



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jan Kolkka

SUOJARELEIDEN KOESTUS TARKASTA- MOSSA

VECOS

Tekniikka
2022

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jan Kolkka
Opinnäytetyön nimi	Suojareleiden koestus tarkastamossa
Vuosi	2022
Kieli	Suomi
Sivumäärä	41 + 1 Liite
Ohjaaja	Olli Tuovinen

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan relesuojauksen perusteisiin, generaattorisuojareleen suojaustoimintoihin sekä niiden koestukseen VECOS-tarkastamossa. Työn tavoitteena oli laatia koestusohje Schneider P3G32-generaattorisuojareleelle.

Lähtökohtana koestusohjeen luomisessa oli runsas kuvamateriaalin käyttö yhdistettynä lyhyeen kuvaukseen suoritettavasta koestusvaiheesta. Koestusprosessin eri vaiheiden hahmottaminen pelkän kirjallisen materiaalin avulla on hankalaa, kun taas kuva yhdistettynä selitteeseen helpottaa prosessin oppimista. Koestusohjeen ansiosta suojaustoimintojen tarkastamisen ei tarvitse enää nojata pelkkään ulkoa muistamiseen, kuten tähän asti. Ennen kaikkea, uusien työntekijöiden perehdyttäminen on helpompaa, eikä vaadi työnopastajan jatkuvaa läsnäoloa ja valvontaa.

Työssä käytettiin omia kokemuksia VEOn tarkastajana sekä haastateltiin voimalaitosprojekteissa eri työtehtävissä pitkään työskennelleitä henkilöitä. Teoriapohja työhön on hankittu alan kirjallisuudesta sekä VEOn omilta verkkosivuilta.

Työn tavoitteet saavutettiin onnistuneesti, sillä koestusohjeen avulla pystyttiin koestamaan kaikki opinnäytetyössä käsitellyt generaattorisuojauksessa käytettävät suojaustoiminnot.

ABSTRACT

Author	Jan Kolkka
Title	Testing of Protection Relays in the Testing Station
Year	2022
Language	Finnish
Pages	41 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Olli Tuovinen

The thesis focuses on the basics of relay protection, safety mechanism of a generator protection relay's safety mechanisms and the testing of these procedures in a VECOS testing station. The aim of the thesis was to create a testing instruction for the Schneider P3G32 generator protection relay.

The testing instructions were built to have testing phase specific instructional pictures combined with short explanations of each testing phase. The different testing procedures are hard to comprehend using only a written format and for this reason also visual instructions were included to ease the learning process. Previously the relay testing relied on memorization of each sequence and the testing instructions were compiled to be a complementary document to rely on. The testing instructions support the training of new employees because the training does not require the constant presence and supervision of the trainer.

The information for the thesis is based on personal experiences as an inspector at VEO and the information collected from interviews with experts that have worked extensively in power plant projects. The theoretical basis for the thesis was collected from literature specific to the field of study and the web page of VEO.

The testing instructions were used to test all safety features in generator screening and therefore the objectives of the thesis were achieved.

Keywords Generator protection relay, testing and testing station

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

KÄSITTEET JA LYHENTEET

LIITTEET

1	JOHDANTO.....	9
	1.1 Tausta työlle.....	9
	1.2 Työn rajaukset.....	10
2	YRITYSESITTELY.....	11
3	VECOS-OHJAUSKESKUKSET.....	12
4	VECOS-TARKASTAMO.....	14
	4.1 Sähköinen tarkastustoiminta.....	16
	4.2 Releiden koestuslaite.....	17
5	GENERAATTORIN RELESUOJAUS.....	18
	5.1 Yleistä.....	18
	5.2 Generaattorisuojarele Schneider-P3G32.....	18
6	P3G32 SUOJARELEEN KOESTUS TARKASTAMOSSA.....	20
	6.1 Koestusprosessin aloitus.....	20
	6.2 Suojauskaavio.....	20
7	GENERAATTORISUOJARELEEN KYTKENTÄ.....	22
	7.1 Differentiaalisuojaus.....	23
	7.2 Jännitesuojaus.....	25
	7.2.1 Ylijännite.....	25
	7.2.2 Alijännite.....	25
	7.3 Ylivirtasuojaus.....	27
	7.4 Alimagnetointisuojaus.....	27
	7.5 Takatehosuojaus.....	29

7.6	Vinokuormasuojaus	31
7.7	Nollajännitesuojaus	32
7.8	Suunnattu maasulkusuojaus.....	34
7.9	Maasulkusuojaus	35
8	KOESTUSTOIMINNAN HYÖDYT	37
9	YHTEENVETO	39
	LIITTEET.....	41

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. VEO Oy pääkonttori ja kojeistotehdas	11
Kuva 2. CFC-ohjauspaneeli.....	13
Kuva 3. Layout-kuva keskuksen edestä	15
Kuva 4. Piirikaavion tarkastusmerkinnät	16
Kuva 5. Releiden koestuslaite	17
Kuva 6. P3-sarjan suojarahle.....	19
Kuva 7. P3G32-suojarahleen käyttötarkoitus	19
Kuva 8. Suojauskaavio.....	21
Kuva 9. Generaattorisuojarahleen kytkentäpisteet	22
Kuva 10. Differentiaalisuojauksen toiminta-alue	23
Kuva 11. Suojaustoimintojen indikointi differentiaalisuojalla.....	24
Kuva 12. Suojaustoiminto hälytyslistassa	24
Kuva 13. Alijännitesuojan U1< asettelu Easergy Pro-ohjelmassa.....	26
Kuva 14. Alijännitesuojien block-matriisi Easergy Pro-ohjelmassa	26
Kuva 15. Alimagnetointisuojauksen toiminta releen näytöllä	28
Kuva 16. Virran suunnan vaihto koestuslaitteella	30
Kuva 17. Takatehosuojauksen toiminta releen näytöllä	30
Kuva 18. Nollajännitteen asetteluarvo	33
Kuva 19. Nollajännitteen mittaus releellä	33
Kuva 20. Suunnatun maasulkusuojauksen toiminta releen näytöllä	35
Kuva 21. Maasulkusuojauksen toiminta releen näytöllä.....	36
Kuva 22. Poikkeama releen asetteluarvoissa	38
Taulukko 1. Koestettavat suojausfunktiot.....	21
Taulukko 2. Vinokuormasuojan asettelu	32

KÄSITTEET JA LYHENTEET

VECOS	Vaasa Engineering Control System, VEO:n ohjausjärjestelmien osasto
HW	Hardware, keskuksen komponenttien toiminnallisuuden tarkastus sähköisesti tehdastarkastamossa
FAT	Factory Acceptance Test, dokumentoitu toiminnallinen tarkastus tehdastarkastamossa
PMU	Power monitoring unit, generaattorin tehon valvontayksikkö
CFC	Dieselvoimalaitoksen generaattorisuojus- ja tehonvalvontakeskus
CFA	Dieselvoimalaitoksen kommunikaatiokeskus
CFE	Dieselvoimalaitoksen jännitteensäätökeskus
AVR	Automatic voltage regulator, automaattinen jännitteen säätäjä
BJA	Dieselvoimalaitoksen moottorihjauskeskus
CFR	Dieselvoimalaitoksen serverikeskus
IEC 61439	Eurooppalainen standardi, pienjännitekojeistoille
IP	Keskuksen kotelointiluokka
LAYOUT	Kuva keskuksen visuaalisesta toteutuksesta
REDPEN	Poikkeamien havainnollistaminen punaisella värillä
V	Voltti
A	Ampeeri
ANSI	American National Standards Institute, standardisoimisjärjestö
IEC	International Electrotechnical Institute, standardisoimisjärjestö
PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka
I₀	Nollavirta
U₀	Nollajännite

LIITTEET

LIITE 1. Koestusohje Schneider P3G32/VAMP260i

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa työohjeet suoja-alueiden perussuojauksien koestamiselle VECOS-tarkastamossa. Tarkastamo toimii tuotannon ja suunnittelun välisenä yhteyskohtana. Tarkastamo toimii tuotannossa asentajien, tuotannosuunnittelijan sekä tuotantopäällikön kanssa yhteistyössä tuotantoprosessin mahdollisimman nopean ja tehokkaan läpiviemisen mahdollistamiseksi. Suunnittelun kanssa käydään läpi tuotannossa ja tarkastuksessa ilmenneet poikkeamat ja niiden vaatimat jatkotoimenpiteet.

Minun oli helppo lähestyä tätä aihetta useammastakin syystä. Olen työskennellyt VEOlla 6 vuotta eri työtehtävissä. Aloitin kojeistoasentajana VECOS-osastolla rungon ja viimeistelyn työvaiheissa. Rungon työtehtävissä sain kokemusta keskusten mekaanisista vaatimuksista ja viimeistelyssä kojeiden asentamiseen liittyvistä vaatimuksista. Asennuksessa hankittu työkokemus on ollut ensiarvoisen tärkeää tarkastamon työtehtävissä.

VECOS-tarkastamossa keskusten sisältämien komponenttien tarkastus tapahtuu aina sähköisesti, kun se on mahdollista. Sähköisellä tarkastuksella varmistetaan komponenttien virheettömyyden lisäksi piirien tarkoituksenmukainen toiminta keskuksen toiminnan kannalta. Tarkastamon suorittaman HW-tarkastuksen jälkeen keskus toimitetaan sitä seuraavaan PLC FAT-tarkastukseen.

1.1 Tausta työlle

Suoja-alueiden koestukseen on tehty ohjeet, jotka ovat jo vanhentuneet. Suoja-alueet ovat uudistuneet ja suojauskonfiguraatioiden määrä on kasvanut viime vuosina. Suoja-alueiden koestaminen on tällä hetkellä tarkastajien ammattitaidon varassa ja mahdollisten uusien työntekijöiden opastaminen tarkastustoimintaan helpottuisi päivitettyjen ohjeiden avulla. Opinnäytetyössä tullaan tuottamaan kokonaan uudet ohjeet koestusprosessille. Vanhasta ohjeesta poiketen, uuteen ohjeeseen liitetään kuvamateriaalia helpottamaan koestuksen tekemistä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on myös tarkastella tarkastamon koestustoiminnasta saavutettuja hyötyjä tuotantoprosessin kannalta.

1.2 Työn rajaukset

Opinnäytetyössä käsitellään dieselvoimalaitoksen ohjauskeskuksissa käytettävän Schneider P3G32-generaattorisuojareleen koestusta VECOS-tarkastamossa.

Releen koestuksen mahdollistaa suojausasetusten lataaminen releelle. Dieselvoimayksikön keskuksiin tämä on mahdollista, koska suojausasettelut saadaan asiakkaalta ennen keskuksen siirtymistä PLC FAT-tarkastukseen.

Opinnäytetyön liitteenä olevassa koestusohjeessa käydään läpi myös PMU-yksikön (VAMP260i) koestus. Rele toimii keskuksessa generaattorin tehon valvontayksikkönä ja siinä ei ole käytetty suojaustoimintoja, joten sen koestamista ei ole otettu osaksi opinnäytetyötä. Keskuksen kokonaisvaltaisen tarkastuksen kannalta oli tärkeää liittää myös PMU-yksikön testaaminen koestusohjeeseen.

2 YRITYSESITTELY

VEO Oy on Vaasassa vuonna 1989 perustettu yritys, jonka toimialana on sähkönjakelu- ja valvontalaitteiden valmistus. Päätoimialana on automaatio-, käyttö- ja sähkönjakeluratkaisujen kehittäminen, suunnittelu ja valmistus energia- ja prosesseille.¹

VEO:n pääkonttori ja kojeistotehdas sijaitsee Vaasan Runsorissa (**Kuva 1.**). Suomessa VEO:lla on toimipisteet myös Seinäjoella, Paimiossa sekä Rovaniemellä. Näiden lisäksi VEO:lla on omat yhtiönsä Norjassa, Ruotsissa ja Isossa-Britanniassa.

Vuonna 2020 VEO Oy:n liikevaihto oli 92,8 miljoonaa euroa ja yritys työllisti 384 henkilöä.²



Kuva 1. VEO Oy pääkonttori ja kojeistotehdas

¹ Sippola, H 2017. VEO:n tarina. Vaasa.

² Suomen asiakastieto. Rekisteritiedot. Viitattu 12.4.2022. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/veo-oy/15719966/rekisteritiedot>

3 VECOS-OHJAUSKESKUKSET

VECOS valmistaa ohjaustaulutyypisiä kojeistoja eri teollisuusalojen tarpeisiin. Kojeistoja valmistetaan tuuli-, vesi- ja dieselvoimayksiköihin sekä sähköasemille. VECOS-tuotteista ei löydy suoraan omaa tuotekuvausta, koska kaikki VECOS-paneelit ovat projektikohtaisia ja valmistetaan aina asiakkaan vaatimusten mukaisiksi.

Opinnäytetyössä keskitytään dieselvoimalaitoksiin tarkoitetun CFC-ohjauskeskuk-
sen (**Kuva 2.**) generaattorisuojareleen koestamiseen tarkastamossa.

Dieselvoimalaitoksen ohjauksessa käytetään viiden erilaisen ohjauspaneelin kokonaisuu-
ta. CFA-paneeli toimii kaikkien ohjauspaneelien kommunikaatioyhteyksien
solmukohtana, voimalaitoksen synkronointi verkkoon toteutetaan CFA-paneelin
kautta. CFC-paneeliin on sijoitettu generaattorisuojaukset ja tehonvalvonta. CFE-
paneeli toimii synkronoinnin kannalta tärkeässä automaattisen jännitteen valvon-
nan ohjauksessa, keskukseseen on sijoitettu AVR-yksikkö. BJA-paneeli toimii moot-
toriohjauksien yksikkönä. CFR-paneeli on serverikeskus, jolla kerätään, valvotaan
ja ohjataan dataa koko voimalaitoksen toiminnasta.



Kuva 2. CFC-ohjauspaneeli

4 VECOS-TARKASTAMO

Jokaiselle valmistuneelle keskukselle suoritetaan tehdastarkastus. VEO:n eri osastoilla on omat tarkastamot, joissa rutiini tehdastarkastus suoritetaan Factory inspection plan ohjetta noudattaen. Factory inspection plan perustuu IEC 61439-standardeihin. Tehdastarkastus on tuotteen turvallisuuden ja asiakastytyvyyden kannalta ensisijaisen tärkeä osa tuotantoprosessia. Tehdastarkastuksella varmistetaan tuotteen laatu, asiakkaan asettamat vaatimukset sekä tuotteen toimivuus. Laadukas tehdastarkastus vähentää huomattavasti asiakasreklamaatioita ja takaa hyvän asiakastytyvyyden

Suunnittelu toimittaa tuotantoon tarkastuskuvat PDF-muodossa, joihin tarkastaja merkitsee havainnot. Tarkastuksessa käytetään vihreää ja punaista väriä, joilla havainnollistetaan tarkastettu sisältö sekä kirjataan ja merkitään mahdolliset puutteet.³

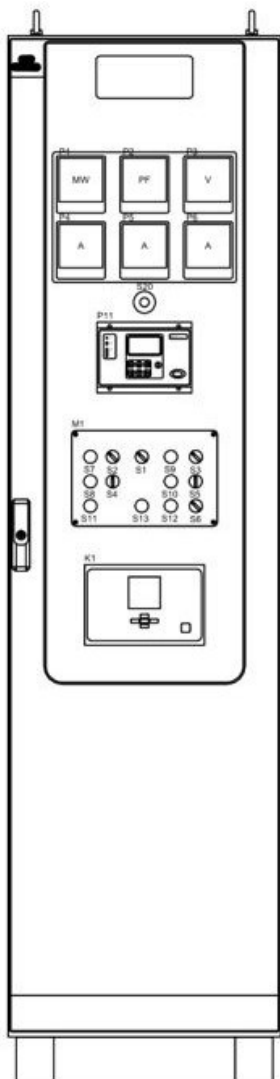
Tarkastustoiminta voidaan jakaa kolmeen eri tarkastusvaiheeseen, mekaaniseen toimivuuden tarkastamiseen, visuaaliseen tarkastukseen ja sähköiseen tarkastukseen.

Mekaanisen toimivuuden tarkastamisessa käydään läpi keskuksen IP-luokituksen toteutuminen, keskuksen kokoonpano, nosto- ja kuljetustapa.

Layout-kuvasta (**Kuva 3.**) tarkastetaan keskuksen visuaalinen yhteneväisyys. Tarkastuksessa käydään läpi teippaukset, kilvet, mimiikka, selitteet ja mekaaninen yhteensopivuus tarkastuskuvien kanssa. Asennuslayout-kuvasta käydään läpi kojeiden oikea sijoittelu sekä merkinnät. Johdotustaulukosta käydään läpi johtojen poikkipinta-alat sekä riviliitinkytkentöjen vastaavuus tarkastuskuvien kanssa.

³ VEO Oy. VEO:n intra. <https://veofi.sharepoint.com/sites/VEOWiki/sähköinen> tarkastustoiminta.

Osaluettelosta tarkastetaan oikeiden komponenttien asennus keskuksen sekä mahdollisten haluttujen asennustarvikkeiden mukana olo.



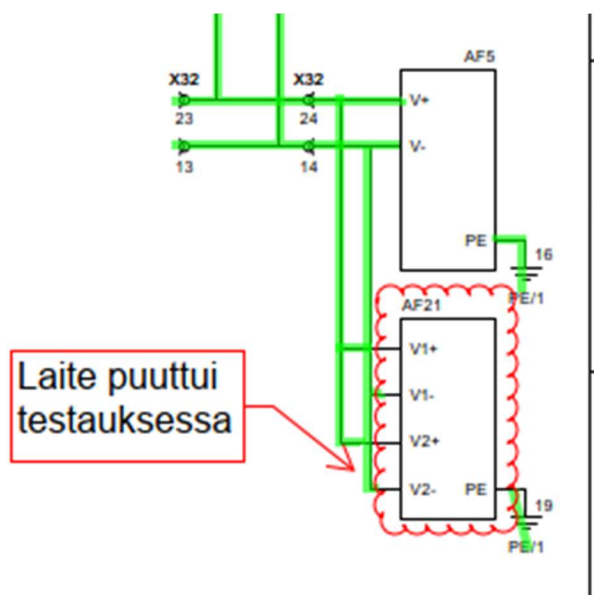
Kuva 3. Layout-kuva keskuksen edestä

Sähköinen tarkastus tapahtuu piirikaavion avulla. Piirikaavioon tehdään vihreällä värillä merkinnät (**Kuva 4.**) tarkistettujen piirien havainnollistamiseksi sekä red-

pen-merkinnät punaisella värillä mahdollisiin havaittuihin poikkeamiin. Tarkastuksessa ilmenneistä toiminnallisuuden virheistä ilmoitetaan suunnittelijalle viipymättä.

4.1 Sähköinen tarkastustoiminta

VECOS-tarkastamossa otettiin ensimmäisenä käyttöön tarkastuskuvien sähköinen versio. Tarkastuskuvat tallennetaan yhteiseen käyttöön tarkoitettulle verkkolevyille, josta suunnittelu ja tuotanto pystyvät seuraamaan tarkastuksessa havaittuja poikkeamia. Sähköisen tarkastuksen toiminnalla on saatu tuotantoprosessiin tuotua läpinäkyvyyttä, tarkastuksessa tehdyt dokumentit ovat kaikkien saatavilla, sekä on pystytty vähentämään huomattavasti dokumenttien tuottamista paperiversioina.



Kuva 4. Piirikaavion tarkastusmerkinnät

Tarkastuksen aikana kirjataan poikkeamat ylös poikkeamaraporttiin, joka lähetetään sähköpostilla tarkastuksen valmistuttua tuotantopäällikölle, tuotannosuunnittelijalle ja tarvittaessa myös suunnittelijalle. Keskuksen viimeistelyvaiheessa

asentajat korjaavat mahdolliset poikkeamat ja virheet, poikkeamaraporttiin tehtyjen havaintojen mukaan. Tarkastuksen valmistuttua täytetään Routine verification report dokumentiksi tehdystä rutiinitarkastuksesta. Dokumentti tallennetaan verkkolevyille ja tieto tarkastuksen valmistumisesta lähetetään sähköpostilla tuotantopäällikölle sekä projektipäällikölle.

4.2 Releiden koestuslaite

Virtakärry (**Kuva 5.**) on kolmivaiheinen säädettävä jännite-/virtalähde, jota käytetään suojareleiden koestamisessa. Virtakärry mahdollistaa releiden suojausien koestamisen oikeilla virta- ja jännitearvoilla. Virtakärryllä on mahdollista syöttää kolmella vaiheella 234 V, jolloin pääjännite on 400V. Virtaraja jokaisella vaiheella on 5A.



Kuva 5. Releiden koestuslaite

5 GENERAATTORIN RELESUOJAUS

5.1 Yleistä

Generaattorit ovat erikokoisia ja ne poikkeavat rakenteeltaan toisistaan, mikä tarkoittaa, ettei kaikkia generaattoreita ole suojattu samalla tavalla. Isommat ja kalliimmat generaattorit on yleensä suojattu perusteellisemmin kuin pienet.⁴

Hyvin toteutettu generaattorin relesuojaus on tärkeää, sillä iso generaattori saattaa olla sähköverkon kallein komponentti. Generaattori altistuu toimiessaan erilaisille sähköisille, termisille ja mekaanisille rasituksille. Suojauksessa on otettava huomioon sähköverkon viat, generaattoria pyörittävä voimakone, generaattorin magnetointilaitteisto, generaattorin blokkimuuntaja sekä generaattorin toiminnan keskeytymisestä aiheutuvat kustannukset. Vaikka suojauksia on hyödyllistä toteuttaa useita, niin myös suojalaitteen tarpeeton toiminta irrottaa generaattorin irti verkosta ja heikentää siten sähkön laatua sekä on taloudellisesti haitallista. Suojalaite asetellaan toimimaan mahdollisimman nopeasti, jotta vältetään generaattorin kalliilta ja useasti paljon aikaa vieviltä korjaustoimenpiteiltä.⁵

5.2 Generaattorisuojarele Schneider-P3G32

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Schneiderin P3-sarjan suojareleen (**Kuva 6.**) koestamista tarkastamossa. P3G32-suojarele on edistyneempi versio P3-sarjan standardi suojareleestä (**Kuva 7.**), koska siihen on sisällytetty differentiaalisuojaus.⁶

⁴ Elovaara, J & Haarla, L 2011. Sähköverkot II, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki. Otatieto.

⁵ Mörsky, J 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna. Otatieto.

⁶ Schneider Electric 2022. Easergy P3G30/P3G32 User manual. <https://m.vamp.fi/documentation/#Manual/P3G30/P3G32>.



Kuva 6. P3-sarjan suojariele

	Easergy P3 Standard		Easergy P3 Advanced	
Voltage	-	-		-
Feeder			P3U30 with directional o/c with voltage protection	P3F30 w. directional P3L30 w. line diff. & distance
Transformer	P3U10	P3U20	-	P3T32 with differential
Motor			P3M30	P3M32 with differential
Generator			P3G30	P3G32 with differential

Kuva 7. P3G32-suojareleen käyttötarkoitus

6 P3G32-SUOJARELEEN KOESTUS TARKASTAMOSSA

Tässä luvussa käsitellään generaattorisuojauksen teoriaa ja suojausfunktioiden toimintaperiaatteita. Koestusprosessin kannalta täytyy releen suojausfunktioiden toimintaa ymmärtää riittävästi, jotta tiedetään mitä ollaan koestamassa. Tässä opinnäytetyössä teoriataustaa käsitellään vain tukemaan koestustoimintaa, eikä pyritä syvällisemmin käsittelemään suojausfunktioiden toimintaa eri vikatilanteissa.

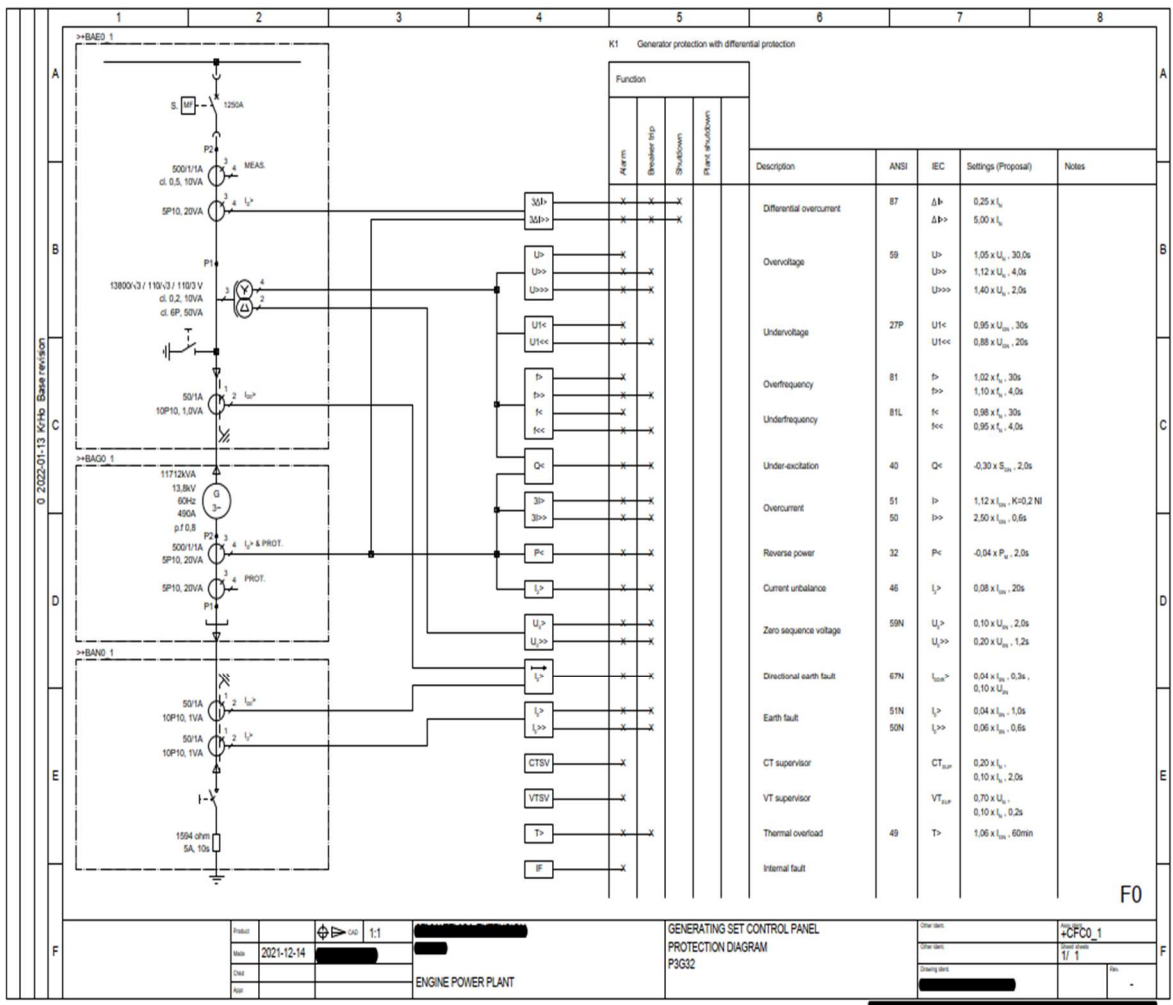
6.1 Koestusprosessin aloitus

Keskuksen saavuttua tuotannosta tarkastamoon, tehdään keskukselle visuaaliset ja mekaaniset tarkastukset. Ennen sähköjen kytkemistä keskukseseen tarkastetaan syöttöjännitteiden oikeat kytkennät sekä tarkastetaan liitosten kiristysmomentit. Kun releet on saatu kytkettyä päälle, otetaan yhteyttä projektin suunnittelijaan ja ilmoitetaan releiden olevan valmiita aseteltavaksi. Suunnittelija ilmoittaa ajankohdan konfiguraatioiden lataamiselle. Sovittu ajankohta normaalitilanteessa on saman päivän aikana, viimeistään seuraavana päivänä.

6.2 Suojauskaavio

Suojauskaaviosta (**Kuva 8.**) löytyy suojausfunktioiden asetteluarvot (settings) sekä niiden toiminta (functions). Koestuksessa varmistetaan, että releelle on aseteltu samat arvot kuin suojauskaaviossa sekä suojaustoiminnot ovat yhteneväiset suojauskaavion kanssa.

Suojaustoiminnot on esitetty kaaviossa ANSI-koodeilla (American National Standards Institute), joilla voidaan tunnistaa suojausfunktion toimintatapa sekä mitaus, johon suojan toiminta perustuu. Suojauksia merkitään myös IEC-symboleilla (International Electrotechnical Commission), jotka kuvaavat suojan toimintatapaa. Kaikkia releessä olevia suojaustoimintoja ei ole mahdollista koestaa tarkastamon koestuslaitteella. Tarkastamon koestukseen sisältyvät suojaustoiminnot on esitetty seuraavassa taulukossa (**Taulukko 1.**).



Kuva 8. Suojauskaavio

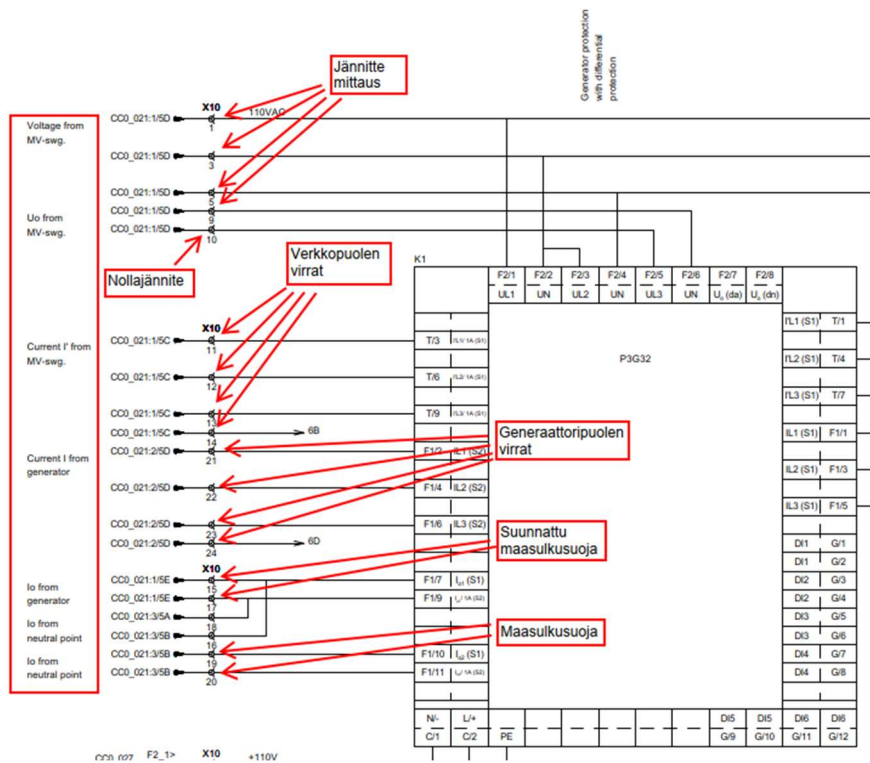
Taulukko 1. Koestettavat suojausfunktiot

Suojafunktio	ANSI	IEC
Differential overcurrent	87	$\Delta I>$, $\Delta I>>$
Overvoltage	59	$U>$, $U>>$, $U>>>$
Undervoltage	27P	$U1<$, $U1<<$
Under-excitation	40	$Q<$
Overcurrent	51	$I>$
	50	$I>>$
Reverse power	32	$P<$
Current unbalance	46	$I_2>$
Zero sequence voltage	59N	$U_0>$
Directional earth fault	67N	$I_{0DIR}>$
Earth fault	51N	$I_0>$

7 GENERAATTORISUOJARELEEN KYTKENTÄ

Koestusprosessin ehdottomasti suurin hyöty saadaan kytkentöjen oikeellisuuden tarkastamisesta. Tehdastarkastuksen jälkeisessä PLC FAT-testauksessa säästetään aikaa, kun tiedetään releen kytkentöjen olevan kunnossa. Usein tuotantoprosesseissa aikataulupaineet painottuvat prosessin loppupuolelle ja tarkastamon koestamisella voidaan nähdä saavutettavan hyötyä tuotantoprosessin läpiviemiseksi tavoiteajassa.⁷

Kytkentäkaaviosta (Kuva 9.) voidaan selitteiden avulla nähdä releen suojausten ja mittauksien kytkentäpisteet.

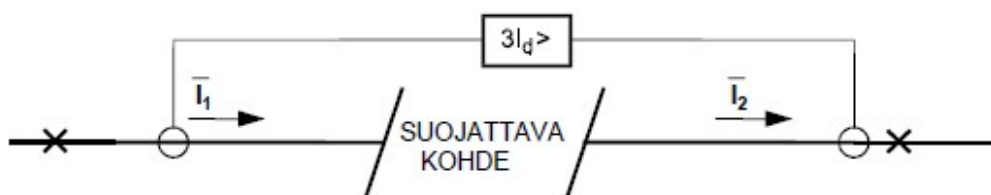


Kuva 9. Generaattorisuojareleen kytkentäpisteet

⁷ Teams-keskustelu, Lead engineer/Team leadin haastattelu. Viitattu 29.4.2022.

7.1 Differentiaalisuojaus

Differentiaalisuojaus perustuu kahden virtamuuntajan mittausarvojen vertailuun. P3G32 – releessä on mahdollista asetella kaksi suojausporrasta differentiaalisuojaukselle $\Delta>$ ja $\Delta>>$. Differentiaalisuoja vertaa suojattavaan kohteeseen tulevia vaihevirtoja siitä lähteviin. Jos virrat poikkeavat toisistaan joko amplitudin tai vaihekulman tai näiden molempien suhteen enemmän kuin suojaan aseteltujen arvojen verran, seuraa laukaisu. Mittausperiaatteen ansiosta suojaus toimii ainoastaan suojausalueella tapahtuvissa vioissa, jolloin suojaus on absoluuttisesti selektiivinen. Tästä syystä suojauksen toimintanopeus on erittäin hyvä, jopa alle puolijaksen. Suojausalue (**Kuva 10.**) muodostuu virranmittauspaikkojen väliin jäävästä alueesta. Toinen mittausperiaatteen tuoma etu on suuri herkkyys, suojaus voi toimia jopa muutaman prosentin nimellisvirrasta olevilla vikavirroilla.⁸



Kuva 10. Differentiaalisuojauksen toiminta-alue

Koestuksessa on ensiarvoisen tärkeää testata suojauksen toiminnot sekä verkko- puolen virroilla että generaattoripuolen virroilla. Differentiaalisuojaus on kokonaisuutta ajatellen tärkein suojaustoiminto, sillä se suojaa generaattoria tehokkaasti ja estää sen rikkoontumisen. Differentiaalisuoja laukaisee releessä alarm-, trip- ja shutdown-toiminnot. Releen havaittua vian alarm-toiminto antaa hälytyksen, trip-toiminto antaa generaattorikatkaisijalle käskyn laukaista ja shutdown-toiminto

⁸ ABB Oy. 2007. ABB TTT-käsikirja. Vaasan ammattikorkeakoulu. Kurssimateriaali.

ajaa koko järjestelmän alas. Suojauksien toiminta tulee koetuksessa varmistaa releen näyttöpaneelista indikointina (**Kuva 11.**) sekä releen hälytyslistasta (**Kuva 12.**).



Kuva 11. Suojaustoimintojen indikointi differentiaalisuojalla



Kuva 12. Suojaustoiminto hälytyslistassa

7.2 Jännitesuojaus

7.2.1 Ylijännite

Jännitesuojaukselle P3G32-releessä on mahdollista asetella ylijännitteelle 3 suojausporrasta $U>$, $U>>$ ja $U>>>$. Jokainen suojausporras koestetaan kolmivaiheisesti yksi kerrallaan nostamalla pääjännitetaso suojauksen vaatimalle tasolle. Ylijännitesuojan toiminta perustuu vaiheiden välisten pääjännitteen mittaukseen. Asetteluarvon ylittyessä suojarele antaa hälytyksen sekä laukaisukäskyn generaattorikatkaisijalle.

7.2.2 Alijännite

Koestettavalla P3G32-releellä käytetään alijännitesuojaukselle positive sequence undervoltage-suojausta (ANSI 27P) (**Kuva 13.**). Alijännite suojaukselle on aseteltu 2 suojausporrasta $U1<$ ja $U1<<$. Suojauksen jännitemittaus tapahtuu katkaisijan generaattoripuolelta. Positiivista sekvenssiä käyttämällä kaikkia kolmea vaihetta valvotaan yhdellä releen lasketulla arvolla ja jos generaattori menettää yhteyden verkkoon (verkkokatkos), alijännitetilanne havaitaan nopeammin kuin käyttäen vain pienintä arvoa vaiheiden välillä.⁶

Alijännitesuojan koestus tehdään samalla tavalla kuin ylijännitteellä, syöttämällä koestuslaitteella jännitettä asetteluarvon vaatimalle tasolle ja tarkastamalla releeltä suojausien toiminnat sekä asetteluarvot.

Releen alijännitesuojille $U1<$ ja $U1<<$ on releessä aseteltu block-toiminnot (**Kuva 14.**), joiden toiminnallisuus testataan releen koestuksessa. Toiminto estää alijännitesuojan tarkoituksettoman toiminnan, kun generaattori ei ole käynnissä.

⁶ Schneider Electric 2022. Easergy P3G30/P3G32 User manual. <https://m.vamp.fi/documentation/#Manual/P3G30/P3G32>.

Positive seq. undervoltage U1< 27P

Enable for U1<

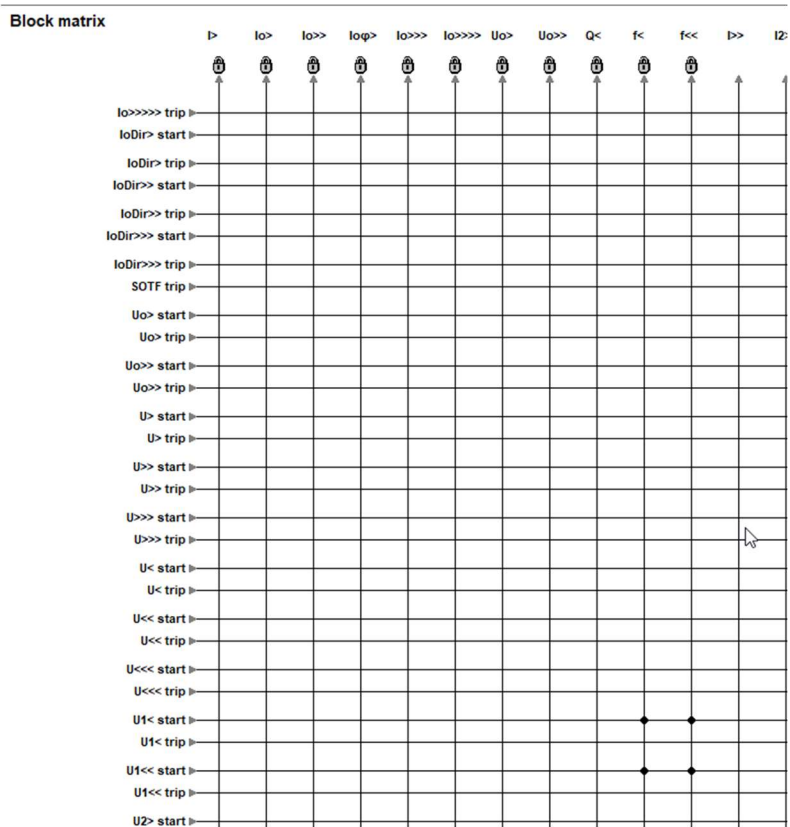
Pos. sequence U1	0 %Ugn
Status	Blocked
Start counter	0
Trip counter	0

Set group 1 DI control	-
Set group 2 DI control	-
Set group 3 DI control	-
Set group 4 DI control	-
Group	1

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Pick-up setting	95 %Ugn	95 %Ugn	95 %Ugn	95 %Ugn
Operation delay	30.00 s	30.00 s	30.00 s	30.00 s

Common for all U1 stages	
Low voltage blocking	20 %Ugn
Block time by I<1%	0.00 s

Kuva 13. Alijännitesuojan U1< asettelu Easergy Pro-ohjelmassa



Kuva 14. Alijännitesuojien block-matriisi Easergy Pro-ohjelmassa

7.3 Ylivirtasuojaus

Vakioaikaylivirtaussuojaukseen käytetään generaattorin suojana oikosulkujen ja suurien ylikuormitusten varalta. Ylivirtasuojat toimii differentiaalisuojauksen varasuojana verkossa tapahtuville vioille tai differentiaalisuojan vikaantuessa.⁹

P3G32-suojareleessä on mahdollista asetella kolme ylivirtasuojaporrasta. Dieselvoimayksikön generaattorisuojareleissä suojausportaita on käytössä kaksi 3I> ja 3I>>. Alempi suojausporras 3I> on mahdollista asetella toimimaan, joko vakioajalla tai käänteisajalla ja ylempi porras ainoastaan vakioajalla. Käänteisaikahidastus tarkoittaa, että pienimmillä ylivirroilla suoja laukaisee sitä nopeammin, mitä suurempi vikavirta on.⁶

Suojan toiminta perustuu vaihevirtojen mittaukseen virtamuuntajien kautta. Koestuksessa on erityisen tärkeää ottaa huomioon missä suhteessa virtamuuntaja muuntaa virtaa releelle. Esimerkkisuojauskaaviossa virtamuuntaja on xxx/1/1A, myös xxx/1/5A virtamuuntajia käytetään projekteissa, tällöin toisen portaan suojaus 3I>> koestamisessa tulee huolehtia koestuslaitteen virransyötön rajallisuudesta. Virtamittareita tarkkailemalla, ilmoittavat ylikuormasta, vältytään koestuslaitteen rikkoontumiselta.

7.4 Alimagnetointisuojaus

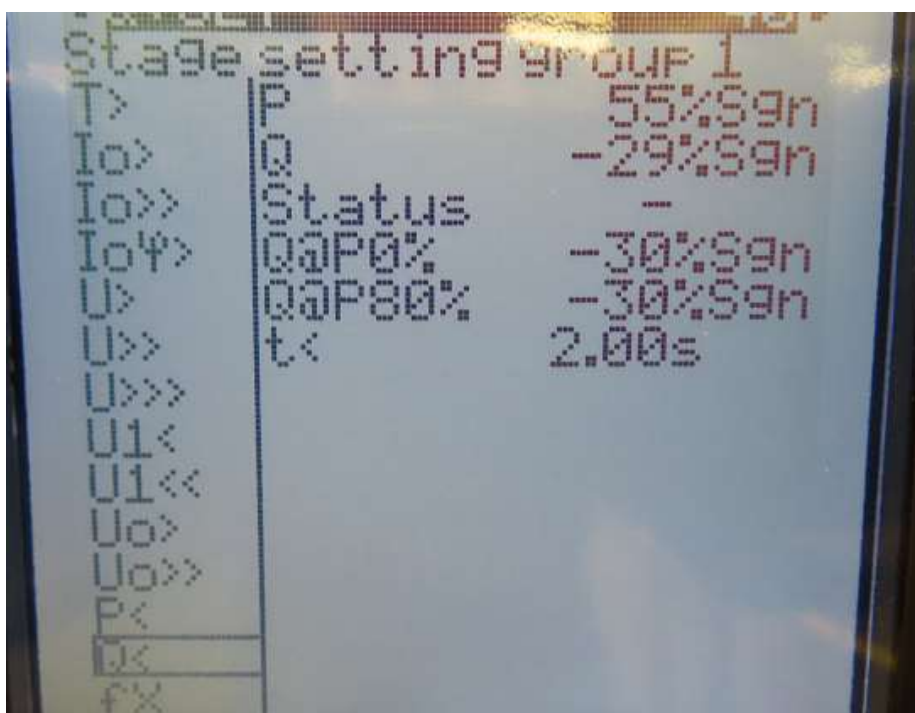
Tahtikoneet tarvitsevat tietyn määrän magnetointia pysyäkseen stabiilina koko kuormitusalueellaan. Jos magnetointi on liian pieni tai katoaa kokonaan, saattaa kone pudota tahdistusta ja alkaa ottamaan magnetointiin virtaa verkosta. Tällaisessa tilanteessa staattorin käämit saattavat ylikuormittua ja vahingoittua. Vikatilanne

⁹ Ahokas, T. 2011. Diplomityö. Voimalaitosgeneraattorien suojaus ja magnetointi. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma.

⁶ Schneider Electric 2022. Easergy P3G30/P3G32 User manual. <https://m.vamp.fi/documentation/#Manual/P3G30/P3G32>.

saattaa johtua magnetointilaitteiston häiriöstä tai vikaantumisesta, näitä tilanteita varten käytetään alimagnetointisuojausta.⁶

Koestuksessa suojauksen toiminta saadaan testattua kolmosvaiheen (IL3) virralla, koska suojaus valvoo generaattorin päto- ja loistehon laskentaa mitatuista vaihejännitteistä ja -virroista. Releen asetuksissa päämuuntajan kytkennäksi on aseteltu YnD11, joten kolmosvaiheen kapasitiivisella virralla saadaan simuloitua generaattorin ottamaa loistehon määrää (**Kuva 15.**).



Kuva 15. Alimagnetointisuojauksen toiminta releen näytöllä

⁶ Schneider Electric 2022. Easergy P3G30/P3G32 User manual. <https://m.vamp.fi/documentation/#Manual/P3G30/P3G32>.

7.5 Takatehosuojaus

Takatehosuojaa käytetään tahtigeneraattoreiden yhteydessä voimakoneessa tapahtuvien vakavien vaurioiden varalta, jotka estävät voimakoneen tehonannon generaattorille. Tällainen vika ilmenee sähkötehon sunnan muuttumisena generaattorin ja verkon välillä ja se voidaan ilmaista releen takatehon suojauksen avulla. Normaalisti tahdistetun generaattorin pätötehon suunta on generaattorista verkkoon päin. Suojarele tarkkailee generaattorin tehoa jatkuvasti mitattujen vaihejännitteiden- ja virtojen perusteella. Releen takatehosuojaus havahtuu, kun pätötehon suunta kääntyy verkosta generaattoriin päin ja määritelty pätöteho ylittää takatehosuojauksen asetusarvon. Suojauksessa on tärkeää käyttää aikaviivettä, jotta rele ei laukaise tahdistuksen yhteydessä aiheutuvista tehon suunnanheilahteluista.¹⁰

Koestuksessa takatehosuojaus voidaan testata, kun vaihevirtojen kytkentä on tehty generaattoripuolelle. Koestuslaitteessa on mahdollista vaihtaa virran suuntaa (**Kuva 16.**) vaihtokytkimellä. Virran suuntaa vaihtamalla on mahdollista simuloida vikatilannetta, jossa tehon suunta vaihtuu verkosta generaattoriin päin. Releen näytöllä teho näkyy negatiivisena arvona (**Kuva 17.**).

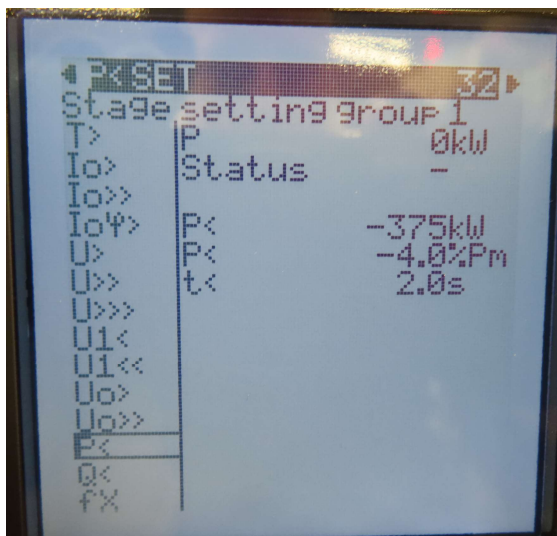
Takatehosuojauksen oikean toiminnan testauksella voidaan nähdä olevan hyötyä myös käyttöönotto tilannetta ajatellen. Usein voimalaitoksen rakentamiseen osallistuu monia eri alihankkijoita ja näin ollen työn laadun tarkastaminen voi tietyissä tilanteissa olla haastavaa. Jännitemuuntajan polariteetin vaihtuminen tai jännit-

¹⁰ Mäkinen, O. 2008. Relesuojaus. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.

teiden vaihejärjestyksen vaihtuminen, laukaisee releen takatehosuojauksen. Suojauksen toiminnalla voidaan helpottaa kytkentävirheistä johtuvan vian paikannusta.¹¹



Kuva 16. Virran suunnan vaihto koestuslaitteella



Kuva 17. Takatehosuojauksen toiminta releen näytöllä

¹¹ Teams-keskustelu, senior system engineerin haastattelu. Viitattu 4.5.2022.

7.6 Vinokuormasuojaus

Vinokuormasuojan toiminta perustuu virran vastakomponentin mittaamiseen laskennallisesti mitatuista vaihevirroista. Vinokuormitussuoja suojaa generaattorin roottoria vinokuormatilanteelta eli vaihevirtojen kuormituksen epätasapainolta. Suojarele tarkkailee generaattorin vastakomponentin virran määrää, joka on toteutettu laskennallisesti mitattujen vaihejännitteiden ja -virtojen perusteella. Normalissa tilanteessa vastakomponentti on nolla. Vaihevirtojen poiketessa toisistaan syntyy mittaukseen vastakomponentti ja sen ylittäessä suojareleen asettelu-arvon antaa suojarele generaattorikatkaisijalle laukaisukäskyn.⁶

Tarkastamon koestustilanteessa vinokuormitussuojauksen testaaminen toteutetaan usein alimagnetointisuojauksen $Q<$ ja generaattoripuolen differentiaalisuojauksen $\Delta>>$ kanssa samanaikaisesti. Näin vältetään ylimääräisten koestuskytkentöjen muuttamiselta. Suojausfunktion koestus tehdään kolmosvaiheen (IL3) virralla, koska sisääntulosignaali (**Taulukko 2.**) on releessä tehty ykkös- ja kolmosvaiheen välillä ja edellä mainittu alimagnetointisuojausfunktio vaatii toimiakseen kolmosvaiheen kapasitiivisen virran.

⁶ Schneider Electric 2022. Easergy P3G30/P3G32 User manual. <https://m.vamp.fi/documentation/#Manual/P3G30/P3G32>.

Taulukko 2. Vinokuormasuojan asettelu

Table 63 - Negative sequence overcurrent $I_2 > (46)$ in motor mode $I_2 > (46)$

Input signal	$I_{L1} - I_{L3}$
Start value	2–70% (step 1%)
Definite time characteristic: - Operate time	1.0–600.0 s (step 0.1 s)
Dependent time characteristic: - 1 characteristic curve - Time multiplier - Upper limit for dependent time	Inv 1–50 s (step 1) 1000 s
Start time	Typically 300 ms
Reset time	< 450 ms
Reset ratio	0.95
Inaccuracy: - Starting - Operate time	±1% - unit ±5% or ±200 ms

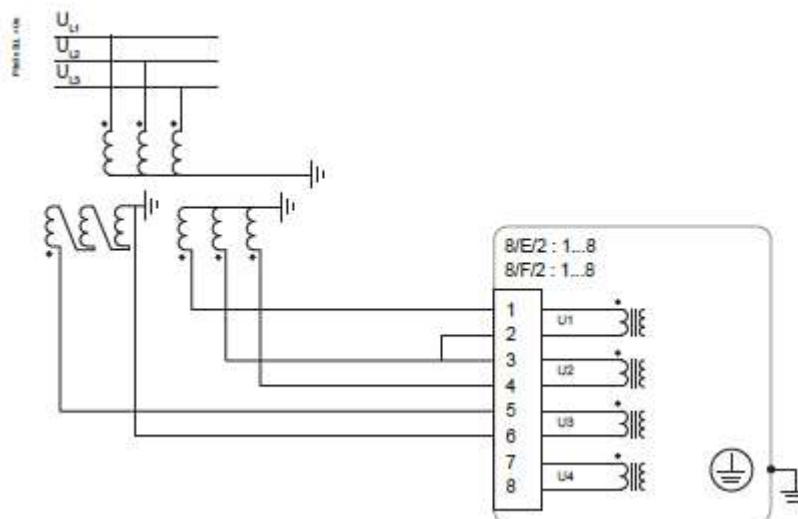
7.7 Nollajännitesuojaus

Nollajännitesuojauksen toiminta perustuu nollajännitteen mittaukseen jännitemuuntajan avokolmiokytkennästä, jolla mitataan verkon nollapisteen jännite. Releessä on mahdollista käyttää suojauksen toimintaan erillistä nollajännitetuloa tai laskennallista vaihejännitteiden mittausta. Mittaustavasta riippumatta suojauksen asetteluarvo määritellään suhteessa generaattorin nimellisjännitteeseen. Tarkastamossa koestettavassa releessä asetteluarvo on 10 % (**Kuva 18.**) ja suojaustoiminto on toteutettu laskennallisella arvolla vaihejännitteistä (**Kuva 19.**).



Kuva 18. Nollajännitteen asetteluarvo

Figure 267 - 2LL+U₀



Kuva 19. Nollajännitteen mittaus releellä

7.8 Suunnattu maasulkusuojaus

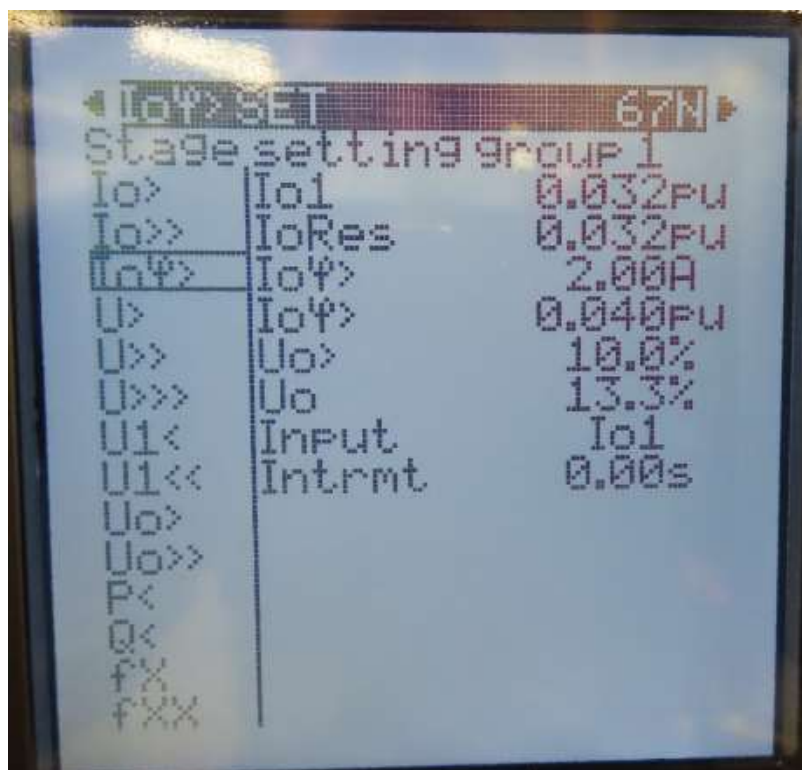
Virtapiiriin syntyy maasulku, kun eristysvian tai muun vian vaikutuksesta virtapiiriin johdin joutuu johtavaan yhteyteen maan tai maahan johtavassa yhteydessä olevan laitteiston osan kanssa. Maasulkuvirran aiheuttamien erilaisten vaarajännitteen vuoksi maasulusta aiheutuu maadoitetuissa verkoissa vikapaikkaan ja sen ympäristöön hengenvaara.⁴

Suunnattua maasulkusuojausta käytetään generaattorin staattorin maasulkuihin verkoissa, joissa tarvitaan valikoivaa ja herkkää maasulkusuojausta. Suojaus voidaan sovittaa toimimaan erilaisten verkon maadoitusjärjestelmien kanssa. Suojaustoiminto perustuu maasulkuvirran perustajuisen komponentin I_0 ja nollajännitteen U_0 väliseen mittausarvon eroon ja näiden vaihesiirtokulmien eroon.⁶

Suunnatussa maasulkusuojauksessa nollavirran mittaus tapahtuu virtamuuntajien kautta generaattorin molemmilta puolilta. Näin mahdollistetaan vikapaikan mahdollisimman tarkka paikannus. Nollavirtojen mittausarvot kytketään releen I_{01} -kanavalle ja suojauksen toiminnan vaatima nollajännite tulee olla yli nollajännitesuojauksen asetteluarvon (**Kuva 20**). Suojaukselle on mahdollista asettaa kaksi eri toimintaporrasta $I_{0\phi>}$ ja $I_{0\phi>>}$. VEO:n ohjauskeskuksissa käytössä on ainoastaan alempi suojaustaso $I_{0\phi>}$, koska suojauksen nopea laukaisutoiminta vikatilanteessa on erityisen tärkeää vian aiheuttamien vikavirtojen takia.

⁴ Elovaara, J & Haarla, L 2011. Sähköverkot II, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki. Otatieto.

⁶ Schneider Electric 2022. Easergy P3G30/P3G32 User manual. <https://m.vamp.fi/documentation/#Manual/P3G30/P3G32>.



Kuva 20. Suunnatun maasulkusuojausten toiminta releen näytöllä

7.9 Maasulkusuojaus

VEOn asiakkaalle toimittamissa projekteissa maasulkusuojausta käytetään varasuojana verkossa aiheutuville maasuluille. Releellä nollavirran mittausta on tehty releen I₀2-kanavaan (**Kuva 21.**) eli suojaus perustuu ulos lähtevän katkaisijan nollavirran mittaukselle. Tämä on käytännössä hoidettu releiden asetteluilla.¹²

Releelle on mahdollista asettaa neljä erillistä suojausportista I₀>, I₀>>, I₀>>> ja I₀>>>>. Ensimmäinen suojausportista I₀> on mahdollista asettaa toimimaan, joko vakioajalla tai käänteisajalla ja ylemmät portaat ainoastaan vakioajalla. VECOS-ohjauskeskuksissa käytössä on ensimmäiset kaksi portista I₀> ja I₀>>. Suojausten toiminta koestetaan syöttämällä maasulkusuojaukseen tarkoitettuun I₀2-kanavaan

¹² Teams-keskustelu, Lead engineerin haastattelu. Viitattu 10.5.2022.

virtaa suojaustoiminnon vaatimalle tasolle, jonka seurauksesta rele antaa generaattorikatkaisijalle laukaisukäskyn.⁶



Kuva 21. Maasulkusuojauksen toiminta releen näytöllä

⁶ Schneider Electric 2022. Easergy P3G30/P3G32 User manual. <https://m.vamp.fi/documentation/#Manual/P3G30/P3G32>.

8 KOESTUSTOIMINNAN HYÖDYT

Koestuksella saavutettu tärkein yksittäinen hyöty, kuten muussakin tarkastustoiminnassa, on keskuksen kytkentöjen virheettömyyden toteaminen. Keskuksen turvallisen käytön ja oikean toiminnallisuuden tarkastus, ennen keskuksen siirtymistä PLC FAT-tarkastukseen ja asiakkaalle luovuttamiseen, on ensiarvoisen tärkeää. Koestuksessa releelle syötettävät oikeat virta- ja jännitearvot, mahdollistavat kytkentöjen tarkastamisen ilman johtimien irrotusta laitteelta. Esimerkiksi releen virranmittauskytkennät on mahdotonta todentaa pelkän yleismittarin avulla.

Koestuksella voidaan todentaa laitteen toimivuus sekä tarkastaa suojaustoimintojen oikeat asetteluarvot. Havaittujen virheiden tai poikkeamien ja niihin reagoiminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa tuotantoprosessia on ehdottoman tärkeää. Koestuksessa havaittu asetteluarvojen poikkeavuus (**Kuva 22.**) ilmoitetaan välittömästi suunnittelijalle ja hänen kanssaan sovitaan tarvittavista jatkotoimenpiteistä.

Suojareleiden asetteluiden lataaminen tapahtuu VECOS-tarkastamossa suunnittelijan toimesta. Haittana voidaan nähdä suunnittelijan työajan käyttäminen asetteluiden lataamiseen, mutta sitä suurempana hyötynä toiminnasta on muodostunut tiivistynyt yhteistyö suunnittelijoiden kanssa. Tarkastustoiminnan ongelmatilanteissa kynnys pyytää neuvoa suunnittelusta on madaltunut huomattavasti.

VEO Oy toimii alihankkijana asiakkaalle, joka taas toimii alihankkijana loppuasiakkaalle. Tarkastamon koestusprosessin tarkoituksena ei ole tuottaa koestusraporttia loppuasiakkaalle, vaan yhdessä PLC FATssa tehtyjen suojaustoimintojen simuloitien kanssa varmistaa suojarlelen kunto ja sen suojausfunktioiden tarkoituksenmukainen toiminta.

Generator differential relay P3G32

ENGINE POWER PLANT

GENERAL MEASUREMENTS INPUTS/OUTPUTS PROTECTION MATRIX LOGS COMMUNICATION DEVICE/TEST DOCUMENTATION

System info
Local panel conf
Disturbance recorder
Settings
System clock
Clock synchronizing

Scaling

CT settings

CT primary	500 A
CT secondary	1 A
Nominal input (FL side)	1 A
CT primary	500 A
CT secondary	1 A
Nominal input	1 A
Io1 CT primary	50 A
Io1 CT secondary	1.0 A
Nominal Io1 input	1.0 A
Io2 CT primary	50 A
Io2 CT secondary	1.0 A
Nominal Io2 input	1.0 A
Io3 CT primary	50 A
Io3 CT secondary	1.0 A
Nominal Io3 input	1.0 A

VT settings

VT primary	13800 V
VT secondary	110 V
VTo secondary	110.000 V

Voltage meas. mode 2LL-4to
Frequency adaptation mode Auto
Adapted frequency 60.0 Hz
Angle memory duration 0.50 s
f 180 deg. angle turn

Generator settings

Generator nominal power	11212 kVA
Generator nominal voltage	11000 V
Generator nominal current	914.7 A
Generator nominal impedance	10.33 ohm
Nominal shaft power Pm	9370 kW

Kuva 22. Poikkeama releen asetteluaroissa

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ohjeistus VECOS-tarkastamossa suoritettavalle P3G32-generaattorisuojareleen koestukselle. Suojareleen koestukselle laadittiin ohjeet, joiden avulla releen suojaustoimintojen tarkastus voidaan suorittaa. Ohjetta tullaan käyttämään uusien tarkastajien opastukseen suojareleiden koestusprosessissa sekä tekemään koestusprosessista nopeampaa ja helpommin ymmärrettävää. VEOLla on viime vuosina merkittävästi lisätty keskustusten valmistukseen liittyviä ohjeistuksia omalle VEOWiki-sivustolle. Sivustolle on lisätty videomateriaalia sekä kirjallisia ohjeita tuotantoprosessien eri vaiheista. Idea opinnäytetyöstäni syntyi tämän kehityksen johdosta.

Koestusohjetta tehdessä oli tärkeää miettiä suojausfunktioiden koestuksen järjestystä, jotta vältyttäisiin turhien kytkentämuutosten tekemiseltä. Ohjeistuksen kirjoittaminen tapahtui muistinvaraisesti ja tarkastamon työnopastajan kanssa yhteistyössä. Työnopastajan aktiivinen osallistuminen, työohjeen rakenteen tekemiseen, mahdollisti hyvin toimivan ohjeen valmistumiseen. Keskusteluiden pohjalta löysimme parannuksia myös omiin toimintatapoihin.

Opinnäytetyön toteuttaminen vaati perehtymistä suojausfunktioiden toimintaperiaatteisiin sekä niiden merkitykseen voimalaitoksen toiminnassa. Keskustelut voimalaitoksen käyttöönotosta kokeneiden insinöörien kanssa ja hankitun teoriapohjan vertaaminen toisiinsa, oli opettavaisin osuus opinnäytetyön teossa. Keskusteluiden kautta opin kokonaisvaltaisemmin ymmärtämään voimalaitoksen suojausten merkityksen.

Laadittua koestusohjetta testattiin tarkastamon uuden työntekijän toimesta ja käyttökokemuksen perusteella koestusohje oli hyvin toimiva, sillä koko koestusprosessi onnistui ohjetta seuraamalla. Kuvien määrän rajoittaminen ohjeessa sopivaksi, kuitenkin sen vaikuttamatta ohjeiden selkeyteen osoittautui hankalaksi. Ohjetta muokattiin toimivammaksi kokeilusta saatujen havaintojen perusteella.

Vaikka opinnäytetyön lopputuloksena tuotettu koestusohje on todettu toimivaksi, ei se kuitenkaan tarkoita, että sen kehitys voitaisiin lopettaa. Koestusohjetta tullaan muokkaamaan visuaalisesti paremmaksi ja kehittämään suojareleiden uudistumisen vuoksi. Uuden sukupolven tehonvalvontayksikköön (Schneider Ion7400) siirtyminen tulee vaatimaan ohjeen päivittämistä. Tarkastustoiminnassa on vielä monia asioita, jotka suoritetaan pelkästään tarkastajien ammattitaidon varassa, joten ohjeistuksien laatimista tullaan jatkamaan myös tulevaisuudessa.

LÄHTEET

ABB Oy. 2007. ABB TTT-käsikirja. Vaasan ammattikorkeakoulu. Kurssimateriaali.

Ahokas, T. 2011. Diplomityö. Voimalaitosgeneraattorien suojaus ja magnetointi. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan koulutusohjelma.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot II, Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki. Otatieto.

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna. Otatieto

Mäkinen, O. 2008. Relesuojaus. Vaasa. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opetusmateriaali.

Schneider Electric 2022. Viitattu 29.4.2022. Easergy P3G30/P3G32 User manual. <https://m.vamp.fi/documentation/#Manual/P3G30/P3G32>.

Sippola, H. 2017. VEO:n tarina. Vaasa.

Suomen asiakastieto. Rekisteritiedot. Viitattu 12.4.2022. <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/veo-oy/15719966/rekisteritiedot>.

Teams-keskustelu, Lead engineer/Team leadin haastattelu.

Teams-keskustelu, Senior system engineerin haastattelu.

Teams-keskustelu, Lead engineerin haastattelu.

VEO Oy. VEO:n intra. Viitattu 22.4.2022. https://veofi.sharepoint.com/sites/VEOWiki/sähköinen_tarkastustoiminta.

LIITTEET

LIITE 1.

Liite poistettu VEO Oy:n pyynnöstä.