

Valtteri Laine

110 kV johtolähdön koestus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

25.5.2018



Tekijä Otsikko	Valtteri Laine 110 kV johtolähdön koestus
Sivumäärä Aika	35 sivua + 0 liitettä 25.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Suojausasiantuntija Fingrid, Jukka Kotisaari Suunnittelupäällikkö Empower PN, Eero Törmä Yliopettaja, Jarno Varteva
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin vaadittuja mittauksia ja testejä tyypillisen 110 kV:n johtolähdön koestuksessa. Teoria sisältää suurjänniteasemilla käytetyt yleisimmät kytkinlaitteet ja suo- jareleet sekä niiden koestusvaatimukset.</p> <p>Tutkimus suoritettiin Empower PN Oy:lle, joka on yksi Suomen suurimmista sähköase- maurakoitsijoista.</p> <p>Opinnäytetyön päämääränä oli luoda ohje 110 kV johtolähdön suojarleiden ja kytkinlaittei- den koestukselle. Ohjetta on tarkoitus käyttää koulutuksessa ja tukimateriaalina projek- teissa.</p> <p>Tutkimalla vaativimpia asiakkaan vaatimuksia muodostui yleispätevä ohje jokaiseen säh- köasemaprojektiin.</p> <p>Opinnäytetyön suurimpana haasteena oli laadukkaan koestamista koskevan materiaalin vähäinen määrä ja työn aiheen rajaaminen.</p> <p>Opinnäytetyön tulos oli pohja koestusohjeelle, jota voidaan laajentaa tulevaisuudessa si- sältämään tarkemmat kuvaukset mittausten suorittamiseen käytännössä.</p>	
Avainsanat	Suurjännite, koestus, rele, sähköasema

Author Title	Valtteri Laine Commissioning of 110 kV powerline
Number of Pages Date	35 pages + 0 appendices 25 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Degree Programme in Electrical Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Jukka Kotisaari, Protection and Telecommunication Specialist, Fingrid Eero Törmä, Engineering Manager, Empower PN Jarno Varteva, Principal Lecturer
<p>The thesis investigated required measurements and tests done as the commissioning for a typical 110 kV powerline. Theory involves the most common switchgear and relays used in the high voltage substations as well as the regulations for their commissioning.</p> <p>The study was done for Empower PN Oy which is one of leading substation contractors in Finland.</p> <p>Aim of the thesis was to create a manual for commissioning of the protective relays and switchgear of 110 kV powerline. The manual is intended to be used for training and as supporting material for projects.</p> <p>By studying the most demanding customer requirements, a suitable manual for any substation project was formed.</p> <p>The greatest challenge of the thesis was the scarce amount of quality material about commissioning and containment of the subject.</p> <p>Result of the thesis was a basis for the commissioning manual which could be expanded in the future to feature more precise description of the measurements in practice.</p>	
Keywords	High voltage, commissioning, relay, substation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Johtolähdön rakenne	2
2.1	Kiskojärjestelmät	2
2.2	Katkaisija	7
2.3	Erottimet	9
2.4	Mittamuuntajat	11
2.5	Virtamuuntajat	12
2.6	Jännitemuuntajat	13
3	Suojalaitteet ja -toiminnot	15
3.1	Verkon suojaus	15
3.1.1	Varasuojaus	16
3.2	Distanssirele	17
3.3	Differentiaalirele	19
3.4	Ylivirtarele	21
3.5	Jänniterele	22
3.6	Maasulkusuojaus	23
3.7	Katkaisijavikasuojaus	23
3.8	Kiskosuojaus	24
3.9	Taajuussuojaus	25
3.10	Suojauksen viestiyhteys	25
3.11	Eroonkytkennän viestiyhteys	26
3.12	Jälleenkytkennät	27
4	Mittausmenetelmät	27
4.1	Yleisimmät mittalaitteet	27
4.2	Suoritettavia mittauksia	29
4.2.1	Kytinkentällä	30
4.2.2	Asemarakennuksessa	31
4.2.3	Käyttöänoton aikana	31



5	Vaatimukset	32
5.1	Standardien vaatimukset	32
6	Yhteenveto	33
	Lähteet	34
	Liitteet	

Lyhenteet

AJK	Aikajälleenkytkentä. Pidemmällä jännitteettömällä ajalla suoritettu jälleenkytkentä.
EVY	Eroonkytkennän viestiyhteys. Erottaa tuotannon suojarelaulkaisun jälkeen.
FAT	Factory acceptance testing. Tehdasluontoinen koestus laitteille ennen niiden asennusta.
kV	Kilovoltti. Tuhat voltia.
KVR	Katkaisijavikarele. Suojaus katkaisijan toimimattomuuden varalle.
MΩ	Megaohmi. Tuhat ohmia.
ms	Millisekunti. Sekunnin tuhannesosa.
PJK	Pikajälleenkytkentä. Relaulkaisun jälkeinen nopea jälleenkytkentä.
SAT	Site acceptance testing. Ennen käyttöönottoa laitteistolle suoritettava koestus.
SF ₆	Rikkiheksafluoridi. Kytkinlaitteissa ja –asemilla käytettävä eristekaasu
SOTF	Switch on the fault. Vikaa vasten kytkentä.
SVY	Suojalaitteen viestiyhteys. Varmistaa kriittisten linjojen nopean laukaisun.



1 Johdanto

Suojausjärjestelmä on sähköverkon toiminnan kannalta yksi sen tärkeimmistä osa-alueista. Suojauksella pystytään ennalta ehkäisemään sähkökatkoja sekä henkilö- ja omaisuusvahinkoja. Suojalaitteiden vääränlainen toiminta tai toimimattomuus voi aiheuttaa materiaalivahinkoja, jännitekuoppia sekä vaarallisia jännitteitä. Suojauksen toimivuuden koestaminen onkin tärkeää, jotta voidaan varmistua sen oikeanlaisesta toiminnasta.

Opinnäytetyön tarkoituksena on laatia sähköaseman johtolähdön koestamisohje. Aihe on rajattu koskemaan tyypillistä 110 kV:n jännitetason johtolähtöä. Johtolähtö sisältää siihen kuuluvat kytkinlaitteet, kuten erottimet ja katkaisijat, sekä sen suojalaitteet. Työstä pois rajattuja asioita ovat esimerkiksi sähköaseman apusähköjakeluun liittyvät koestukset ja tiedonsiirtolaitteet. Työssä esitettyjen mittauksien suorittamiseen ei tulla syventymään, vaan oletetaan suorittajan olevan opastettu niiden suorittamiseen. Lähdemateriaalina on käytetty yleistä sähkötekniikan kirjallisuutta ja verkon toimijoiden omia materiaaleja. Koestusta koskevaa materiaali on saatavilla rajoitetusti, mikä luo lisäarvoa tämänkaltaisille ohjeille. Ohjetta voi käyttää koulutus- ja tukimateriaalina tulevaisuudessa koestajien lisäksi myös esimerkiksi projektihenkilöstölle. Opinnäytetyö on toteutettu Empower PN Oy:lle.

Empower Oy on Pohjoismaissa sekä Baltian alueella toimiva monikansallinen konserni. Konsernin palveluita ovat muun muassa sähkö- sekä tietoverkkojen rakennus, asennus, huolto ja suunnittelupalvelut. Muita palveluita ovat teollisuus- ja ICT-palvelut. Empower Oy:n alla toimii Suomessa neljä tytäryhtiötä: Empower IN, Empower TN, Empower PN ja Empower IM. Jokainen tytäryhtiö on erikoistunut tiettyyn konsernin palveluhaaraan. [1; 2.]

Yhtiön juuret pohjaavat vuonna 1988 perustettuun sähkön siirtoon, kauppaan ja verkko-rakentamiseen keskittyneeseen Teollisuuden Voimansiirto Oy:n. Kyseinen yhtiö oli neljän sähköalan toimijan yhteisomistuksessa. Vuonna 1997 Teollisuuden Voimansiirto Oy fuusioitiin osaksi Pohjolan Voimaa ja siitä kaksi vuotta myöhemmin yrityksen toiminnot oli eriytetty omaksi yhtiökseen ja sen nimeksi tuli Empower Oy. Nykyinen rakennejako emo- sekä tytäryhtiöihin tapahtui vasta vuonna 2015. [1; 2.]

Vuonna 2016 konserni työllisti noin 1700 henkilöä ja sen liikevaihto oli 243,1 miljoonaa euroa. Empowerin neljä keskeistä periaatetta ovat tinkimättömyys työturvallisuudesta, olla houkuttelevin työnantaja, saavuttaa korkea työttytyväisyys ja olla johtava palveluiden kehittäjä. [1; 2.]

Empower PN Oy on Empower Oyj:n tytäryhtiö, joka tarjoaa palveluita liittyen sähköverkon suunnitteluun, rakentamiseen ja kunnossapitoon. Yrityksen asiakkaisiin kuuluvat pääasiassa Suomesta, Ruotsista sekä Baltian maista tulevat jakeluverkko, energia- ja teollisuusyritykset sekä tuulivoimatoimijat. Empower PN on yksi Suomen johtavista tuulivoimantuotantoon liittyvien palveluiden toimittajista. [2; 3.]

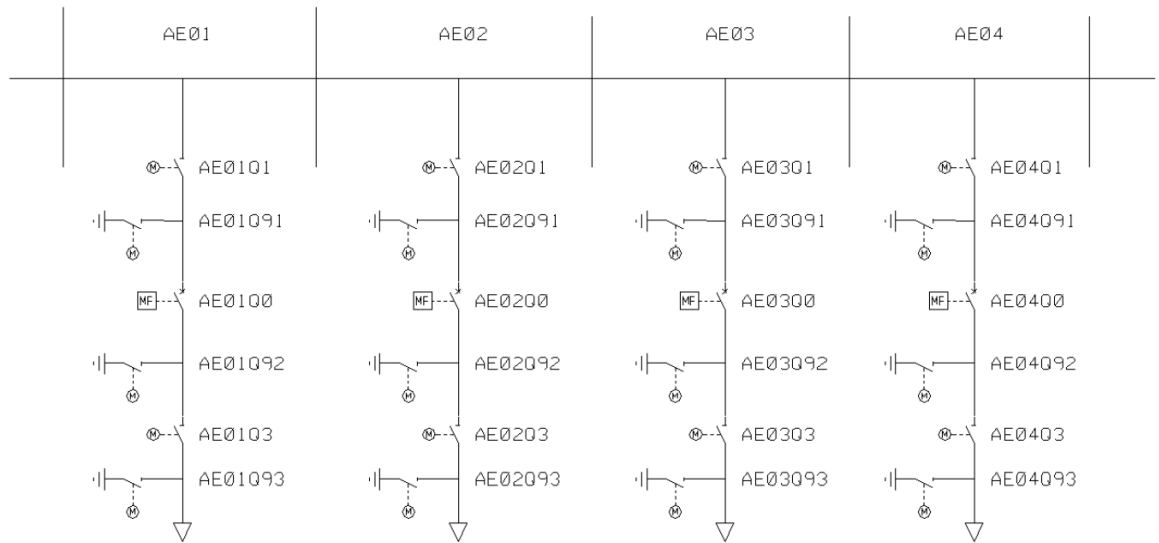
2 Johtolähdön rakenne

2.1 Kiskojärjestelmät

Sähköasemalla käytetään kokoojakiskoja energian jakamiseen. Kiskot voidaan jakaa pääkiskoihin ja apukiskoihin. Erilaiset kiskojärjestelmät määrittävät kuinka helppoja esimerkiksi käyttö- ja huoltotoimenpiteet ovat tai kuinka haitallinen mahdollinen kiskovika on. Monimutkaisemmat kiskojärjestelmät mahdollistavat lyhyempiä keskeytyksiä ja suuremman käyttövarmuuden, mutta ovat kalliimpia kustannuksiltaan niiden vaatiessa useampia kytkinlaitteita. Kiskojärjestelmän valinnassa tulee ottaa huomioon aseman käyttö ja käyttövarmuusvaatimukset. Suurjänniteasemilla kokoojakiskot ovat lähes pelkästään posliinisilla tukieristimillä varustettuja putkikiskostoja. [4, s. 304-305, 309-310.]

Yksikiskojärjestelmä

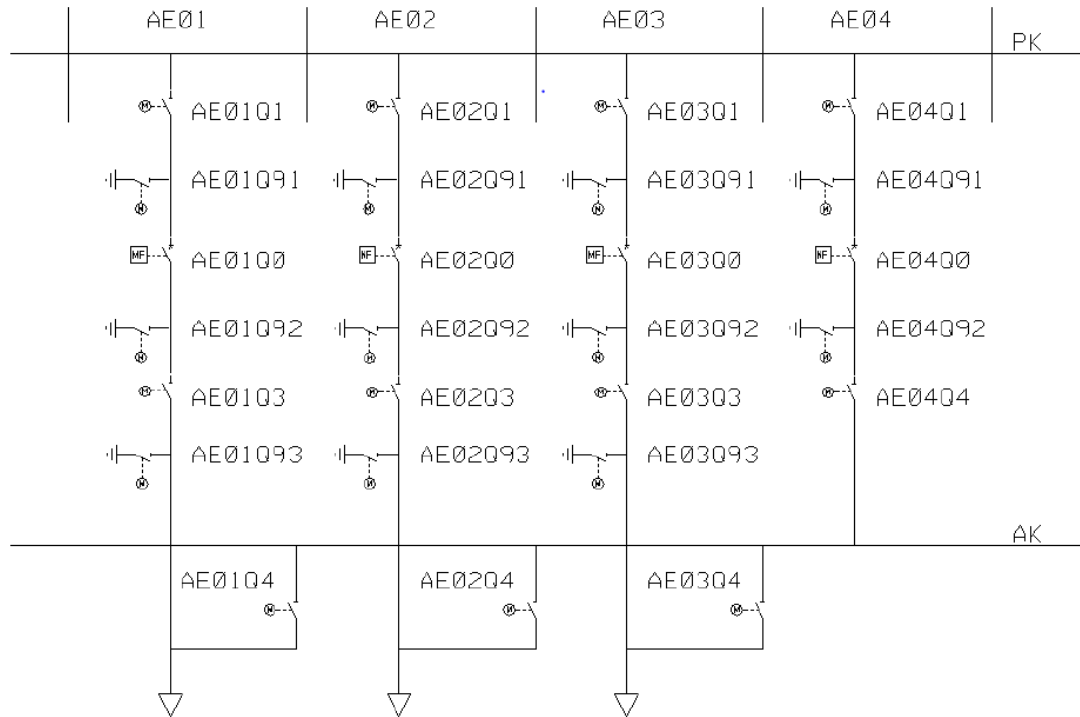
Yksikiskojärjestelmä (kuva 1) on yksinkertainen eikä tarjoa paljoa mahdollisuuksia kuormitusten jakamiseen ja sen huolto mahdollisuudet ovat rajoitetut. Käyttökeskeytyksen pituus vastaa kojevaurion korjausaikaa. Kiskoston voi jakaa osiin pitkittäiskatkaisijalla tai erottimella, antaen sille hieman lisää mahdollisuuksia. Järjestelmä soveltuu parhaiten renkaaseen rakennettuun keskijänniteverkkoon, jossa sen pahimmat puutteet voidaan välttää. [4, s. 305.]



Kuva 1. Yksikiskojärjestelmä [5]

Kisko-apukiskojärjestelmä

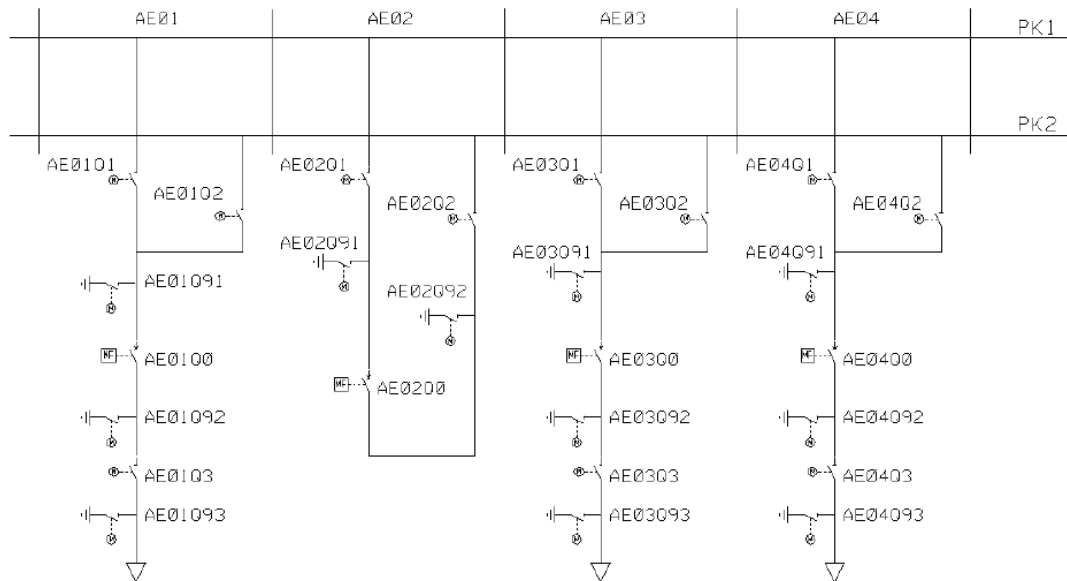
Kisko-apukiskojärjestelmän (kuva 2) suurimmat edut yksikiskojärjestelmään verrattuna ovat sen parempi käyttövarmuus ja paremmat mahdollisuudet suorittaa huoltotoimenpiteitä. Suurin etu on mahdollisuus suorittaa niin sanottu korvauskytkentä, jossa kiskokatkaisijakentän avulla korvataan jokin toinen katkaisija. Näin keskeytysajaksi muodostuu vain itse kytkentätoimenpiteiden vaatima aika. Järjestelmän suojaus on selektiivinen ohikytkentätilanteissa. [4, s. 305-307.]



Kuva 2. Kisko-apukiskojärjestelmä [5]

Kaksoiskiskojärjestelmä

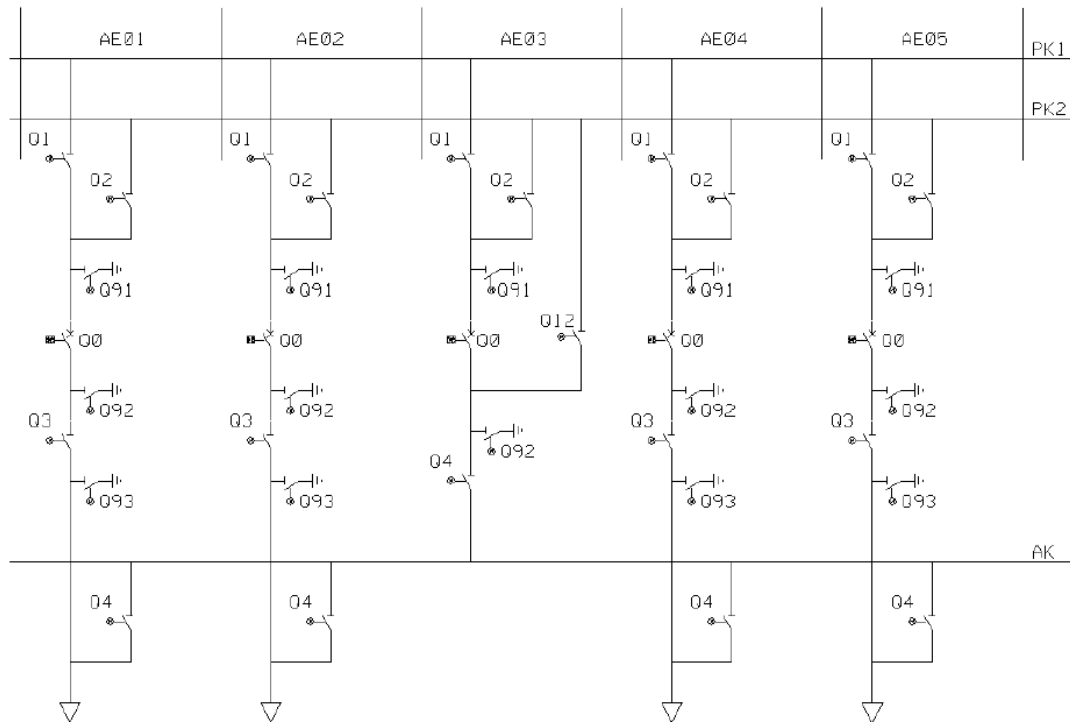
Kaksoiskiskojärjestelmässä (kuva 3) kytkentätilanteita on mahdollista muuttaa käytön aikana. Käyttöä voidaan ryhmitellä kiskojen välille ja huollon ajaksi voidaan koko järjestelmä siirtää toiselle kiskolle. Katkaisija- tai virtamuuntajahuolto voidaan suorittaa ohikytkentäerottimen avulla. Suojaus säilyy selektiivisenä katkaisijan ollessa ohikytettynä. [4, s. 307.]



Kuva 3. Kaksoiskiskojärjestelmä [5]

Kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä

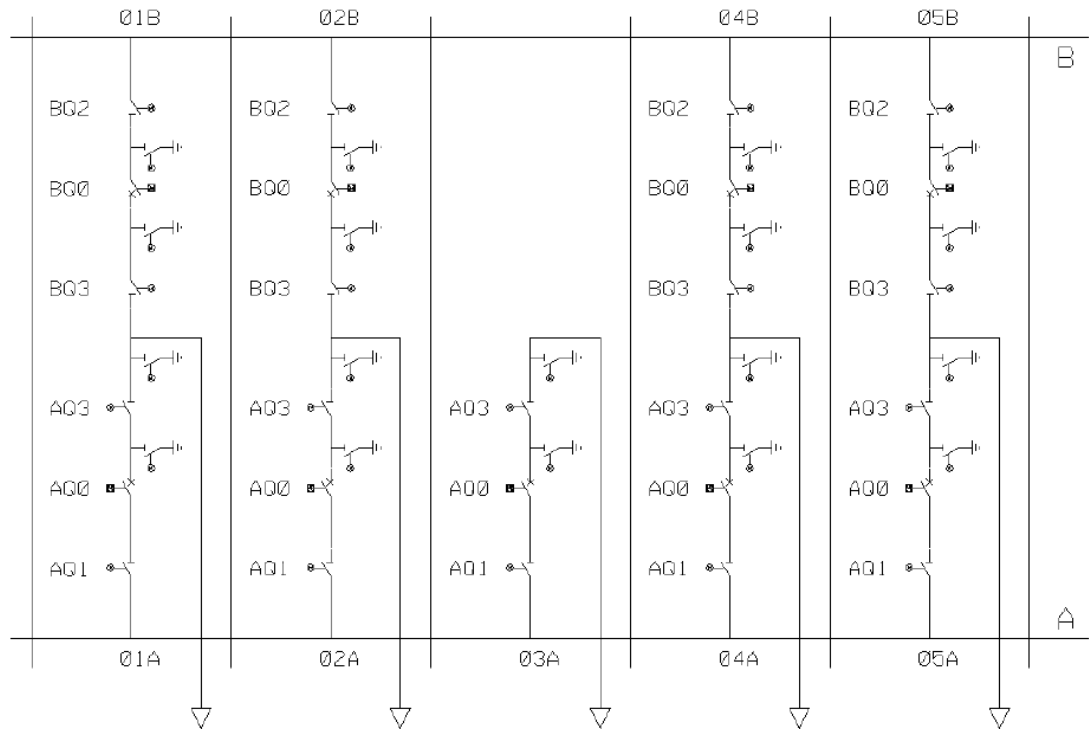
Kaksoiskisko-apukiskojärjestelmällä (kuva 4) on samat hyödyt kuin kaksoiskiskojärjestelmä. Lisätty apukisko kuitenkin mahdollistaa periaatteessa monipuolisemman käytön, kuten molempien pääkiskojen tekemisen jännitteettömäksi ja hyvät mahdollisuudet korvauskytkennöille. Järjestelmä on monipuolinen ja käyttövarma, mutta kallis suuren kojemääränsä takia. Tiettyjen kojeiden sijoitusmahdollisuudet voivat säästää kokonaishinnasta tinkien ominaisuuksista. Järjestelmä soveltuu suuremmille runsaasti käytetyille sähköasemille. [4, s. 307.]



Kuva 4. Kaksoiskisko-apukiskojärjestelmä [5]

Duplex-järjestelmä

Duplex- eli kaksikatkaisijajärjestelmä (kuva 5) on kiskojärjestelmistä käyttövarmin, helppo käyttää ja huoltaa. Se on myös huomattavasti kallein kiskojärjestelmä, koska se vaatii enemmän katkaisijoita ja mittamuuntajia. Kiskokatkaisijan puute tekee järjestelmän suojauksesta yksinkertaisemman. Hankintahintaa saadaan kuitenkin pudotettua käyttämällä esimerkiksi erottavia katkaisijoita, jolloin erottimien tarve poistuu huollon hankaloitumisen kustannuksella. Duplex-järjestelmässä tulisi käyttää aina kiskosuojaa, koska toisessa kiskossa oleva kiskovika ei poista johtolähtöjä käytöstä [9, s. 207]. [4, s. 307-308.]



Kuva 5. Duplex- eli kaksikatkaisijajärjestelmä [5]

2.2 Katkaisija

Katkaisija on sähkönjakeluverkon yksi tärkeimmistä kytkinlaitteista varsinkin verkon käytön ja turvallisuuden näkökulmasta. Katkaisija on komponentti, jota käytetään kuormitetun tai oikosuljetun virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Ominaisuus avata tai sulkea oikosulkupiiri tulee käyttöön vikatilanteissa, jolloin suojarele antaa katkaisijalle avauskäskyn esimerkiksi maasulkuvian johdosta. Releeltä tuleva sulkemiskäsky taas on mahdollinen, mikäli jälleenkytkennät ovat käytössä. Katkaisijat toimivat automaattisesti releiden antamien laukaisu- ja jälleenkytkentäkäskyjen toimesta. Sen lisäksi ne ovat ohjattavissa käsinohjauksella ja suositeltavasti kaukokäytöllä. [4, s. 245.]

Katkaisijat voi yleisesti erotella katkaisukammion väliaineen perusteella kuuteen eri luokkaan [4, s. 250]. Seuraavista katkaisijatyypeistä tyypillisimpiä suurjänniteverkossa ovat SF₆- ja tyhjiökatkaisijat [6, s.220]. Uusilla 110:n ja 400 kV:n asemilla käytetään melkein aina SF₆-katkaisijoita (kuva 6). [7.]

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF₆-katkaisijat
- tyhjiökatkaisijat.



Kuva 6. SF₆-eristeinen suurjännitekatkaisija.

Erottava katkaisija

Erottavalla katkaisijalla tarkoitetaan katkaisijaa, jonka katkaisukammiossa oleva avausväli on tarpeeksi pitkä läpäistäkseen erottimille asetetut jännitevaatimukset sekä oltava

lukittavissa. Erottavien katkaisijoiden käytöllä saadaan aikaan säästöjä sen korvatesa normaalien erottimien käytön. Erona erottimien käyttöön on kuitenkin näkyvän erotusvälin puute, jonka johdosta katkaisijahuolto hankaloituu. [8, s. 185-186.]

2.3 Erottimet

Eroin on jakeluverkon komponentti, jonka pääasiallisena tarkoituksena on muodostaa riittävä avausväli verkon erotettavan osan ja muun verkon välille. Tämä mahdollistaa jakeluverkon osien tekemisen jännitteettömäksi työskentelyn ajaksi. Erotimein avausvälin on oltava näkyvästi havaittavissa tai indikoitavissa riittävän luotettavalla mekaanisella asennonosoituksella. Erotimeia ei ole suunniteltu käytettäväksi suurivirtaisten piirien avaamiseen tai sulkemiseen, jota varten käytetään katkaisijoita. Vaaratilanteita aiheuttavan käytön mahdollisuuden vuoksi erottimet täytyy pystyä lukitsemaan sekä auki- että kiinniasentoon. Tämä estää erotetun verkon osan kytkemisen jännitteiseksi työskentelyn aikana tai virrallisen erottimen avaamisen. Erotimein yleisiä suurjännitteellä käytettäviä eri tyyppejä ovat kierto- (kuva 8), tartunta- (kuva 7) ja saksierottimet. [4, s. 263-267.]



Kuva 7. Tartuntaerotin.

Kierto-, saks- ja tartuntaerottimet voidaan varustaa haluttaessa maadoituskytkimillä eli niin sanotuilla maadoitusveitsillä (kuva 8). Maadoituserottimia käytetään estämään johdon kytkeytyminen jännitteiseksi työskentelyn aikana. Maadoituskytkimillä voidaan myös estää vaarallisten jännitteiden indusoituminen kylmään kiskostoon tai linjaan esimerkiksi ylimenevästä käytössä olevasta voimajohdosta. [7.]



Kuva 8. Kiertoerotin ja kahdet maadoitusveitset.

2.4 Mittamuuntajat

Jakeluverkossa liikkuvat jännitteet ja virrat vaihtelevat suuruusluokaltaan kymmenistä tuhansiin sataantuhanteen volttiin ja sadoista tuhansiin ampeereihin. Nämä suuret ovat suuruusluokaltaan liian suuria käytettäväksi jakeluverkon mitta- ja suojauslaitteille. Mittamuuntajat ovat kojeita, joiden tarkoituksena on eristää mittaus ja suojalaitteet suurjännitepiiristä, muuntaa mitattavat suuret skaalaltaan mitta- ja suojalaitteille sopiviksi ja mahdollistaa näiden laitteiden sijoittaminen etäämmälle mittauspaikalta esimerkiksi kytkinkentältä asemarakennukseen. [4, s. 271.]

2.5 Virtamuuntajat

Virtamuuntajat voidaan jakaa suojaus- ja mittausvirtamuuntajiin. Suojaustarkoituksiin valmistetut rautasydämet kestävät suurempaa kyllästymistä kuin mittaustarkoitukseen suunnitellut. Nykyisissä virtamuuntajissa käytetään usein erityyppisiä rautasydämiä, ja niiden muuntosuhde on usein valittavissa, joten on voitu luopua erityyppisten virtamuuntajien käytöstä. Virtamuuntajien toisiokäämit on maadoitettava toisesta navasta vaarallisten potentiaalinosujen välttämiseksi ja jokaisen vaiheen käämit tulee maadoittaa samasta pisteestä. Nykyiset 110 kV:n yleisimmät virtamuuntajat ovat öljy- tai SF₆ -eristeisiä. Rakennetyypit voidaan jakaa kahteen ryhmään hair-pin ja top-core -rakenteisiin (kuva 10). Hair-pin -tyypissä käämi ja sydämet ovat maapotentiaalisessa säiliössä, ja top-coressa ne sijaitsevat linjan potentiaalissa virtamuuntajan yläosassa. [8, s.198-215.]



Kuva 9. Top-core -mallisia virtamuuntajia

Virtamuuntajan tärkein ominaisuus on sen tarkkuus toistaa ensiön virta-arvoja toisilaitteille. Suurin tarkkuuteen vaikuttava tekijä on virtamuuntajan epälineaarinen magnetoi-

tuminen. Verkkovikojen suuret virta-arvot aiheuttavat virtamuuntajan sydämissä kyllästymistä, joka johtaa toistokyvyn heikkenemiseen. Toinen huomioitava asia on virtamuuntajan toisiotaakka, joka ollessaan liian suuri heikentää mittaustarkkuutta. Mittaustarkkuuden vääristymisestä voi seurata suojareleiden laukaisujen hidastumista, epäonnistumista tai vahinkolaukaisuja esimerkiksi distanssireleen laskiessa vikapaikansijainnin väärin. [8, s. 198-215.]

Kapasitiiviset ulostulot

Suurjännitevirtamuuntajat voidaan varustaa kapasitiivisilla jänniteulosotoilla. Virtamuuntajien kapasitiivisia ulosottoja käytetään muun muassa jännitemuodon tutkimiseen sekä mittaamiseen, jännitteellisuuden toteamiseen ja katkaisijan tahdistukseen (tahdissaolon valvoja), mutta se ei sovellu tarkkaan mittauskäyttöön. Kapasitiivisiin ulosottoihin tarvittavan jännitteen luomiseen käytetään ensiökäämin eristyksen osakapasitansseja [8, s. 213]. [4, s. 271, 279.]

2.6 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajat voidaan jakaa rakenteensa perusteella kahteen yleiseen tyyppiin. Ensimmäinen on induktiivinen jännitemuuntaja, joka muistuttaa periaatteeltaan hieman virtamuuntajia. Suurilla jännitetasoilla kapasitiivinen jännitemuuntaja tulee usein induktiivista edullisemmaksi. Kapasitiivinen jännitemuuntaja rakentuu kapasitiivisesta jännitteenjakajasta ja pienestä induktiivisesta jännitemuuntajasta. Suurjännitteen jännitemuuntajat ovat tyypillisimmin öljy- tai SF₆-eristeisiä. Jännitemuuntajat ovat useimmiten yksivaiheisia ja sisältävät vain yhden sydämen, jonka ympärille voidaan asentaa useampia käämejä. Virtamuuntajien tavoin jännitemuuntajat sisältävät suojaus- ja mittaustarkoitukseen suunniteltuja käämejä. Yleisimpiä jännitemuuntajan funktioita ovat normaali jännitteen mittaustahteenkytketystä toisiosta ja maasulkusuojaukseen käytetty nollapisteen jännitettä mittaava avokolmiokytkentä. [8, s. 215-223.]

Jännitemuuntajia voidaan käyttää niin sanotusti joko johto- tai kiskojännitemuuntajina (kuva 9). Virtamuuntajien sisältäessä kapasitiivisen ulosoton on mahdollista luopua johtojännitemuuntajien käytöstä. Tällöin tahdistettaessa katkaisijaa, tahdissaolon valvoja vertaa ulosoton jännitettä kiskojännitteeseen. [7.]



Kuva 10. Kiskojännitemuuntaja

3 Suojalaitteet ja -toiminnot

3.1 Verkon suojaus

Sähköverkon käyttövarmuutta parannetaan relesuojauksella. Releiden tehtävä on suu- reita mittaamalla erottaa verkon epänormaali tila, kuten esimerkiksi vikatilanne ja erottaa vikaantunut osa muusta sähköverkosta. Releen tarkkaileman suureen ylittäessä tai alit- taessa releen asetteluarvon, suoja-rele havahtuu. Asetteluissa määritellyn toiminta-ai- kansa jälkeen rele antaa laukaisukäskyn katkaisijalle [4, s. 391]. Mörsky [9, s. 15] on relesuojauksista käsittelevässä kirjassaan kiteyttänyt relesuojauksen edellytykset seura- vasti:

Relesuojaukselta edellytetään seuraavaa:

- Toiminnan on oltava selektiivistä, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä.
- Toiminnan on tapahduttava riittävän nopeasti ja herkästi niin, että vaarat, vau- riot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuden tulee säilyä kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä.
- Se on oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen.
- Käytettävyyden tulee olla hyvä.
- Suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla
- Suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen.

Selektiivisyydellä tarkoitetaan vian rajoittamista mahdollisimman pienelle alueella verk- koa [6, s. 240]. Käytännössä releiden vyöhykkeiden ja portaiden asettelut tulee suunni- tella siten, että pääsuoja toimii ennen varasuojaa. Huomioon tulee ottaa myös tilanteet, joissa tietyt laukaisuportaat tulee lukita selektiivisyyden säilyttämiseksi.

Releet koostuvat sisäisesti erilaisista elimistä kuten havahtumis-, mittaus- ja aikaeli- mistä. Suojareleet voidaan jakaa teknisen rakenteensa perusteella sähkömekaanisiin, staattisiin ja mikroprosessorilla toimiviin eli numeerisiin releisiin [4, s. 391]. Numeeriset releet ovat näistä kaikkein monipuolisimpia. Ne voivat sisältää useampia suojausfunkti- oita ja niitä käytetään tiedon keräämiseen muille järjestelmille [9, s. 25-26]. Releet voi- daan myös jakaa suojausperiaatteensa mukaan lajeihin, joista yleisimmät käsitellään tässä luvussa.

110 kV:n johtolähtöjen suojaus toteutetaan tavallisesti käyttäen pääsuojana distanssi- tai johtodifferentiaalirelettä ja ylivirta- tai maasulkurelettä sen varasuojauksena. Toinen yleinen tapa on käyttää kahta numeerista distanssirelettä (kuva 11) pääsuojana ja sisällyttää niihin varasuojauksena ylivirta- ja maasulkutoiminnot. [7.]



Kuva 11. Numeerinen Distanssirele

3.1.1 Varasuojaus

Suojauksen vikaantuminen on tilanne, jota varten tulee varautua. Primäärisuojauksen toimimattomuuteen varaudutaan käyttämällä esimerkiksi varasuojaa ja kahdentamalla suojaukseen liittyviä laitteistoja. [9, s. 343-348.]

Kahdentaminen on tapa parantaa suojalaitteiden toimintaa vikatilanteissa. Kahdennettavia komponentteja ovat muun muassa mittamuuntajat, suojareleet, apusähkölähde ja

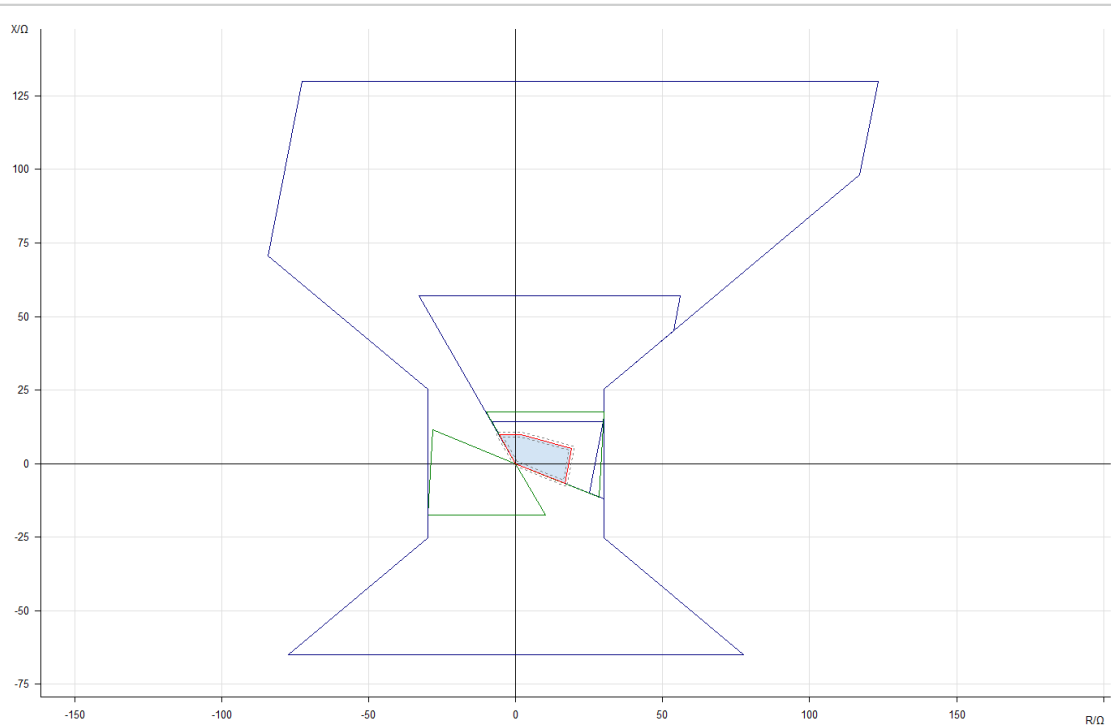
katkaisijat. Kaikkien komponenttien kahdentaminen ei ole kuitenkaan välttämättä taloudellisesti kannattavaa. Yleinen malli on käyttää saman virtamuuntajan eri sydämiä, jännitemuuntajan saman sydämen omaa johdotusta eri releille, kahta apusähköakustoa, kahta katkaisijan laukaisukelaa ja joskus kahdennettua suojarleistystä. Katkaisijan mekaaniseen toimimattomuuteen varaudutaan katkaisijavikasuojuuksella. [9, s. 343-348.]

Varasuojaus kuuluu toimia vain silloin kun varsinainen suojaus ei toimi. Se asetellaan toimimaan hitaammin kuin pääsuojaus ja se voidaan valita olemaan toimintaperiaatteeltaan erilainen kuin pääsuojaus. Joissakin tapauksissa johtolähdöllä on kaksi pääsuojaa, jotka ovat asetteluiltaan identtisiä. Eri toimintaperiaatteeseen perustuvat suojalaitteet eivät vikaannu välttämättä samoista asioista. Nykyisissä numeerisissa releissä pää- ja varasuoja voivat olla samassa releessä esimerkiksi distanssirele ja suunnattu maasulkusuoja. [7; 9, s.343-348.]

3.2 Distanssirele

Distanssirele sopii erityisen hyvin silmukoidun suurjänniteverkon johtolähtöjen suojaukseen. Etäisyys- eli distanssireleen etuja ovat sen asetteluista johtuva hyvä selektiivisyys, nopeat laukaisuaajat ja mahdollisuus toimia varasuojuuksena silmukoidussa verkossa. Mitattavasta suureesta johtuen rele ei häiriinny kytkentä- ja kuormitustilanteiden muutoksista verkossa. Distanssireleen heikkous on taas sen kyky toimia lyhyillä johto-osuuksilla ja suuri vikaresistanssisissa vioissa. Distanssireleen toiminta häiriintyy käytettäessä sarjakompensointia, joka saa johdon näyttämään sähköisesti lyhyemmältä. [7; 9, s. 57-58.]

Distanssireleen toiminta perustuu jännite- ja virtamittauksien perusteella laskettuun impedanssiin. Distanssireleen havahtumiselimet voidaan toteuttaa käyttäen ylivirta- tai ali-impedanssihavahtumiselimiä. Näistä jälkimmäinen soveltuu paremmin suurjännitejake-luverkkoon. Se mittaa jännitettä ja virtaa laskien niiden suhteesta impedanssia. Asettelu tapahtuu R-X –koordinaatistoon (kuva 12). Ali-impedanssivyöhykkeet asetellaan kuormitusimpedanssia pienemmäksi. Rele havahtuu mitatun impedanssin siirtyessä ali-impedanssielimen asettelukuvan sisäpuolelle. [9, s. 58-59.]



Kuva 12. Distanssireleen vyöhykekuva

Distanssireleen ominaisuuksiin kuuluu myös kyky laskea vikapaikan etäisyys ja suunta releen mittauspisteestä. Releessä oleva mittauselin käyttää vian alkamisajankohdalla vallinnutta jännitettä referenssijännitteenä, jonka vaihekulman vertailu virtaan nähden kertoo vian suunnan. Vikapaikan laskemiseen rele käyttää mitattuja vikaantuneiden vaiheiden virtoja sekä jännitteitä. Rele tarkastelee alittaako mitattu arvo asettelut ensimmäisestä portaasta lähtien viimeiseen. [9, s. 60-63.]

Distanssireleet voidaan asettaa silmukoidussa verkossa toimimaan toistensa varasuojina. Tällöin ensimmäinen vyöhyke toimii oman johtolähtönsä vioissa ja toinen vyöhyke toimii varasuojana vasta-asemalle. Taulukossa 1 on esimerkki vyöhykkeiden asettelemisen periaatteista. [9, s. 70.]

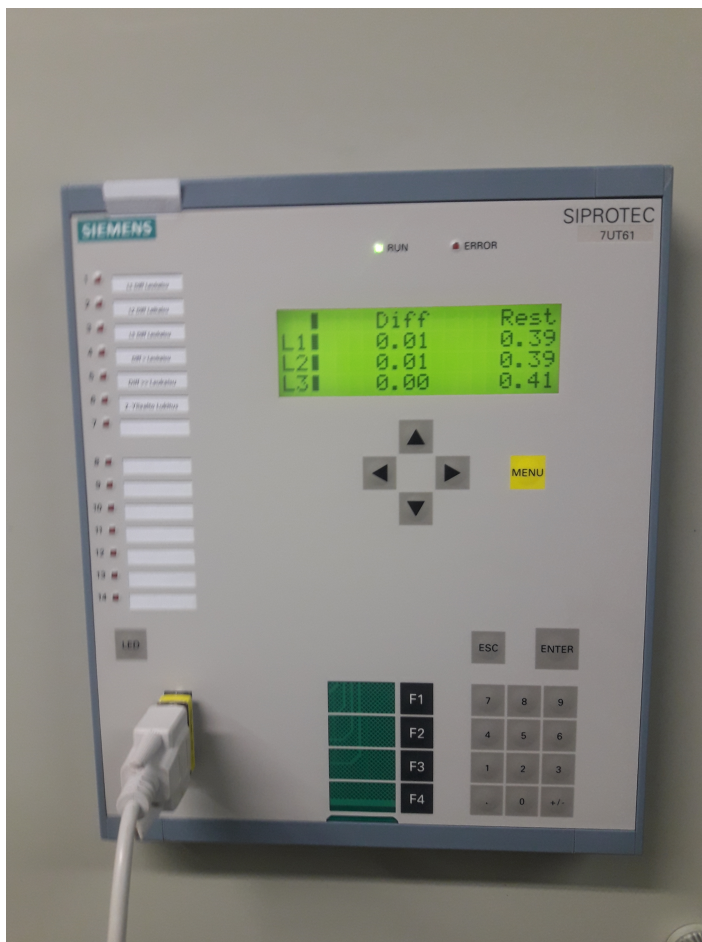
Taulukko 1. Esimerkki distanssireleen vyöhykkeiden asetteluista.

Vyöhyke	Hidastus	Uloottuma
1	0 s	85 % suojattavasta johdosta
2	0,4 s	1 > 120 % suojattavasta sekä 50 % < 1 < 85 % seuraavasta johdosta 1)
3	1 s	Sitä seuraavan johdon alueelle
Hav.	5 s	Niin laajalle kuin kuormitus sallii

1) Jos vasta-asemalta lähtee useita johtoja, kuten tavallista, tarkastellaan lyhintä asemalta lähtevää johtoa, jottei selektiivisyys vaarantuisi. [9, s. 70.]

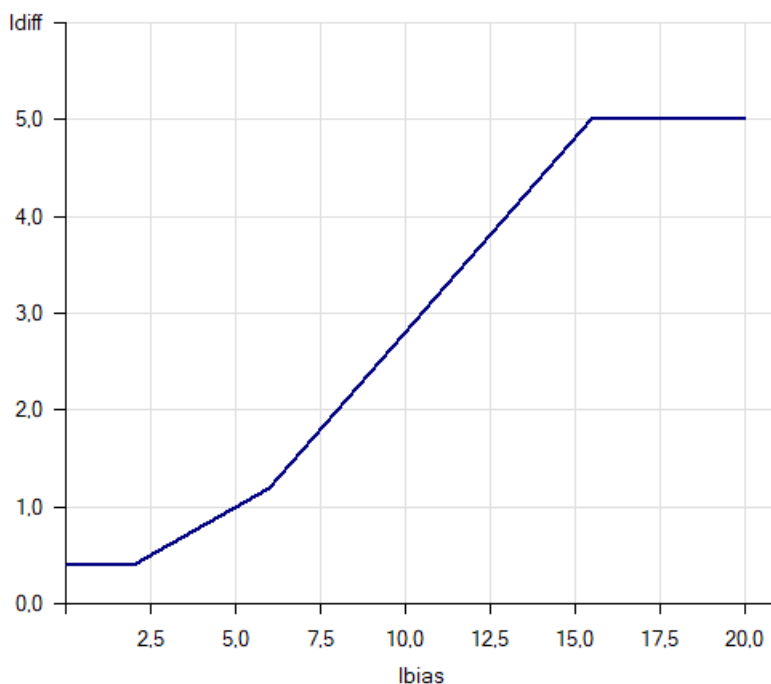
3.3 Differentiaalirele

Differentiaalirele (kuva 13) kuuluu vertoreleisiin, jotka vertailevat mitattuja suureita. Differentiaalirele mittaa suoja-alueensa päissä kulkevaa virtaa ja sen suuntaa. Differentiaalireleen havaitessa erovirtaa enemmän kuin releen asettelu sallii, se antaa laukaisukäskyn. Differentiaalireleet sopivat esimerkiksi muuntajien, generaattoreiden ja kiskojen suojaukseen. Differentiaalirele on absoluuttisesti selektiivinen sen toimiessa vain oman suoja-alueensa vioista. Differentiaalirele tarvitsee varasuojauksen eikä toimi muille releille varasuojana. [9, s. 46-50.]



Kuva 13. Numeerinen differentiaalirele

Differentiaalirelettä aseteltaessa täytyy huolehtia, etteivät esimerkiksi muuntajakytkentä, käämikytkimen toiminta tai virtamuuntajien valinta aiheuta virheellistä toimintaa. Normaalkäyttötilanteesta aiheutuvia kulmaeroja kompensoidaan mittauspiirin välivirtamuuntajien avulla. Nykyisissä numeerisissa releissä kytkentäryhmästä aiheutuva kulmankääntö on aseteltavissa. Käämikytkimen, virtamuuntajien lievän kyllästymisen ja muuntajan tyhjäkäyntivirran aiheuttamaa erovirtaa kompensoidaan lisäämällä vakavointikäämi. Vakavointikäämi vastustaa differentiaalireleen käämin toimintaa tehden tästä vähemmän herkän. Tällaista differentiaalirelettä kutsutaan vakavoiduksi differentiaalireleeksi [8, s. 49]. Kytkentävirtasysäyksen aiheuttamaa virhelaukaisua vastaan releeseen on suunniteltava lukituspiiri, joka toimii sysäysvirran yliaaltojen toimesta. [4, s. 394.]



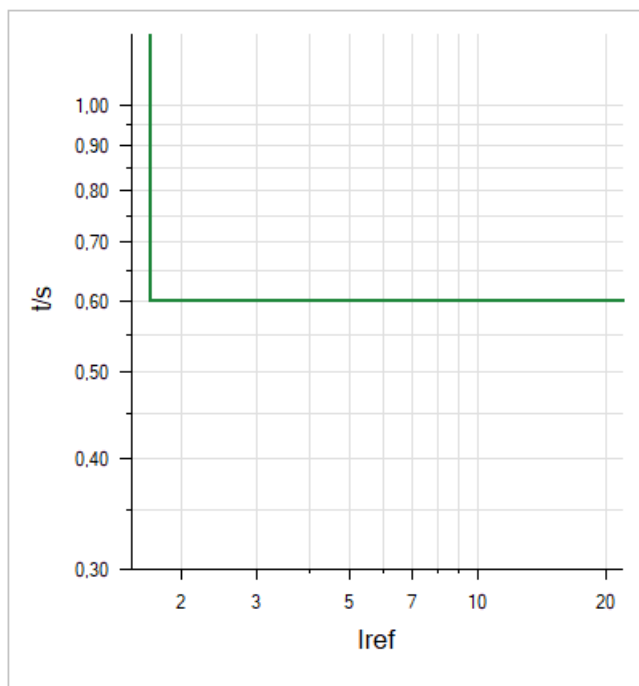
Kuva 14. Differentiaalireleen toimintakäyrä. Rele sallii erovirtaa suhteessa kuormavirtaan.

Differentiaalirelettä voidaan käyttää myös johtolähtöjen suojauksessa vaatien apuyhteystäydennystä, jolloin puhutaan niin sanotusta johtodifferentiaalista. Johtodifferentiaalilin apuyhteyttä voidaan käyttää myös vaihesiirron vertailuun suoja-alueen päiden välillä. Vian syntyessä suojattavalle johtovälille syntyy virtojen välille 180° :n vaihesiirto sen ollessa melkein sama terveen tilan sekä alueen ulkopuolisen vian kohdalla. Differentiaalirele ei ota huomioon johtolähdöllä mahdollisesti käytettävää sarjakondensaattoria, joka on etu distanssireleisiin verrattuna. Johtodifferentiaalireleen koestaminen on haasteellista sillä, se vaatii pulssien syöttämistä suojattavan johtolähdön molemmista päistä. Koestamiseen käytetään kellotahdistettuja koestuslaitteita johto-osuuden molemmissa päissä. [7; 9, s. 50-57.]

3.4 Ylivirtarele

Ylivirtareleet toimivat nimensä mukaisesti releen mittaavan virta-arvon ylittäessä sallitun rajan. Virtareleitä on neljää eri tyyppiä. Hetkellinen ylivirtarele toimii hidastamatta mitatun suureen ylittäessä asetteluarvon. Vakioaikaylivirtarele koostuu käytännössä hetkellisestä ylivirtareleestä ja aikareleestä muodostaen releen, jolle voi asettaa aikahidastuksen. Usein vakioaikaylivirtareleelle voi asettaa virta-arvon myös hetkellislaukaisua varten [4, s. 393]. Käänteisaikaylivirtareleen toiminta-aika on riippuvainen toiminta-arvon

ylittävän virran suuruudesta. Käänteisaikaylivirtareleille on mahdollista asetella portaita erilaisin jyrkkyyksin. Kuormitusvirrasta lämpötilaa laskevat lämpöreleet kuuluvat myös virtareleisiin. Niitä käytetään ylikuormitussuojina. Suurjänniteverkossa ylivirtareleitä käytetään pääasiassa muuntajasuojina sekä johtolähtöjen varasuojauksessa. [9, s. 35-38.]



Kuva 15. Vakioaikaylivirtareleen toimintakäyrä

3.5 Jänniterele

Jänniterele tarkkailee sille annettua jännitemittausta ja toimii jännitteen laskiessa tai noustessa releelle asetellusta arvosta. Alijännitereleitä käytetään pääasiassa moottoreiden suojauksessa estämään jännitteenalenemasta johtuneen pysähtymisen jälkeistä paluujännitteen aiheuttamaa oikosulunkaltaista tilaa. Alijännitereleiden tulee olla epäherkkiä, niissä on oltava suuri asetteluskaala ja aikahidastus. Ylijännitereleitä käytetään lähinnä generaattorien ja muuntajien suojauksessa. Ylijännite aiheuttaa näissä laitteissa vaarallista ylimagnetoitumista. Ylijännitesuojaus on tärkeää kantaverkon muuntajilla alhaisen kuormituksen aikana. 400 kV:n jännitteen nousua voidaan hallita kytkemällä reaktoreita verkkoon muuntajan 20 kV:n tertiäärissä. 110 kV:n jännitetasoa hallitaan kämmikytkimellä. Nollajänniterele käsitellään maasulkusuojauksen yhteydessä. [7; 9, s. 38-39, 201.]

3.6 Maasulkusuojaus

Maasulkusuojausta käytetään suojauksena suuriresistanssisia vikoja vastaan. Distanssirele, jonka lisäsuojauksena maasulkureleitä yleensä johtolähdöillä käytetään, ei ole optimaalinen suuriresistanssisien vikojen kohdalla suuren vikaresistanssin vaikuttaessa releen impedanssiin perustuvaan laskentaan. Maasulkureleet voivat olla suunnattuja tai suuntaamattomia ja perustua eri periaatteisiin. [9, s. 290.]

Yleisin 110 kV:n johtolähdöillä käytettävä maasulkusuoja on niin sanottu vaihekulmasuuntarele. Vaihekulmasuuntarele mittaa nollajännitettä, nollavirtaa sekä niiden välistä vaihekulmaa. Nollajännite-elin voi joko laskea nollajännitearvoa tai mitata sitä jännitemuuntajan avokolmiosta. Suojarele toimii nollavirta ja nollajännite arvojen ylittäessä asettelut ja kulman sijaitessa suojausalueella. Käyttämällä releessä suunnattua maasulkusuoja voidaan sen laukaiseminen kiskon suuntaan estää. [9, s. 40, 332-333, 267.]

3.7 Katkaisijavikasuojaus

Suojareleiden antamat laukaisukäskyt toteutetaan katkaisijoilla. Katkaisija on mekaaninen komponentti ja sen toimimattomuuteen on varauduttava. Katkaisijavikarele eli KVR perustuu katkaisijan toiminnan ja virran valvomiseen. Mikäli katkaisija ei toimi onnistuneesti, laukaisu ohjataan lähimmälle katkaisijalle pyrkimyksenä poistaa vika mahdollisimman pienen verkon osan kustannuksella. Katkaisijavikasuojaus jaetaan yksi- ja kaksivivöhykeversioihin. Kaksivivöhykeversio eroaa yksivivöhykeversiosta sen yrittäessä vielä toista katkaisua ennen kuin käsky ohjataan muille katkaisijoille. [9, s. 227-231.]

Katkaisijavikasuojauksen toteuttamiseen on useampia tapoja. Sen voi yksinkertaisimmillaan toteuttaa aikapiirin avulla ja varmistaa katkaisijan apukoskettimella. Tämä estää virheellisen toiminnan, mikäli suojarele ei palaudu. Suojauksen varmuutta voi lisätä käyttämällä sille omaa ylivirtaelintä. Suurjänniteverkossa suojarele lähettää laukaisukäskyn vikaantuneen johtolähdön katkaisijalle sekä käynnistää KVR -ajastimen. Jos asetellun ajan kuluttua KVR havaitsee vikavirtaa, lähettää se laukaisukäskyn kaikille samaa kiskoa syöttävien johtolähtöjen katkaisijoille, kiskokatkaisijalle ja vikaantuneen syötön vastaan katkaisijalle, mikäli käytössä on viestiyhteys. Kiskosuojauksen ollessa käytössä,

toteutetaan katkaisijavikasuojaus yleensä sen yhteyteen. Tällöin toimimattoman katkaisijan kautta kulkeva virta poistetaan kiskosuojasta, jolloin syntyy erovirrasta johtuva laukaisu. [9, s. 227-231.]

3.8 Kiskosuojaus

Jakeluverkossa esiintyvät viat voi vikatyyppin lisäksi jakaa kahteen ryhmään, johtolähdön vikoihin sekä asemalla tapahtuviin kiskovikoihin. Jakoraja kisko- ja johtovikoihin riippuu virtamuuntajien sijainnista. Suurjänniteverkossa kiskovikojen aiheuttamat vauriot voivat olla suuria, ja ne ovat riski jakeluverkon stabiiliudelle. Mikäli käytössä on duplex-järjestelmä, on syytä käyttää kiskosuojausta. Tässä tapauksessa vikaantuneen kiskon tekeminen irtikytkentä ei aiheuta sähkönjakeluun häiriötä. Oikosulkutehojen kasvu ja kiskosuojauksen kehitys ovat yleistäneet sen käyttöä sähköasemilla [4, s. 406]. [9, s. 207.]

Kiskosuojauksen perusvaatimuksiksi voidaan katsoa riittävän nopea toiminta ja erityisesti selektiivinen toiminta. Kiskosuoja ei saa toimia sen suoja-alueen ulkopuolisissa vioissa ja sen toiminta tulee rajoittaa vain vialliseen kiskonosaan kiskoston ollessa jaettavissa. On suositeltavaa, että kiskosuoja on mahdollista lukita esimerkiksi koestusten tai mitausten ajaksi. Kiskoston suojaus on mahdollista toteuttaa monin tavoin. Esimerkkejä tästä ovat ylivirtareleillä toteutettu suojaus, valokennosuojaus ja distanssireleiden taaksepäin suunnatun portaan käyttö. Yleisin toteutustapa suurjänniteverkossa on kuitenkin differentiaalisuojaus. Kiskosuojan varasuojana voidaan käyttää jännitemuuntajan avokolmion nollajänniterelettä. [9, s. 208-209.]

Differentiaalireleellä toteutettu kiskosuojaus mittaa kiskoon tulevia ja lähteviä virtoja verraten niitä toisiinsa. Normaalitilanteessa virrat ovat yhtä suuret ja tilanne luetaan viaksi virtojen eron ylittäessä releen asetteluarvon. Huomioon otettavia seikkoja ovat virtamuuntajien mahdollinen kyllästyminen sekä luotettavat asentotiedot kiskosuojalle. Jälkimmäinen onnistuu nykyisillä numeerisilla releillä helposti, suojan huomioidessa kiskon kytkentätilanteet. [9, s. 208-209, 214-216.]

3.9 Taajuussuojaus

Verkon taajuuden liiallinen nouseminen tai laskeminen vaikuttaa negatiivisesti verkon stabiilisuuteen. Ylitaajuusreileitä käytetään suojaamaan generaattoreita esimerkiksi tehonsäätäjän vikaa varten. Alitaajuusreileitä käytetään kuormien irrottamiseen häiriöstä johtuneen verkon tehovajeen aikana. Taajuussuojauksen tarkempi läpi käynti jätettiin tässä työssä väliin sen ollessa olennaisempaa voimalaitos- ja teollisuusverkoissa. [9, s. 40.]

3.10 Suojauksen viestiyhteys

Apuyhteystäydennys nykyisimmin tunnetummalta nimeltään suojauksen viestiyhteys eli SVY on useimmiten distanssirele- tai differentiaalireleen yhteydessä käytetty lisäsuojaus. SVY on suojausta täydentävä ominaisuus, jota käytetään verkon stabiilisuuden säilyttämiseksi. Suurjännitteellä distanssireleen 2. vyöhykkeen laukaisu on liian hidas, ja SVY:en avulla on tarkoitus saada johdon molempien päiden laukaisuaika 1. vyöhykkeen laukaisuajaksi mahdollistaen kuormien poiskytkennän ennen jälleenkytkentäsekvenssiä. Tämä parantaa pikajälleenkytkentöjen mahdollisuutta onnistua. SVY on käytössä aina 400 kV:n kantaverkon jakelussa ja valikoiduissa paikoissa pienemmillä jännitetasoilla. [9, s. 286-287.]

SVY lähettää kyllä tai ei tiedon releiden välillä esimerkiksi kantoaaltona tai valokuituyhteydellä. Se voidaan määritellä esimerkiksi laukaisevaksi, sallivaksi, kiihdyttäväksi, lukitsevaksi tai vapauttavaksi. Eri funktiot liittyvät pääasiassa distanssireleen vyöhykkeiden mahdollisuuteen olla aseteltuja yli- tai aliulottumaan. Laukaisevassa funktiossa distanssirele lähettää laukaisun vastapään katkaisijalle havaitessaan 1. vyöhykkeen vian. Lukitseva funktio lukitsee vastapään releen laukaisemisen havaitessaan vian olevan releestä katsottuna takanapäin. Yleinen käytetty versio on kiihdytetty funktio, jolla ohitetaan vastapään releen hitaampi laukaisuporras mahdollistaen onnistuneen PJK:n. Salliva yliulottuva laukaisu vaatii yliulottuvan vyöhykkeen havahtumista ja signaalia vastapään releeltä. Siihen voidaan liittää kaikukytkeä, jolla parannetaan viestiyhteyden toimintaa vian sijaitessa esimerkiksi releestä katsottuna takanapäin.



Kuva 16. Signaaliensiirtolaite

3.11 Eroonkytkennän viestiyhteys

Onnistuneen PJK:n (pikajälleenkytkentä) tai AJK:n (aikajälleenkytkentä) edellytyksenä on, etteivät mahdolliset voimalaitokset jää syöttämään johtolähdön vikaa. Jos johtolähdöllä on siihen liittyviä tuotantolaitoksia, kuten tuulipuistoja tai vesivoimaloita, on ne erotettava verkosta mahdollisen vian aikana. Tämä voidaan toteuttaa eroonkytkennän viestiyhteydellä (EVY). [10.]

EVY rakennetaan johtolähdön toiseen pääteasemaan. Suojareleen laukaisusta viedään EVY:llä etälaukaisukäsky johtolähdön varrella olevaan voimalaitokseen. Etälaukaisukäsky tuodaan verkon tilaa tarkastelevan vastaanottoehdon kautta virhelaukaisujen esittämiseksi. Varmistus koostuu seuraavasta:

Vastaanottoehdon releistys koostuu:

- $3U<$ releestä, joka toimii jos yksikin pääjännite laskee alle asettelu.
- 110 kV jännitettä mittaavasta $U0>$ -releestä.
- Pitopiiristä, joka päästää EVY-etälaukaisun läpi, vaikka jännitereleiden toimintaehdot palautuisivatkin nopeasti. [10, s. 7.]

EVY-laitteistoa käytetään suurjännitejakeluverkossa johtolähdöillä, joiden varrella on suuritehoisia tuotantolaitoksia. EVY-laitteen viestiyhteyden tilaa tulee valvoa. EVY-laitteisto koestetaan ennen sen käyttöönottoa. Koestus vaatii yleensä keskeytyksen ja koestajan molempiin päätyihin. [10.]

3.12 Jälleenkytkennät

Valtaosa suurjänniteverkon vioista on ympäristön ja sääolosuhteiden aiheuttamia valokaarivikoja avojohdoilla. Vioista hyvin suuri osa eli noin 90 % voidaan selvittää ilman korjaustöitä jälleenkytkennöillä. Suojarele antaa vian syntyessä katkaisijalle laukaisukäskyn tehden linjan jännitteettömäksi, jolloin siinä oleva valokaarivika sammuu. 110 kV:n verkossa jännitteettömän väliajan tulisi olla minimissään noin 150 ms, ja pidempi jos vikaa jää syöttämään sähkökoneita. PJK:n onnistumisen kannalta on tärkeää, että johtolähdön molempien päiden katkaisijat ovat auki samanaikaisesti. Tämän jälkeen jälleenkytkevärelle ohjaa katkaisijan takaisin kiinni. PJK:n epäonnistuessa odotetaan pidempi jännitteetön aika yrittäen sen jälkeen suorittaa AJK. Tämän jännitteettömän väliajan aikana katkaisijan jousi ehtii virittyä. Suojauksen ollessa toteutettu useammalla jälleenkytkevällä releellä, on oltava mahdollisuus valita kumpi releistä suorittaa jälleenkytkentätoiminnon. On olemassa poikkeustapauksia, joissa käytetään pelkästään PJK- tai AJK-toimintoa. Esimerkiksi distanssisuojan maasulkulaukaisu käynnistää suoran AJK:n. 220 kV:n pitkillä johto-osuuksilla on käytössä vain yksi vaiheinen PJK. [9, s. 253-254.] [7.]

4 Mittausmenetelmät

4.1 Yleisimmät mittalaitteet

Yleismittari on yksi yleisimmin käytetyistä mittalaitteista. Monet asiat pystytään toteamaan mittaamalla perussuureita eli virtaa, jännitettä ja resistanssia. Esimerkiksi tasasähköllä toteutetuissa apusähköjärjestelmissä tieto siitä, onko jännitettä vai ei usein riittää. Nykyisten digitaalisten yleismittareiden ominaisuuksiin kuuluvat edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi diodi-, kapasitanssi- ja erityisen hyödyllinen jatkuvuusmittaus. [11.]

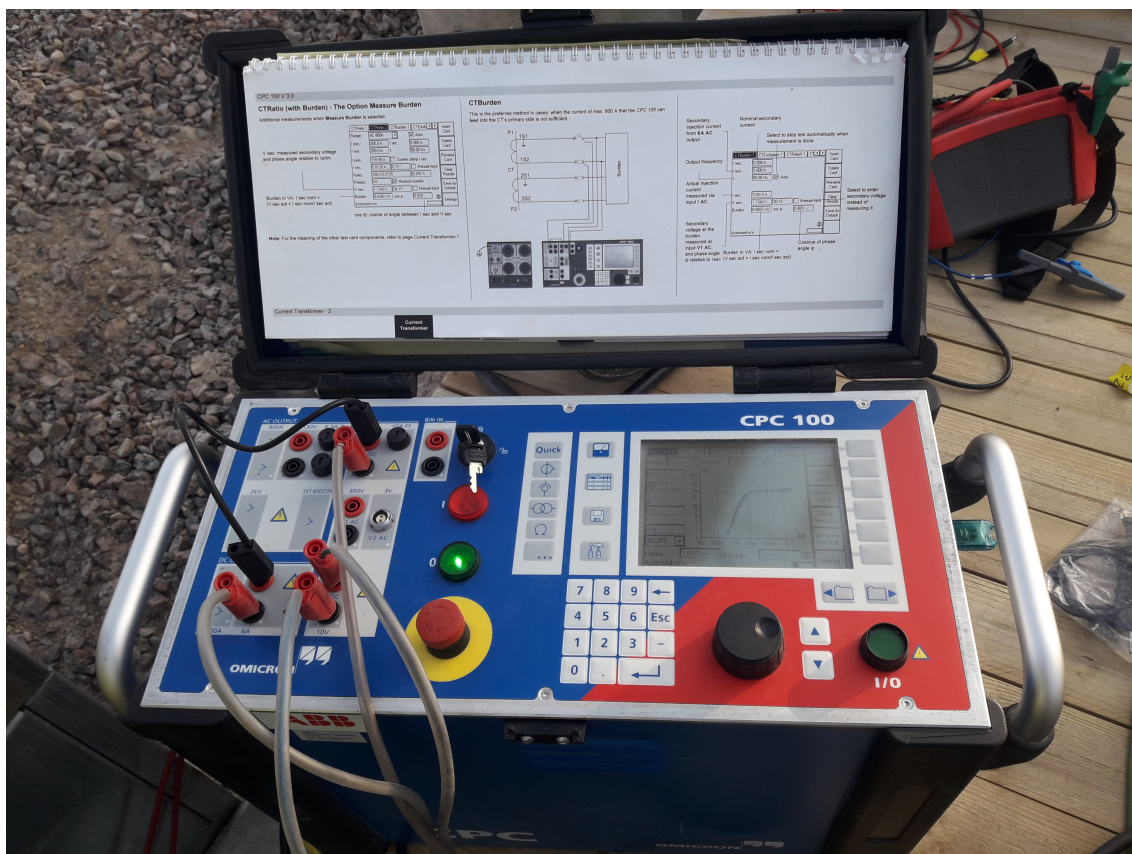
Installaatio- eli asennustesteriä käytetään asennusten tarkastusmittauksiin. Pääasiassa asennustesteriä käytetään kaapeleiden eristysvastuksen, silmukkaimpedanssin ja vika-virtasuojien toiminta-ajan sekä toimintavirran mittaamiseen. Muita yleisiä ominaisuuksia ovat muun muassa johtavuus- ja maadoitusresistanssimittaukset. [11.]

Omicron CMC 356 (kuva 17) ja poistuva CMC 256 ovat releiden koestukseen suunniteltuja testilaitteita. Laitte soveltuu kaikkien yleisimpien reletyyppien koestukseen. Laitteella pystyy syöttämään säädettäviä yksi- tai kolmevaiheisia jännitteitä, virtoja sekä niiden taajuuksia ja vaihekulmia. CMC:llä on myös mahdollisuus käyttää releen binääri-inputteja sekä outputteja, johon tuodaan kosketintiloja. CMC:tä käytetään tietokoneeseen asennetun Test Universe -ohjelman avulla. Ohjelmistossa on simulointityökaluja valmiina eri reletyyppien testaukseen kuten ylivirta- ja distanssireleille. Muita työkaluja ovat esimerkiksi jälleenkytkentöjen ja havahtumispisteiden testaukseen luodut sovellukset. [12, 13.]



Kuva 17. Omicron CMC 356 toisiokoestuslaite

Omicron CPC 100 (kuva 18) on mittalaite, jota käytetään moniin erilaisiin mittauksiin täten korvaamaan useampia koestuksessa ja kunnossapidossa käytettäviä mittalaitteita. Pääasiallisesti CPC 100:aa käytetään mittamuuntajien, tehomuuntajien, pyörivien koneiden, linjan impedanssin ja maadoitusten mittaamisessa. Laitteella syötetään jännitettä ja virtaa mitattavaan kohteeseen monien muiden mittalaitteiden tavoin. Syöttökapasiteettia ja ominaisuuksia on mahdollista laajentaa CPC 100:n lisälaitteiden avulla. [14.]



Kuva 18. Omicron CPC 100

4.2 Suoritettavia mittauksia

Seuraavassa kappaleessa on käsitelty muutamia yleisiä johtolähtöön liittyviä mittauksia. Mittausten tarkkaan suoritustapaan ei ole tässä työssä syvennynyt, vaan niitä käsitellään hyvin pinnallisesti.

4.2.1 Kytinkentällä

Kytinkentän kojeille suoritettavilla mittauksilla varmistetaan niiden toiminta paikan päällä esimerkiksi mahdollisten kuljetuksen aikaisten vaurioiden löytämiseksi. Mittaustuloksia voidaan verrata tehtaan testituloksiin ja täten varmistua laitteiden toimintakunnosta.

Ylimenovastus mitataan jokaiselle erottimelle sekä katkaisijalle kentällä. Mittaus suoritetaan syöttämällä virtaa koestuslaitteella kytkinlaitteen yli. Kytinlaitteen yli syntyvästä jännitteen alenemasta saadaan laskettua sen ylimenovastus. Resistanssiarvon tulisi olla mahdollisimman pieni ja kytkinlaitteen johtava. [7.]

Katkaisijalle suoritetaan useampia mittauksia sen toimintakunnon varmistamiseksi asemalla. Katkaisijan viritysmoottorin toiminta-aika ja sen virta mitataan. Katkaisijan ja sen laukaisukelojen toiminta-ajat mitataan. Laukaisueloilta tulee mitata myös niiden alimmat toimintajännitteet. Katkaisijassa käytettävästä eristeaineesta riippuen suoritetaan esimerkiksi SF₆-paineenmittaus. [7.]

Mittamuuntajien nimellisarvot, napaisuus ja muuntosuhteet tulee tarkastaa mittaamalla. Virtamuuntajien käyttöönotossa on tärkeää, ettei virtapiirejä jää auki, ensiöpuolen navat ja toision tähtipiste on kytketty oikein kokoojakiskonsuhteen. Lisäksi on syytä tarkastaa virtamuuntajan taakka. Ennen mittausten aloittamista on syytä varmistaa virtamuuntajien ja niiden maadoitusten oikea kytkentä. [9, s. 369.]

Virtamuuntajia mitattaessa kannattaa aloittaa taakan ja muuntosuhteen mittauksella. Nämä mittaukset voi suorittaa usein samaan aikaan ja niistä selviävät pahimmat mahdolliset ensiö- sekä toisiopuolen kytkentävirheet, joista johtuen virtamuuntajat jouduttaiisiin suorittamaan asennusmuutoksia. Nämä ovat väärän kokoisen kaapeloinnin käyttäminen, avoimet toisiopiirit tai väärän muuntosuhteen käyttäminen. Seuraava suoritettava mittaus on hystereesin eli kyllästymiskäyrien mittaus. Virtamuuntajan tarkkuusraja saavutetaan nostamalla mittalaitteella jännitettä, kunnes saavutetaan saturaatiopiste. Lisäksi virtamuuntajista mitataan sen napaisuus ja käämiresistanssi. Mittalaitteeksi soveltuu esimerkiksi Omicron CPC 100 tai vastaava laite. Samat mittaukset suoritetaan myös mahdollisille jännitemuuntajille. [7.]

Kaikille asennuksissa käytetyille kaapeleille tulee suorittaa eristysvastusmittaus niiden ollessa asennettuna lopulliselle paikalleen. Eristysvastusmittauksella varmistetaan jännitteisten osien riittävä eristys maadoituksesta. Mittaus voidaan suorittaa asennustestillä käyttämällä 1000 V:n testausjännitettä. Hyväksyttävän arvon tulee olla enemmän kuin yksi MΩ eli miljoona ohmia.

4.2.2 Asemarakennuksessa

Suojareleet voidaan koestaa käyttämällä siihen soveltuvaa koestuslaitetta, kuten CMC 356 tai vastaavaa. Releiltä tulee koestaa niiden kaikki suojausfunktiot ja sen laukaisupiirin toiminta. Laukaisupiirin toiminnan voi todeta riviliittimille asti, mutta on suositeltavaa tehdä se käyttäen vähintään kerran kumpaakin laukaisukelaa. Suojareleen mahdolliset lisäominaisuudet, kuten jälleenkytkennät, voi myös testata käyttäen koestuslaitetta. Eri releityypeille on mahdollista tehdä erilaisia koestusmoduuleja nykyaikaisilla koestuslaitteilla.

4.2.3 Käyttöönoton aikana

Käyttöönottilanteessa mitataan ja kalibroidaan releet joidenkin suureiden osalta. Kalibroinnilla tarkoitetaan mitta-arvojen vertailu, jonka jälkeen laitteet viritetään. Mitattavia suureita ovat virrat, jännitteet ja tehot. Suureiden arvojen lisäksi erityisen tärkeää on todeta releiden mittaavan oikein suureiden suunnan. Mittaukseen voidaan käyttää eri pisteitä, kuten energianmittauslaitteet ja itse suojareleet tai kenttäohjausyksiköt. Mittaustulokset dokumentoidaan. Releet kalibroidaan mittaamaan suureet normaalin käyttötilanteen mukaan. Myös releiden tahdistusfunktiot kalibroidaan. Nämä mittaukset voidaan suorittaa toisiopiireistä. Ennen käyttöönottoa tulee myös varmistaa vaiheiden kierto-suunta. Tämä tulee suorittaa etenkin, mikäli on tehty linjatöitä, jolloin on ollut mahdollisuus sekoittaa vaiheet kääntöjen aikana. [7.]

5 Vaatimukset

5.1 Standardien vaatimukset

Sähkölaitteistojen vaatimusten kohdalla tulee ensisijaisesti noudattaa asiaankuuluvia lakeja sekä viranomais määräyksiä. Lakien lisäksi on noudatettava erilaisia standardeja. Sähköalan standardien sisältö valmistellaan usein IEC:n (International Electrotechnical Commission) toimesta ja niitä tarkennetaan esimerkiksi Euroopan unionin ja yksittäisten valtiokohtaisten liittojen mukaisesti. Suomessa on voimassa oma SFS-standardi, joka perustuu eurooppalaiseen CENELEC:n (European Committee for Electrotechnical Standardization) EN-standardiin, ja siihen on lisätty Suomen säädöksiin ja kansallisiin erityisolosuhteisiin liittyviä poikkeuksia. Standardit sisältävät esimerkiksi noudatettavia asennusten minimivaatimuksia sekä lisäopastusta, ja sen tarkoitus on taata muun muassa luotettavuus ja turvallinen käyttö. [15, s. 8-9; 16.]

Sähkölaitteita sekä -laitteistoja koskevat yleiset vaatimukset on määritelty Suomen sähkölainsäädännön pykälässä 6 § seuraavasti:

Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.

Jos sähkölaite tai -laitteisto ei täytä 1 momentissa säädettyjä edellytyksiä, sitä ei saa saattaa markkinoille, luovuttaa toiselle eikä ottaa käyttöön. [17, s. 4.]

SFS 6001 standardin mukaan tarkastuksilla ja testeillä tulee varmistaa asennuksien täytävän niille asetetut vaatimukset. Toimittajan ja käyttäjän tulee sopia testauksien laajuudesta, käytettävistä spesifikaatioista ja dokumentoinnin toteuttamisesta keskenään. Tarkastukset voidaan suorittaa silmämääräisesti, käyttökokein ja mittauksin. [15, s. 102.]

6 Yhteenveto

Opinnäytetyössä pyrittiin luomaan koestusohje 110 kV:n johtolähdölle. Tavoitteena oli luoda ohje, jota voi käyttää esimerkiksi henkilöstön kouluttamisessa tai tukimateriaalina projekteissa.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin käytettäviin suojareleisiin ja kytkinlaitteisiin. Toinen pääkohta oli tutkia, mitä vaatimuksia erilaiset säännökset kuten Suomen sähkölaki ja sähköasennuksia koskevat standardit, asettavat testaamiselle. Käytännönsuudessa selvitettiin, mitkä ovat tarvittavat mittaukset johtolähdön toimivuuden todentamiseksi.

Tutkimukseen käytetyn aineiston löytäminen oli joltain määrin haastavaa esimerkiksi hyvien suojausjärjestelmiä käsittelevien teosten löytämisen osalta. Suurimmaksi haasteeksi muodostui aiheen rajaaminen opinnäytetyön mittakaavaan sopivaksi.

Opinnäytetyössä luotiin pohja 110 kV:n johtolähdön koestusta käsittelevälle ohjeelle. Ohjeesta syntyi pääpiirteinen versio, joka käsittää sen testauksen FAT-vaiheesta käyttöön-ottoon. Ohje käsittää tarvittavat mittaukset ja niistä luotavan dokumentaation, muttei syvenny siihen, kuinka itse mittaukset suoritetaan käytännössä. Ohjeessa on tilaa kehitykselle jatkossa tämän työn ulkopuolelle rajattujen aiheiden ja tarkempien mittausharjojen puolesta.

Lähteet

- 1 Tilaajan kotisivut. <<https://www.empower.eu/web/fi/konserni>>. Luettu 29.01.2018
- 2 Verkkoaineisto. Empowerin vuosikertomus 2016. <<https://www.empower.eu/documents/10192/1139454/Empower-konsernin+vuosiraportti+2016/a1a24304-f895-4c2a-a631-752b5fbe5777>>. Luettu 29.01.2018
- 3 Tilaajan kotisivut. <<https://www.empower.eu/web/fi/sahkoverkkopalvelut>>. Luettu 29.01.2018
- 4 Elovaara, Laiho. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. Otatieto
- 5 Ojavalli Paavo. 2011. Relekoestuksissa käytettävä kytkinlaitesimulaattori. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.
- 6 Hietalahti, Lauri. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka
- 7 Jukka Kotisaari. Haastattelu. Suojausasiantuntija, Fingrid. 05.04.2018
- 8 Elovaara, Haarla. 2011. Sähköverkot II. Otatieto
- 9 Mörsky, Jorma. 1992. Relesuojaustekniikka. Otatieto
- 10 Verkkoaineisto. Kantaverkon ja asiakasliityntöjen relesuojaus. 21.03.2017. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/sahkomarkkinainformatio/kantaverkon-ja-asiakasliityntojen-relesuojausohje_final.pdf>. Luettu 22.02.2018
- 11 Verkkoaineisto. Tuotemanuaalit. <<http://www.fluke.com/fluke/fifi/support/manuals/>>. Luettu 02.04.2018
- 12 Verkkoaineisto. Tuotemanuaalit ja esitteet. <<https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-356/>>. Luettu 02.04.2018
- 13 Manuaali. Omicron Test Universe. Luettu 02.04.2018
- 14 Verkkoaineisto. Tuotemanuaalit ja esitteet. <<https://www.omicronenergy.com/en/products/cpc-100/documents/>>. Luettu 28.04.2018
- 15 Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS6001 Suurjännitesähköasennukset. 10.08.2015. 4. Painos

16 Verkkosivut. <https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/>. Luettu 02.02.2018

17 Suomen Säädoskokoelma, Sähköturvallisuuslaki. 19.12.2016/1135

18 Fingrid. FG:n sisäinen materiaali. Luettu 23.03.2018

