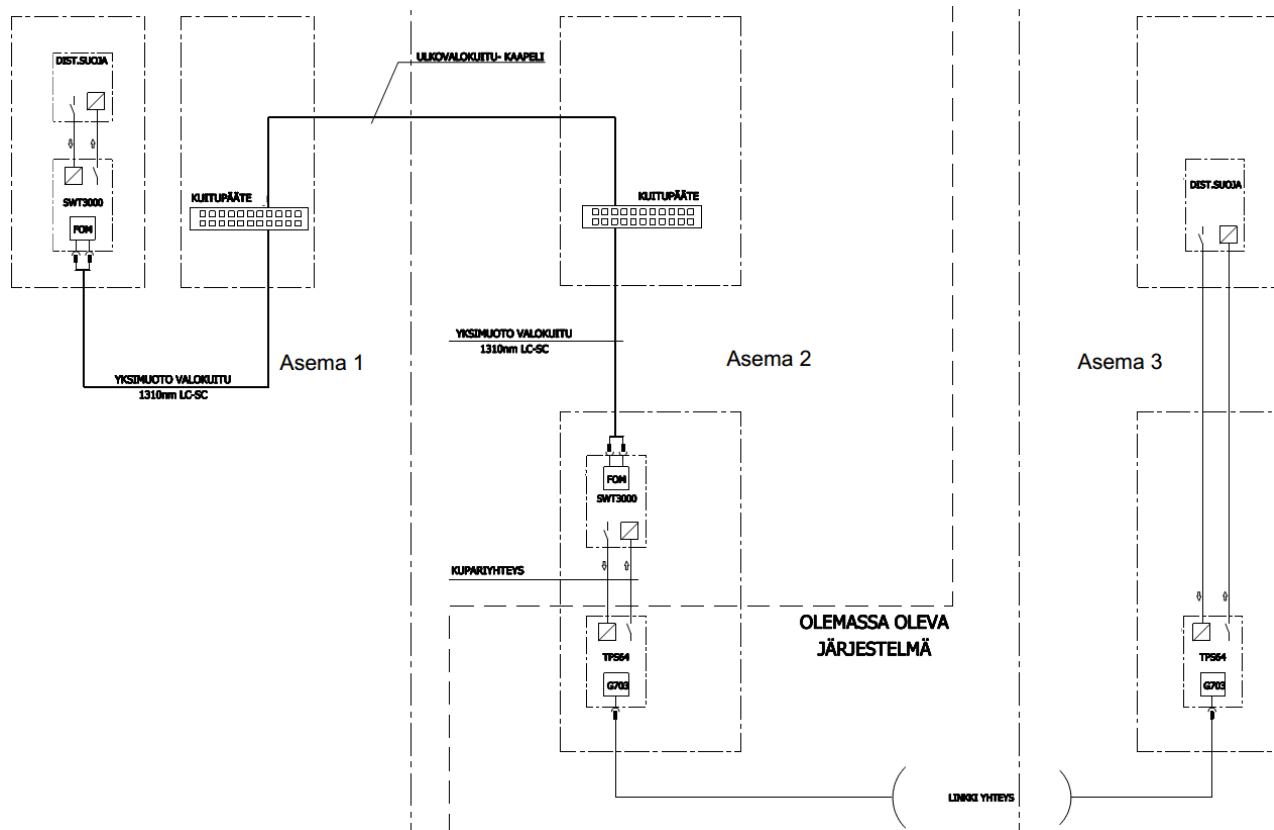
Erityisesti kysymyksissä painotetaan aikaisempia näyttöjä suojausviestikäytöstä suurjännitelinjoilla ja korkeaa turvallisuustasoa suojausviestien käsittelyssä. [16.]

6.6 Käytännön sovellukset

Seuraavaksi käydään läpi kaksi esimerkkitapausta SWT 3000 -laitteen käytöstä. Ensimmäisessä kohteessa uusi 110 kV sähköasema ja sen suojausviestiyhteys liitetään vanhaan jo olemassa olevaan järjestelmään. Toinen esimerkki esittelee lyhyesti digitaalisten väyläratkaisujen hyödyntämistä laitteen käytössä.

6.6.1 Uuden sähköaseman liittäminen vanhaan järjestelmään

Seuraavaksi käydään läpi esimerkkitapaus, jossa uusi sähköasema 1 ja sen suojausviestiyhteys liitetään jo olemassa olevaan järjestelmään asemilla 2 ja 3. Uuden sähköaseman yksi johtolähtö on varustettu distanssisuojalla ja SWT 3000 -laitteella. Yhteys kulkee vanhan aseman 2 läpi, jossa uusi SWT 3000 -laitteisto siirtää tiedon vanhalle TPS 64 -suojausviestilaitteelle, joka edelleen välittää sen eteenpäin asemalle 3 vastapään distanssisuojalle.



Kuva 22. Uuden ja vanhan järjestelmän esimerkkikaavio

Kuvassa 22 on esitetty järjestelmän väyläkaavio. Kuvasta nähdään kuinka distanssireleeltä tuodaan halutut tiedot SWT 3000-laitteelle joka käsittelee tiedon ja lähettää sen valokuituyhteyden avulla seuraavalle asemalle. Uusi valokuituyhteys on tehty vain asemalle 2, jossa tiedot siirretään jo olemassa olevaan TPS 64-laitteeseen ja välitetään jo olemassa olevaan tiedonsiirtotietä pitkin asemalla 3 olevalle distanssisuojalle. Uuden ja vanhan järjestelmän liityntä on toteutettu kuparikaapelilla. Näin distanssisuojilla saadaan suojattua kohtuullisen lyhyt sähkölinjan osa, johon on kuitenkin kytketty kolme sähköasemaa.

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin sähköverkon suojausviestintää ja Siemensin SWT 3000 - laitetta suojauskäyttöön. Insinööriyön edetessä saatiin käsitys telesuojauksesta ja sen käytöstä sähkönsiirtoverkoissa. Aiheesta on kohtalaisen vähän kirjallisuutta ja monien dokumenttien kohdalla törmättiin saatavuusongelmiin. Alan kirjallisuus on hyvin suurpiirteistä. Yrityksen sisäiset dokumentit auttoivat paljon aiheen ymmärtämisessä. Työtä jouduttiin karsimaan projektien aikataulujen muuttumisen seurauksena.

Tämä työ on hyödyllinen niille lukijoille, jotka tuntevat hieman sähköverkon suojausta, mutta eivät telesuojausta. Työ antaa käsityksen siitä, miten ja miksi telesuojausta käytetään sähkönsiirtoverkoissa.

Työn tuloksia ja siinä opittua käytetään tulevaisuudessa Siemensin projekteissa. Laitteen ja siihen liittyvän ohjelmiston käytön opiskelua ja dokumentointia jatketaan tulevaisuudessa.

Lähteet

- 1 Siemens Osakeyhtiö, Siemens Suomessa ja Baltiassa. Verkkodokumentti.
http://www.siemens.fi/fi/siemens_osakeyhtio/siemens_suomessa_ja_baltiassa.htm. Luettu 4.3.2013.
- 2 Laasonen, M., Saarinen, K., Sederlund, J., Sulamaa, P., Uusitalo, J., Uusitalo, M., Yli-Salomäki, P. 2011. Kantaverkon käsikirja. Helsinki: Fingrid Oyj.
- 3 Haarla, L., Koskinen, M., Hirvonen, R., Labeau, P., P. 2011. Transmission Grid Security. New York: Springer-Verlag London Limited.
- 4 Moderni sähköverkko vaatii luetettavaa ja vikasietoista tiedonsiirtoa. Verkkodokumentti. Konsulttitoimisto Reneco.
<<http://konsulttitoimistoreneco.wordpress.com/2012/03/05/moderni-sahkoverkko-vaatii-luotettavaa-ja-vikasietoista-tiedonsiirtoa/>>. Luettu 3.5.2012.
- 5 Fundamentals of Teleprotection Systems. Verkkodokumentti.
<<http://www.scribd.com/doc/38418962/Fundamentals-of-Teleprotection-Systems>>. Luettu 11.4.2012.
- 6 Using IEC 61850 For Teleprotection. Verkkodokumentti.
<http://www.cired.be/CIRED07/pdfs/CIRED2007_0147_paper.pdf>. Luettu 4.5.2012.
- 7 Pacworld June 2011 Issue.
<http://www.pacw.org/issue/june_2011_issue/cover_story/pac_linedo_not_cross/>. Luettu 7.5.2012.
- 8 Elovaara, J., Haarla, L., P. 2011. Sähköverkot 2: Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
- 9 Siemens Powerful Connection Brochure. Verkkodokumentti.
<<http://www.energy.siemens.com/us/pool/hq/automation/power-transmission-distribution/network-communication/powerful-connection-brochure-e.pdf>>. Luettu 19.4.2012.
- 10 Sampsa Kupari. Suojausjärjestelmät TEVDA16-2000 kurssin materiaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 2011.
- 11 Tiina Koivunen Diplomityö Tampereen Teknillinen Yliopisto 2011,
http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dytyot/Koivunen_Tiina_julk.pdf. Luettu 5.5.2012.
- 12 Orion Telecom Networks INC. Verkkodokumentti.
<<http://www.oriontelecom.com/teleprotection/optical/optical.htm>>. Luettu 3.5.2012.
- 13 Ú.Treudfeldt. Relesuojaus TEVDA19 kurssin materiaali. Vieraileva luennoitsija Tallinn University of Technology. 2010.

- 14 Electric, Light & Power. Verkkodokumentti.
<<http://www.elp.com/index/display/article-display/0999602650/articles/utility-automation-engineering-td/volume-16/issue-11/features/migrating-teleprotection-systems-to-next-generation-networks.html>>. Luettu 7.5.2012.
- 15 Sisäinen verkkodokumentti Siemens, Espoo. Luettu 19.4.2012.
- 16 Fingrid Oyj koulutusmateriaali. Koulutuspäivät. Sähköasemien koulutuspaketti: Fingridin ohjaus-, valvonta- ja telejärjestelmä vaatimuksia. Hotelli Flamingo, Vantaa 8.11.2012.

The diagram illustrates a fire alarm system (Asena 1 and Asena 2) with the following components and wiring:

- Asena 1 (Left):** Includes a VESTIHT. LAITE (Alarm Device) connected to LAHTO 1-4 (Outputs 1-4) and a HÄLYTYS (Alarm) unit.
- Asena 2 (Right):** Includes a VESTIHT. LAITE (Alarm Device) connected to LAHTO 1-4 (Outputs 1-4) and a HÄLYTYS (Alarm) unit.
- Wiring:** Shows connections between the alarm devices, outputs, and the alarm unit. Key components include:
 - VESTIHT. LAITE (Alarm Device)
 - LAHTO 1-4 (Outputs 1-4)
 - HÄLYTYS (Alarm)
 - ET0 KK (Control Unit)
 - ET1 KK (Control Unit)
 - ET2 KK (Control Unit)
 - ET3 KK (Control Unit)
 - ET4 KK (Control Unit)
 - ET5 KK (Control Unit)
 - ET6 KK (Control Unit)
 - ET7 KK (Control Unit)
 - ET8 KK (Control Unit)
 - ET9 KK (Control Unit)
 - ET10 KK (Control Unit)
 - ET11 KK (Control Unit)
 - ET12 KK (Control Unit)
 - ET13 KK (Control Unit)
 - ET14 KK (Control Unit)
 - ET15 KK (Control Unit)
 - ET16 KK (Control Unit)
 - ET17 KK (Control Unit)
 - ET18 KK (Control Unit)
 - ET19 KK (Control Unit)
 - ET20 KK (Control Unit)
 - ET21 KK (Control Unit)
 - ET22 KK (Control Unit)
 - ET23 KK (Control Unit)
 - ET24 KK (Control Unit)
 - ET25 KK (Control Unit)
 - ET26 KK (Control Unit)
 - ET27 KK (Control Unit)
 - ET28 KK (Control Unit)
 - ET29 KK (Control Unit)
 - ET30 KK (Control Unit)
 - ET31 KK (Control Unit)
 - ET32 KK (Control Unit)
 - ET33 KK (Control Unit)
 - ET34 KK (Control Unit)
 - ET35 KK (Control Unit)
 - ET36 KK (Control Unit)
 - ET37 KK (Control Unit)
 - ET38 KK (Control Unit)
 - ET39 KK (Control Unit)
 - ET40 KK (Control Unit)
 - ET41 KK (Control Unit)
 - ET42 KK (Control Unit)
 - ET43 KK (Control Unit)
 - ET44 KK (Control Unit)
 - ET45 KK (Control Unit)
 - ET46 KK (Control Unit)
 - ET47 KK (Control Unit)
 - ET48 KK (Control Unit)
 - ET49 KK (Control Unit)
 - ET50 KK (Control Unit)
 - ET51 KK (Control Unit)
 - ET52 KK (Control Unit)
 - ET53 KK (Control Unit)
 - ET54 KK (Control Unit)
 - ET55 KK (Control Unit)
 - ET56 KK (Control Unit)
 - ET57 KK (Control Unit)
 - ET58 KK (Control Unit)
 - ET59 KK (Control Unit)
 - ET60 KK (Control Unit)
 - ET61 KK (Control Unit)
 - ET62 KK (Control Unit)
 - ET63 KK (Control Unit)
 - ET64 KK (Control Unit)
 - ET65 KK (Control Unit)
 - ET66 KK (Control Unit)
 - ET67 KK (Control Unit)
 - ET68 KK (Control Unit)
 - ET69 KK (Control Unit)
 - ET70 KK (Control Unit)
 - ET71 KK (Control Unit)
 - ET72 KK (Control Unit)
 - ET73 KK (Control Unit)
 - ET74 KK (Control Unit)
 - ET75 KK (Control Unit)
 - ET76 KK (Control Unit)
 - ET77 KK (Control Unit)
 - ET78 KK (Control Unit)
 - ET79 KK (Control Unit)
 - ET80 KK (Control Unit)
 - ET81 KK (Control Unit)
 - ET82 KK (Control Unit)
 - ET83 KK (Control Unit)
 - ET84 KK (Control Unit)
 - ET85 KK (Control Unit)
 - ET86 KK (Control Unit)
 - ET87 KK (Control Unit)
 - ET88 KK (Control Unit)
 - ET89 KK (Control Unit)
 - ET90 KK (Control Unit)
 - ET91 KK (Control Unit)
 - ET92 KK (Control Unit)
 - ET93 KK (Control Unit)
 - ET94 KK (Control Unit)
 - ET95 KK (Control Unit)
 - ET96 KK (Control Unit)
 - ET97 KK (Control Unit)
 - ET98 KK (Control Unit)
 - ET99 KK (Control Unit)
 - ET100 KK (Control Unit)