

Jusa Heikkinen

Omicron Cibano 500 -koestuslaitteen käyttöönotto ja katkaisijan koestus

Omicron Cibano 500 -koestuslaitteen käyttöönotto ja katkaisijan koestus

Jusa Heikkinen
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, sähkötekniikka

Tekijä: Jusa Heikkinen

Opinnäytetyön nimi: Omicron Cibano 500 -koestuslaitteen käyttöönotto ja katkaisijan koestus

Työn ohjaajat: Marko Kukkola, Toni Mikkonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 38 + 6 liitettä

Tämän opinnäytetyön toimeksiannon antoi Paikallis-Sähkö Oy, joka on osa talotekniikka-alan konsernia Quattro Mikenti Group. Paikallis-Sähkölle on perustettu uusi liiketoiminta-alue, Sähköasemat. Cibanoa ja koestusta tarvitaan laajasti sen tulevissa sähköasemaprojekteissa ja -huoltotöissä.

Tässä opinnäytetyössä suoritettiin käyttöönotto Paikallis-Sähkö Oy:n hankkimalle Omicron Cibano 500 -koestuslaitteelle. Työssä perehdyttiin myös sähköverkon suojauksessa käytettäviin suojalaitteisiin ja koestettiin ABB:n VD4 tyhjiökatkaisija.

Työn tulokseksi saatiin yrityksen käyttöön toimiva koestuslaite, jonka avulla voidaan suorittaa suur- ja keskijännitekatkaisijoiden käyttöönotto- ja kunnossapitotöitä. Aiemmin töitä on suoritettu vain pienjännitekatkaisijoille.

Asiasanat: koestus, sähköverkot, käyttöönotto, katkaisija, suurjännite

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of electrical

Author: Jusa Heikkinen

Title of thesis: Commissioning of Omicron Cibano 500 and circuit breaker testing

Supervisors: Marko Kukkola, Toni Mikkonen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 38 + 6 appendices

The client of this thesis was Paikallis-Sähkö Oy, which is part of the building technology sector group Quattro Mikenti Group. This thesis was done because Paikallis-Sähkö is expanding its activities to power grids.

This thesis included commissioning of the Omicron Cibano 500 tester purchased by Paikallis-Sähkö Oy. The work also included an insight into the protective devices used in power grid protection and the testing of an ABB VD4 vacuum circuit breaker.

The result of the work was a functional test device for the company, which can be used for commissioning and maintenance work on high and medium voltage circuit breakers. In the past, similar work has only been done on low-voltage circuit breakers.

Keywords: testing, power grids, commissioning, circuit breaker, high voltage

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖVERKON SUOJAUS	8
2.1	Erotin	8
2.2	Ylijännitesuojat	8
2.3	Mittamuuntajat	9
2.4	Suojareleet	10
2.4.1	Ylivirtareleet	11
2.4.2	Distanssireleet	11
2.4.3	Differentialireleet	11
2.4.4	Jälleenkytkentäreleet	12
2.4.5	Taajuusrele	12
2.4.6	Jänniterele	12
2.4.7	Kaasureleet	13
2.5	Maadoitus	13
3	KATKAISIJAT	14
3.1	SF6-katkaisija	14
3.2	Ilmakatkaisija	16
3.3	Paineilmakatkaisija	17
3.4	Öljykatkaisijat ja vähäöljykatkaisijat	18
3.5	Tyhjiökatkaisija	18
4	OMICRON CIBANO 500	20
4.1	Cibano 500	20
4.2	Primary Test Manager (PTM)	23
4.3	Ulkoiset moduulit	28
4.4	Käyttöönotto	29
5	KATKAISIJAN KOESTUS	31
5.1	Aloitus	31
5.2	Kytkenät	32
5.3	Tulokset	35
6	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	37

LIITTEET 38

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käyttöönottaa Paikallis-Sähkö Oy:n käyttöön tullut uusi Omicron Cibano 500 -koestuslaite. Cibano 500 on keski- ja suurjännitekatkaisijoiden mittauksiin ja käyttöönottoihin tarkoitettu testilaite. Työn tavoitteena on tutustua laitteen eri toimintoihin, sen ohjelmistoon sekä muihin mukana tulleisiin lisälaitteisiin. Lisäksi laitteella suoritetaan havainnollistava 12 kV -katkaisijan koestus.

Opinnäytetyössä käydään lyhyesti läpi sähköverkon suojauksessa käytettäviä suojalaitteita ja niiden toimintoja. Tarkemmassa käsittelyssä suojalaitteista ovat katkaisijat, sekä niiden toimintaperiaatteet ja niitä käsitellään työssä omassa luvussaan. Muita käsiteltäviä suojalaitteita ovat erottimet, ylijännitesuojat, mittamuuntajat ja releet.

Katkaisijan koestus suoritettiin Omicronin käyttäjäkoulutuksen yhteydessä, jossa testaukset tehtiin irralliseen ABB VD4 12 kV:n keskijännitekatkaisijaan. Testaukset eivät kuuluneet katkaisijan kunnossapito-ohjelmaan, vaan ne suoritettiin täysin koulutusmielessä.

2 SÄHKÖVERKON SUOJAUS

Sähkönjakelussa käytettäviä suojalaitteita ovat erottimet, katkaisijat, ylijännitesuojat, mittamuuntajat sekä suojareleet. Näistä katkaisijat, mittamuuntajat sekä suojareleet muodostavat suojauksen kannalta tärkeimmän kokonaisuuden, jolla saadaan vioittunut verkon osa riittävän lyhyellä toiminta-ajalla irti muusta verkosta. (1.)

Sähköverkko on suunniteltava siten, että syntyvät vikatilanteet eivät aiheuta vaaraa ihmisille, eläimille tai omaisuudelle. Yleisimmät vikatilanteet ovat oiko- ja maasulkuja, joita voivat aiheuttaa esimerkiksi salaman iskut, vialliset laitteet tai myrskyt. (4.)

2.1 Erotin

Erottimen tehtävä on muodostaa riittävä avausväli virtapiirin ja muun kytkinlaitoksen välille turvalista työskentelyä varten. Avausvälin täytyy olla näkyvä, siinä tulee olla mekaaninen asennonositus ja jännitelujuuden tulee olla muuta ympäröivää eristystä suurempi, kuten vaiheen ja maan välisen erityyksen jännitelujuus. Erottimella ei ole tarkoitus avata tai sulkea kuormitettua virtapiiriä, ja turvallisuussyistä erotin tulee pystyä lukitsemaan molempiin ääriasentoihin vaaratilanteiden välttämiseksi. Niitä valmistetaan yksi- ja kaksinapaisina ja eristimien eristeenä käytetään valuhartsia, posliinia tai silikonipäällysteistä komposiittimateriaalia. (1.)

2.2 Ylijännitesuojat

Sähköasemilla sijaitsevien laitteiden suojaukseen ja verkon häiriöttömään käyttöön käytetään ylijännitesuojia. Tällaisia ovat erilaiset ukkosjohdattimet, venttiilisuojat, suojakipinävälit ja korkeat mastot. Venttiilisuojia käytetään kytkinlaitoksella erityisesti kalliiden laitteiden, kuten muuntajan suojaukseen. Muuntajatehoon 200 kVA saakka voidaan muuntajan suojauksessa käyttää suojakipinävälejä. Ukkosjohtimilla ja mastoilla pyritään välttämään suorat salamaniskut esimerkiksi linjaan tai kytkinlaitoksen laitteisiin. (1.)

Ukkosjohdattimia käytetään Suomessa kaikilla suurjännitetasoilla. 24–54 kV:n johdoilla ukkosjohtimia käytetään lähinnä asemien läheisyydessä. Ukkosjohtimien ongelmana on talvella niiden päälle syntyvä jääkuorma, jota kuormitusvirran indusoima virta ei riitä sulattamaan. Jääkuorma voi aiheuttaa johtimen laskeutumisen vaihejohtimien tasolle ja tuulessa aiheuttaa maasulun. (1.)

Suojakipinävälien etuna on niiden yksinkertaisuus ja halpuus. Suomessa kipinävälejä käytetään koordinaatitarkoituksessa pylväsmuuntamoissa. Käytön edellytyksenä on, että alueella ilmastollisten ylijännitteiden esiintymistiheys on kohtuullista, sillä niiden toiminnasta seuraa yleensä maasulku ja jännitteen romahdusmainen aleneminen. (1.)

Venttiilisuoijat ovat tehokkain suoja ylijännitteiltä. Jännitearvon alapuolella ne toimivat kuin eriste ja yläpuolella kuin vastus. Ne on sijoitettava mahdollisimman lähelle tärkeintä suojattavaa kohdetta ja kytkettävä kaikkiin kolmeen vaiheeseen. Myös kaikkiin avojohtoihin yhteydessä oleviin liittimiin liitetään venttiilisuoijat. Maadoituspiste venttiilisuojissa on aina sama kuin suojattavassa kohteessa. (1.)

2.3 Mittamuuntajat

Mittamuuntajia käytetään jännitteen ja virran mittaamiseen sekä mittaus- että suojaustarkoituksessa. Niiden tehtävänä on mahdollistaa releiden sijoittaminen etäälle mittauspaikasta, suojella mittareita ylikuormituksilta sekä toistaa mitattava virta ja jännite mahdollisimman virheettömästi. Mittaustuloksien vääristymiä voivat aiheuttaa käämityksen hajaimpedanssit sekä tyhjäkäyntivirta. Mittamuuntajien avulla saadaan mitattava piiri galvaanisesti irti jännitteisestä piiristä. (1.)

Virtamuuntajan perustavoitteena on, että se pystyy toistamaan suurimmatkin vikavirrat sijoituspaikassaan. Myös tärkeä osa releiden toiminnan kannalta on virtamuuntajien kyky toistaa tasakomponentti oikein. Virtamuuntajien suureet ilmaistaan mitoitustaakalla. Jotta mitattavan virran osuus saadaan kokonaistaakasta, tulisi ottaa huomioon sekä virtamuuntajan oma sisätaakka sekä muiden mittauspiirissä olevien osien, kuten mittareiden, kaapeleiden ja kojeiden taakka. (1.)

Virtamuuntajia voidaan käyttää samanaikaisesti mittaus- ja suojaustarkoitukseen sijoittamalla sen sisään erilliset sydämet. Eristeenä käytetään ulkokäytössä SF6-kaasua tai öljyä sekä sisäkäytössä valuhartsia. (1.)

Jännitemuuntajien tarkkuusluokan on säilyttävä mitoitusjännitekertoimen edellyttämään jännitteen asti. Ne rakennetaan tavallisesti yksivaiheisena ja toimintaperiaatteeltaan ovat joko induktiivisia tai kapasitiivisia. Eristeenä käytetään SF6-kaasua, öljyä tai valuhartsia. SF6- ja öljyeristeisiä jännitemuuntajia saa kaikille jännitetasoille. Valuhartsieristeisiä muuntajia käytetään keskijänniteverkon sisäasennuksissa. Jännitemuuntaja eroa virtamuuntajasta siten, että käämeillä on yhteinen sydän, jolloin yhden käämin kuormitus vaikuttaa muiden käämien mittausvirheen suuruuteen (1).

2.4 Suojareleet

Suojarele on suojajärjestelmän osa, joka on mittaava ja antaa verkon vikatilanteessa katkaisijalle käskyn avautua. Samalla asemalla sijaitsevat releet toimivat yhteistyössä ja joissain tapauksissa myös eri asemilla sijaitsevat releet ovat yhdistetty tietoliikenneyhteydellä. Tällä varmistetaan vian nopeampi paikantaminen sekä vikakohtan irrottaminen verkosta. Suojareleen nopea toiminta on tärkeää, jotta vältytään mahdollisilta vaaratilanteilta, jossa ihminen, eläin tai omaisuus voisi vahingoittua. Myös siirtoverkon stabiili toiminta voi vaarantua pitkittyneessä vikatilanteessa. (1.)

Vanhimmat edelleen käytössä olevat releet ovat sähkömekaanisia. Ne ovat toiminnaltaan yksinkertaisia, hieman epätarkkoja, suuria ja kestäviä. Jotta rele ei pääse jäykistymään, tulee se koestaa säännöllisin väliajoin.

Elektroniset releet ovat sähkömekaanisia releitä tarkempia, niillä voidaan toteuttaa vaativimpia suojaustoimintoja sekä niiden palautumisaika on lyhyempi. Elektronisten releiden huonoja puolia ovat herkkyyys ylijännitteille, jatkuva aputehon tarve sekä elektronisten osien vanheneminen. Nykyisin laajalti ovat käytössä digitaaliset releet eli mikroprosessorireleet. Ne ovat toiminnaltaan muita releitä monipuolisempia mutta näin ollen myös alttiita asetteluvirheille. Digitaalisissa releissä ei ole mekaanisia kuluvia osia ja niissä on lisättyä itsevalvontaa, jonka ansiosta koestusväliä voidaan pidentää. (1.)

2.4.1 Ylivirtareleet

Ylivirtarele toimii virran ylittäessä releelle asetellun raja-arvon. Ylivirtareleitä ovat vakioaikaylivirtarele ja käänteisaikaylivirtarele. Vakioaikaylivirtarele toimii, kun mitoitusvirran ylitys on ollut aktiivisena määritetyn ajan. Palautuakseen virran tulee alittaa releen asetteluarvo. Käänteisaikaylivirtarele laukaisee suurivirtaiset viat pienivirtaisia vikoja nopeammin. Eli mitä suurempi on verkossa esiintyvä vikavirta, sitä nopeampi on releen toiminta-aika. (1.)

2.4.2 Distanssireleet

Distanssirelettä käytetään silmukoidussa verkossa. Rele pystyy havaitsemaan vian suunnan virran ja jännitteen välisestä vaihesiirtokulmasta. Apuna rele käyttää virta- ja jännitemuuntajia, joilla se mittaa suojattavan johdon virran sekä johdon alkupään jännitteen ja laskee niistä impedanssin. Impedanssin avulla rele pystyy määrittämään etäisyyden vikapaikkaan. (1.)

Distanssireleen toimintamatka on jaettu kolmeen vyöhykkeeseen. Ensimmäinen vyöhyke kattaa noin 85 % mitattavasta johdosta. Ensimmäistä vyöhykettä ei voida asettaa ulottamaan koko johtoa mittausten ja johtoarvojen epätarkkuuden takia. Toisen vyöhykkeen ulottuma on noin 120 % johdon pituudesta. Tämä tarkoittaa sitä, että vyöhyke kattaa koko suojattavan johdon sekä osan seuraavalta asemalta lähtevästä johdosta. Kolmannen vyöhykkeen tulisi ulottua vähintään kahden suojattavan johdon päähän eli suojaavalta releeltä yhden sähköaseman yli kolmannelle asemalle asti. Eri asemilla olevien distanssireleiden välillä voidaan käyttää tietoliikenneyhteyttä selektiivisyyden ja toimintanopeuden parantamiseksi. (1.)

2.4.3 Differentiaalireleet

Differentiaalirele tai erovirtarele tarkkailee tulevia sekä lähteviä virtoja. Normaalitilanteessa virtojen välinen summa on nolla ja rele aktivoituu silloin, kun virtojen välinen erotus suurempi kuin releeseen aseteltu arvo. Suojaus toimii vain niiden virtamuuntajien välisellä alueella, joiden virtoja mitataan.

Differentiaaliteleitä käytetään tärkeimpänä suojarelenä muuntajissa, sillä ne havaitsevat muuntajan sisäiset viat. Myös yksinkertaisten kiskojärjestelmien sekä lyhyiden johtojen toisena pääsuojana voidaan käyttää differentiaalirelettä. (1.)

2.4.4 Jälleenkytkentäreleet

Jälleenkytkentärelettä käytetään katkaisijan automaattiseen kiinniohjaukseen avojohtovikojen jälkeen. Suurin osa avojohtojen vioista on ohimeneviä, joten jälleenkytkennöillä minimoidaan katkoksien kesto ja saadaan verkko taas stabiiliksi. Asetteluitten mukaan rele tekee joko pika- tai aikajälleenkytkennän. Pikajälleenkytkentä tapahtuu vian jälkeen, kun jännitteetöntä aikaa on kulunut noin 0,2 sekuntia. Jos pikajälleenkytkentä epäonnistuu, käytetään aikajälleenkytkentää, jossa kiinniohjaus toimintoa yritetään noin puolen minuutin jälkeen. (1.)

2.4.5 Taajuusrele

Taajuusrele toimii tilanteissa, jossa verkon taajuus poikkeaa asettelusta. Kun taajuus laskee asetellun arvon alapuolelle, käytetään tehonvajaussuojausta, jossa ennalta valittu kuorma irrotetaan verkosta. Taajuusrelettä käytetään myös yhdessä jännitereleen kanssa irrottamaan johdonvarsigeneraattorit verkosta pika- tai aikajälleenkytkennän jännitteettömänä väliaikana. (1.)

2.4.6 Jänniterele

Yli- ja alijännitereleet toimivat, kun verkon jännite poikkeaa sallituista arvoista. Nollajänniterele toimii, kun joku verkon osa jää ilman tähtipistemaadoitusta. Ilman tähtipistemaadoitusta maasulkusuojaus ei toimi, joten nollajänniterele toimii tässä tilanteessa maasulkusuojana. (1.)

2.4.7 Kaasureleet

Kaasureleitä käytetään öljytäytteisten muuntajien ja reaktorin suojana. Rele yhdistetään muuntajastian ja öljyn paisuntasäiliön väliseen putkeen. Vikatilanteessa öljy kuumenee ja höyrystyy releessä ja rele toimii, kun sen sisään on kertynyt tarpeeksi kaasua. Releessä on kaksi toimintarajaa, joista toinen aiheuttaa hälytyksen ja toinen laukaisun. (1.)

2.5 Maadoitus

Maadoituksessa jokin laite tai virtapiirin kohta yhdistetään maassa olevaan metalliseen kappaleeseen. Maadoitukset jaetaan käyttö- ja suojamaadoitukseen. Käyttömaadoituksessa virtapiirin osa yhdistetään maahan, jotta virtajohtimien jännite suhteessa maahan pysyy sellaisena, ettei se aiheuta vaaraa tai vaurioita. Suojamaadoituksessa maadoitukseen liitetään virtapiiriin kuulumaton jännitteelle altis osa ja sen tehtävänä on estää vaarallisen kosketusjännitteen syntyminen koskettavaan jännitteelliseksi muuttuvaan osaan. (1.)

Kun halutaan työskennellä turvallisesti sähköverkossa, käytetään työmaadoitusta. Työmaadoituksessa normaalisti jännitteelliset johtimet maadoitetaan ja oikosuljetaan työn ajaksi. (1.)

3 KATKAISIJAT

Sähkönsiirrossa ja jakelussa tärkeimpiä kytkinlaitteita ovat erottimet, kytkimet, kuormaerottimet ja katkaisijat. Näistä kytkinlaitteista kallein ja tärkein on katkaisija, sillä sen pitää pystyä katkaisemaan suurimmatkin verkossa esiintyvät virrat. (1.)

Katkaisijoita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen, ja ne voivat toimia sekä käsin ohjattuna että automaattisesti. Tyypillinen automaattisesti tapahtuva katkaisijatoiminto on ylivirrasta johdettu. Siinä avautumiskäskyn antaa mittamuuntajien avulla piiriin kytketty suojarole. Ylivirta voi olla esimerkiksi verkossa tapahtuva oikosulku tai maasulku. (1.)

Katkaisijat voidaan jakaa ryhmiin valokaaren sammutukseen sekä jännitteisten osien toisistaan eristämiseen käytettävän väliaineen mukaan, jotka ovat

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

3.1 SF6-katkaisija

SF6-katkaisijoiden ongelmat liittyvät poikkeuksetta käytettävään kaasuun. Ongelmia ovat muun muassa valokaaren aiheuttamat myrkylliset ja kosteuden kanssa korroosiota aiheuttavat yhdisteet katkaisukammiossa, suuri ohjausenergian tarve sekä kaasun haitallisuus ilmastolle. Haitallisuus ilmastolle huolestuttaa etenkin Euroopan unionia ja EU onkin sallinut SF6-kaasun käytön 24 kV -järjestelmissä vuoteen 2026 saakka ja sitä suuremmilla jännitteillä vuoteen 2031 saakka. (1.)

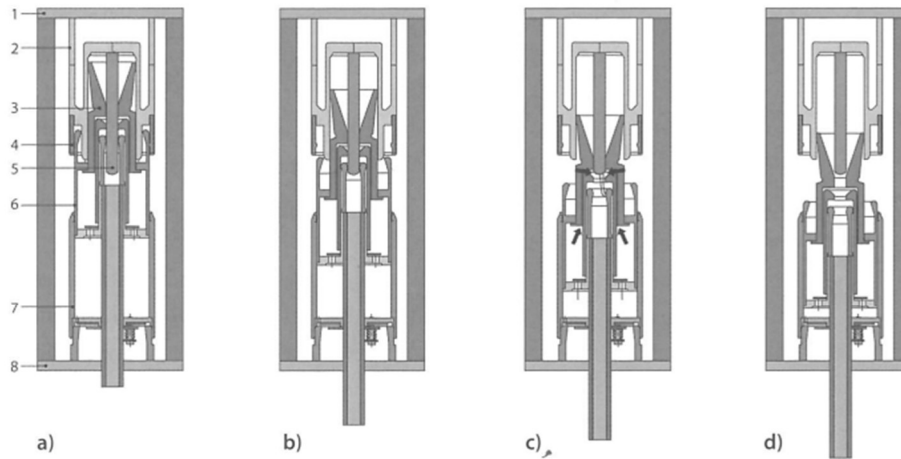
SF6-katkaisija käyttää sammutusväliaineena nykyisin kasvihuonekaasuksi luokiteltua SF6-kaasua eli rikkiheksafluoridia. Katkaisijan etuja ovat väliaineen palamattomuus, suuri valokaaren jäähdytyskyky, yhdellä katkaisuyksiköllä saavutettava suurempi palaavan jännitteen kestokyky sekä tästä

johtuva kilpailevia periaatteita suurempi katkaisuteho. SF6-katkaisijat ovat myös taloudellinen vaihtoehto etenkin 123–765 kV:n jännitteillä. (1.)

SF6-katkaisijoiden kohdalla on keskitytty erityisesti katkaisutekniikkaan. Ensimmäiset katkaisijat olivat tyypiltään kaksipainekatkaisijoita. Niissä paine johdettiin katkaisuhetkellä korkeapaineosasta matalapaineosaan, jossa katkaisukohta oli. Kaksipainekatkaisijoiden heikkous oli sen monimutkaisuus johtuen apulaitteista, joihin kuuluivat muun muassa kaasun lämmittimet nesteytymisen estämiseksi. (1.)

Katkaisijoiden yleistyminen tapahtui, kun siirryttiin kaksipainekatkaisijoista yksipainekatkaisijoihin, joissa hyödynnettiin pufferitekniikkaa eli autopneumaattista periaatetta. Pufferitekniikassa kaasun virtaus ja paine-ero saadaan aikaan koskettimeen kytketyllä mäntä-sylinteri -järjestelmällä. Keski-jännitepuolella kilpailua heikensi kuitenkin suuri ohjausenergian tarve. Tämä ratkaistiin ottamalla valokaareen sammuttamiseen tarvittava energia katkaistavasta virrasta pyörittämällä valokaarta virran aiheuttaman magneettikentän avulla. Valokaarta jäähdyttävä virtaus saadaan aikaan käyttämällä kammiossa olevia venttiilejä sekä hyödyntämällä valokaaresta johtuvan SF6-kaasun paineen nousu (kutsutaan itsepuhallusperiaatteeksi). (1.)

Kuvassa 1 on havainnollistettu katkaisijan toiminta vaiheittain pääkoskettimien avautuessa. Katkaisutilanteessa pääkoskettimet avautuvat, minkä seurauksena virta siirtyy valokaarikoskettimille. Avautumisliikkeen jatkuessa myös valokaarikoskettimet aukeavat ja niiden väliin syntyy valokaari. Avautumisliikkeessä myös mäntä liikkuu koskettimien mukana, joka saa aikaan paineen nousun alla olevassa kaasutilassa. Puristuksesta aiheutuva kaasuvirtaus ohjataan venttiilien kautta syntyneeseen valokaareen ja valokaari saadaan sammumaan. (1.)



Kuva 3.19. Itsepuhallus-katkaisuperiaate: a) katkaisija kiinni, b) avautumisiikkeen alku (pääkoskettimet avautuneet), c) valokaaren syttymisvaihe valokaarikoskettimien avauduttua (nuolet osoittavat kaasun virtauksen), d) katkaisija avoinna. 3 = suppilo (nozzle), 4 = pääkoskettimet, 5 = kiinteä puikkomainen valokaarikosketin, 6 = liikkuva sylinterimäinen vastakosketin. (Siemens 2008b.)

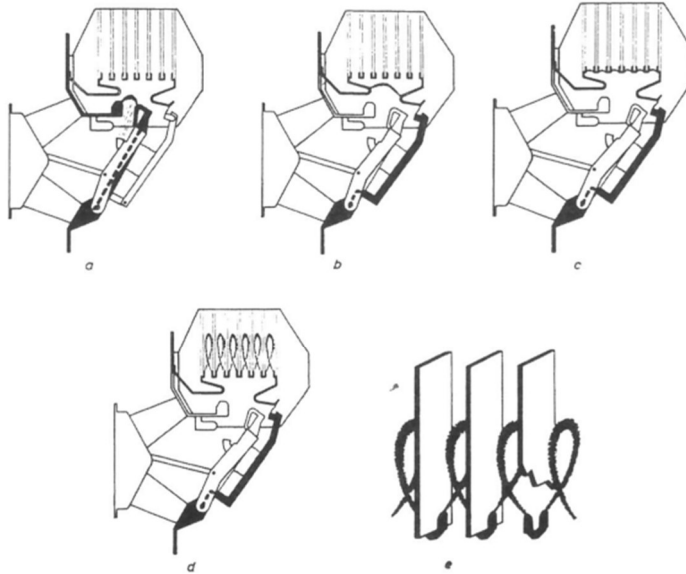
Kuva 1 Toiminta katkaisijan avautuessa (1).

3.2 Ilmakatkaisija

Ilmakatkaisija on vanhin edelleen käytössä oleva katkaisijatyyppejä. Katkaisijan katkaisukärjet on sijoitettu normaalipaineiseen ilmaan ja suojattu tulenkestävällä ja eristävällä valokaarisuojauksella. Valokaaren sammumisen tehostamiseksi suojauksen sisällä on useita välilevyjä, joiden tarkoituksena on jakaa valokaari osiin. (1.)

Ilmakatkaisijassa on kahdet koskettimet, pää- sekä valokaarikoskettimet. Pääkoskettimet kuljettavat virran katkaisijan ollessa suljettuna. Jotta katkaisuvalokaari ei syntyisi pääkoskettimien välille katkaisijan avautuessa, avautuvat pääkoskettimet ennen valokaarikoskettimia. Ohjauksella estetään pääkoskettimien rikkoutuminen. Katkaisusta syntynyt valokaari ohjataan moniosaiseen sammutuskammioon. Valokaari sammuu seuraavassa nolokohdassa, mikäli kyseessä ei ole virtaa rajoittava katkaisija, jossa se sammuisi jo ennen odotettavaa huippuarvoa. (1.)

Kuvassa 2 on esitetty magneettisella puhalluksella varustettu katkaisija. Siinä virran aiheuttamaa magneettikenttää hyödynnetään kohdistamalla se poikittain valokaareen työntäen sitä kohti sammutuskammion sammutuskennoja. Valokaaren pituus pitenee ja vastus kasvaa, minkä ansiosta katkaistava virta pienenee. (1.)



Erään ilmakatkaisijan katkaisuprosessi pääpiirteissään. a) Pääkoskettimet avautuvat ja valokaari syttyy. b) Valokaaren siirtyminen kipinäkoskettimille. c) Valokaari siirtyy sammutuskammioon jakautuen osiin. d) Osavalokaarten piteneminen magneettipuhalluksen vuoksi. e) "Lähikuva" tilanteesta d). (Merlin-Gerin 1976.)

Kuva 2 Magneettisella puhalluksella varustettu katkaisija (1).

Ilmakatkaisijoita valmistetaan yleensä 500 V:n mitoitusjännitteeseen asti ja mitoitusvirrat voivat olla suuruusluokkaa 10 kA ja katkaisuvirrat 25–50 kA tai enemmän. (1.)

3.3 Paineilmakatkaisija

Paineilmakatkaisijassa sekä katkaisijan ohjaukseen että valokaaren sammuttamiseen käytetään paineilmaa. Katkaisija soveltuu erityisesti käyttöön, jossa verkon nimellis- ja oikosulkuvirrat ovat suuria ja niitä on useita. Katkaisija pystyy katkaisemaan myös nollakohdattoman vaihtovirran. (1.)

Paineilmakatkaisijoita voidaan käyttää myös suuremmilla jännitteillä. 72,5 kilovoltin jännitteeseen saakka riittää usein yksi katkaisupää mutta suuremmilla jännitteillä katkaisupäitä tarvitaan useampia. Paineilmakatkaisijoiden suosiota rajoittaa paineilmaverkoston tarve tehokkaine ilmankuivausjärjestelmineen sekä toimiessa syntyvä melu. Myös kytkentäjännitettä rajoittaessa käytettävien sulkemisvastuksien ja lisäkoskettimien käyttö monimutkaistaa katkaisijaa ja nostaa sen hintaa. (1.)

3.4 Öljykatkaisijat ja vähäöljykatkaisijat

Öljykatkaisijoissa valokaaren sammutusaineena käytetään mineraaliöljyä. Katkaisutilanteessa syntyvä valokaari saa aikaan öljyn kaasuuntumiseen ja hajoamisen. Tämä reaktio synnyttää valokaaren ympärille kaasuvaipan sammuttaen sen. Perinteisen öljykatkaisijan heikkoudet olivat muun muassa heikko katkaisukyky sekä suuret öljymäärät. Myös väärin mitoitettu katkaisija saattoi räjähtäessään olla erittäin tuhoisa suuren öljymäärän vuoksi (1.)

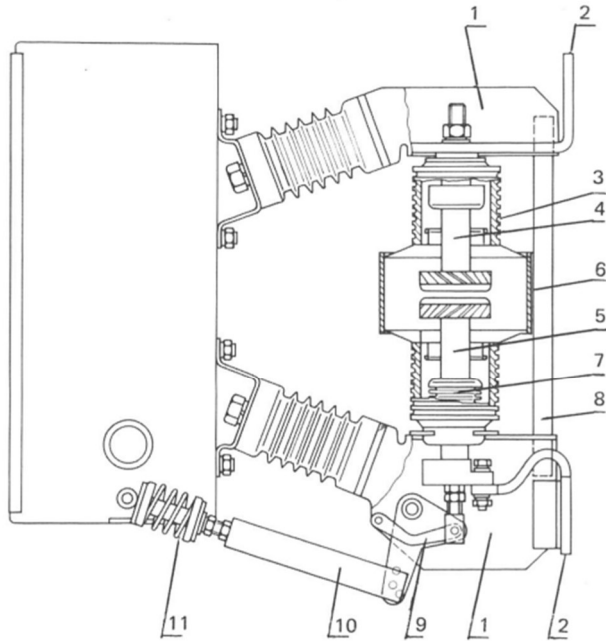
Jotta öljymäärä ja vaaralliset räjähdykset saataisiin maltillisemmaksi, kehitettiin vähäöljykatkaisija, jossa jäljelle jätettiin vain sammutuskammio. Pienemmän öljymäärän ja ulkoisen eristämisen mahdollistamiseksi sammutuskammiot on rakennettu jokaiselle vaiheelle erikseen eristimien varaan. (1.)

Vähäöljykatkaisijassa valokaaren sammutus perustuu öljyn höyrystyessä paineen nousuun ja paineesta johtuvan kaasun ja öljyn virtaukseen. Katkaisijassa valokaari saadaan sammumaan suuntaamalla virtaava öljy valokaaren suuntaan tai poikittain sitä vastaan. Virtausta tehostetaan muotoilun lisäksi pumppauslaitteiden avulla. Vähäöljykatkaisijassa kosketinpuikon liike saadaan jousien avulla. Jousia on sekä avaus- ja sulkemisliikettä varten ja niiden virittäminen voidaan toteuttaa moottoreilla. (1.)

Pääasiallinen käyttöjännite vähäöljykatkaisijoilla on 7,2–123 kV. Suuremmilla käyttöjännitteillä (>145 kV) katkaisija koostuu useammasta sarjaan kytketystä katkaisuelementistä ja jännitteen jako toteutetaan erilaisilla jännitteenjakarakenteilla. Nykyisin öljyä käyttävien katkaisijoiden valmistus on lopetettu mutta niitä on edelleen käytössä sähkövoimajakelussa. (1.)

3.5 Tyhjiökatkaisija

Kuvassa 3 esitetyn tyhjiökatkaisijan rakenne on yksinkertainen. Siinä on kaksi kosketinta, kiinteä ja liikkuva kosketin, jotka ovat sijoitettu tyhjiösäiliöön. Katkaisijan toimiessa syntynyt valokaari jää palamaan kosketuspinnolta höyrystyneeseen ionisoituneeseen metallipilveen. Virran nollakohdassa metallihöyryn ionisaatio katoaa ja höyry tiivistyy. Avausväliksi riittää 5–15 mm tyhjiön hyvän jännitelujuuden ansiosta. (1.)



Tyhjiökatkaisijan rakenne (Siemens). 1) katkaisuyksikön kannattimet, 2) liittimet, 3) keraaminen eristin, 4) kiinteä kosketin, 5) liikkuva kosketin, 6) sammutuskammio, 7) metallipalje, 8) eristävä tukitanko, 9) ohjaava vipu, 10) eristävä välitanko, 11) ohjauvoiman antava jousi.

Kuva 3 Tyhjiökatkaisijan rakenne (1).

Tyhjiökatkaisija on pitkäikäinen ja taloudellinen huoltovapauden takia. Katkaisuyksikön elinikä täydellä oikosulkuvirralla on noin 20–100 toimintakertaa ja mitoitusvirrallaan 10 000–20 000 toimintakertaa. Huoltojen osalta ainoastaan ohjain tarvitsee voitelua. (1.)

Tyhjiökatkaisijoiden valmistus on keskittynyt keskijännitealueelle. Katkaisija soveltuu parhaiten käyttöön, jossa keskinkertaisen katkaisukyvyyn lisäksi vaaditaan suurta kytkentätiheyttä. Mitoitusvirrat tyhjiökatkaisijoissa ovat luokkaa 2000–3000 A ja sulkemiskyky välillä 80–104 kA. (1.)

4 OMICRON CIBANO 500

Tässä luvussa esitellään Cibano 500 -koestuslaitteen fyysisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia ja käydään läpi Omicron Energyn luomaa Primary Test Manager -hallintaohjelmistoa.

Omicron Energy on kansainvälinen yritys, joka palvelee sähkövoimateollisuutta testaus-, diagnostiikka- ja valvontaratkaisulla. Yritys valmistaa laitteita ja ohjelmistoja sähkövoimateollisuuden erilaisten komponenttien testauksiin. (3.)

Omicron on perustettu Itävallassa vuonna 1984 ja se työllistää tällä hetkellä yli 1100 työntekijää sekä asiakkaita sillä on yli 160 maassa (3).

4.1 Cibano 500

Cibano 500 on tarkoitettu itsenäiseksi tai lisävarusteiden kanssa toimivaksi testausjärjestelmäksi suojakatkaisijoiden käyttöönotossa ja kunnossapidossa. Laite toimii ainoastaan kytkettynä Ethernet-liitännällä tietokoneeseen. Laitteella voidaan suorittaa seuraavanlaisia testejä:

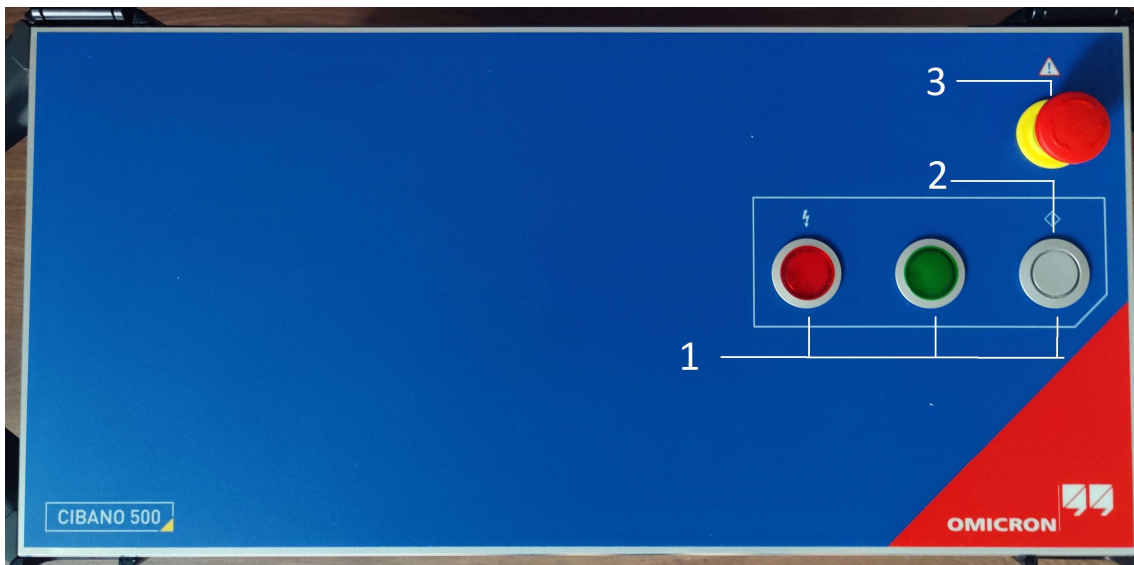
- Pääkoskettimen vastuksen mittaus ($\mu\Omega$ -mittaus)
- Laukaisu- ja sulkemiskelojen minimivetojännitteen mittaus
- Moottorin virta ja jännite
- Pää- ja apukoskettimen ajoituksen mittaus
- Laukaisu- ja sulkukomentojen lähettäminen eri toimintojen suorittamiseksi:
 - Avaa (O)
 - Sulje (C)
 - Sulje uudelleen (OC)
 - Laukaisun vapautus (CO)
 - Sulje automaattisesti uudelleen (O-CO)
 - CO-CO
 - O-CO-CO

Pääkoskettimen dynaamisen vastuksen mittaus mahdollistaa aiemmin tässä osassa kuvatut toiminnot

Ajituksen ja dynaamisen vastuksen mittauksen lisäksi käytettävissä ovat myös seuraavat mittaukset:

- Laukaisu- ja sulkemiskelojen virta ja jännite
- Alijännitelaukaisutoiminnon testaus
- Pääkoskettimen liike

Cibanon kannessa on kolme tilavaloa ja kaksi painiketta. Tilavalloilla ilmaistaan mahdolliset vaaralliset jännitteet tai virrat. Start/Stop painikkeella aloitetaan mittaukset ja hätäseis-painikkeella käynnissä oleva mittaus voidaan keskeyttää niin, että laite katkaisee välittömästi jännitteen/virran syötön.



Kuva 4 Cibano 500 etupaneeli

1	Merkkivalot
2	Start/Stop painike
3	Hätäseis-painike

Cibanon sivupaneelista löytyvät kaikki laitteen liitäntäpisteet. Analogista jännitetuloa voidaan käyttää tilanteessa, jossa halutaan syöttää katkaisijan jousen viritysmoottorin jännite aseman omasta akustosta. Output/Input eli lähtö ja tulo liittimet ovat ohjelmoitavissa halutuille toiminnoille Primary Test Manager -ohjelmiston avulla. EtherCat portteja käytetään ulkoisten moduulien, kuten MC2 ja TC3 tietoliikennettä varten.



Kuva 5 Cibano 500 sivupaneeli

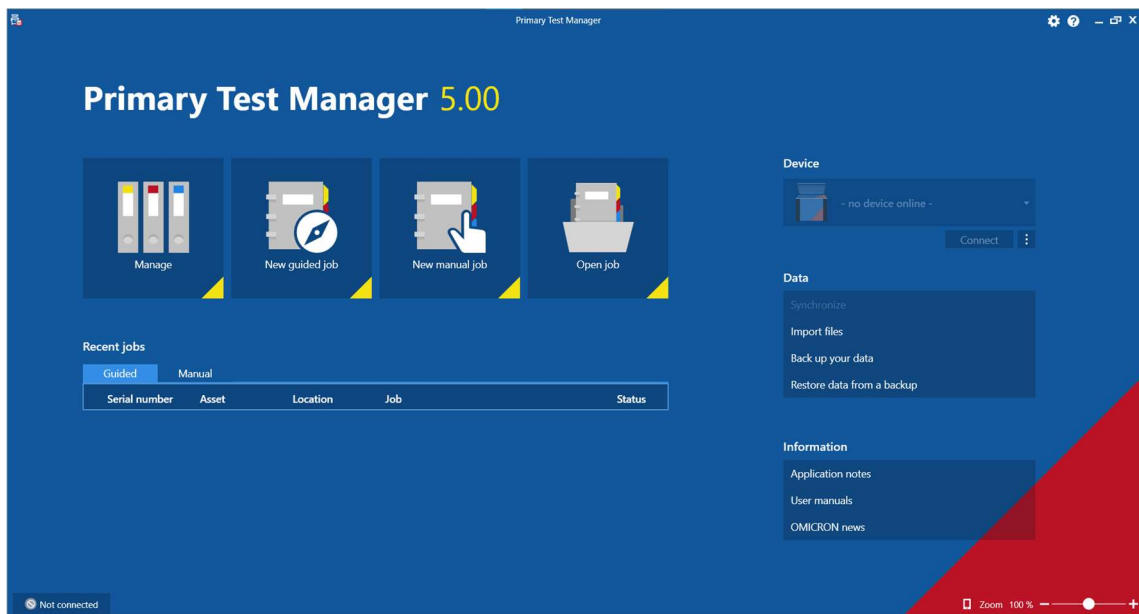
1	Analoginen jännitetulo / ulkoinen syöttö
2	Jännitteen (AC ja DC) lähtö sekä virran lähtö/tulo
3	Lisämaadoitus
4	Ulkoinen tehoste. (Ei käytössä)
5	Ulkoisten moduulien EtherCat liitännät
6	Suojälisälaitteiden liitännät
7	Serial. Ei käytössä.
8	Ethernet-liitäntä
9	Laitteen päävirtakytkin
10	Verkkovirran suoja
11	Laitteen verkkovirran syöttö

4.2 Primary Test Manager (PTM)

Primary Test Manager on hallintaohjelmisto, jota käytetään suur- ja keskijännitetestauksessa Omicronin testausjärjestelmillä. Se on tietokoneella hallittava käyttöliittymä, joka avustaa laitteiston määrittämisessä ja testien arvioinnissa. Sillä on mahdollista luoda uusia tai suorittaa jo valmisteltuja töitä. Testien lisäksi ohjelmiston avulla voidaan luoda kattavia raportteja.

Ohjelmaa voidaan käyttää tehomuuntajien, virtamuuntajien, jännitemuuntajien, katkaisijoiden, moottoreiden ja maadoitusjärjestelmien testaukseen seuraavien Omicronin laitteiden avulla:

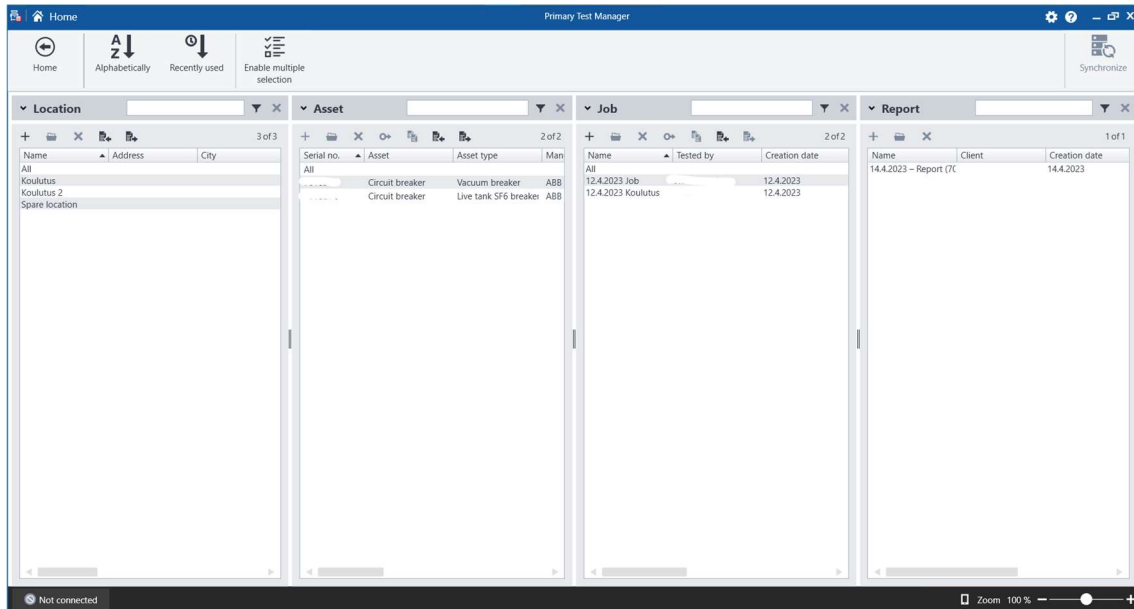
- Omicron CIBANO 500
- Omicron CPC100
- Omicron CPC80
- Omicron TESTRANO 600
- Omicron FRANEO 800
- Omicron DIRANA



Kuva 6 PTM etusivu

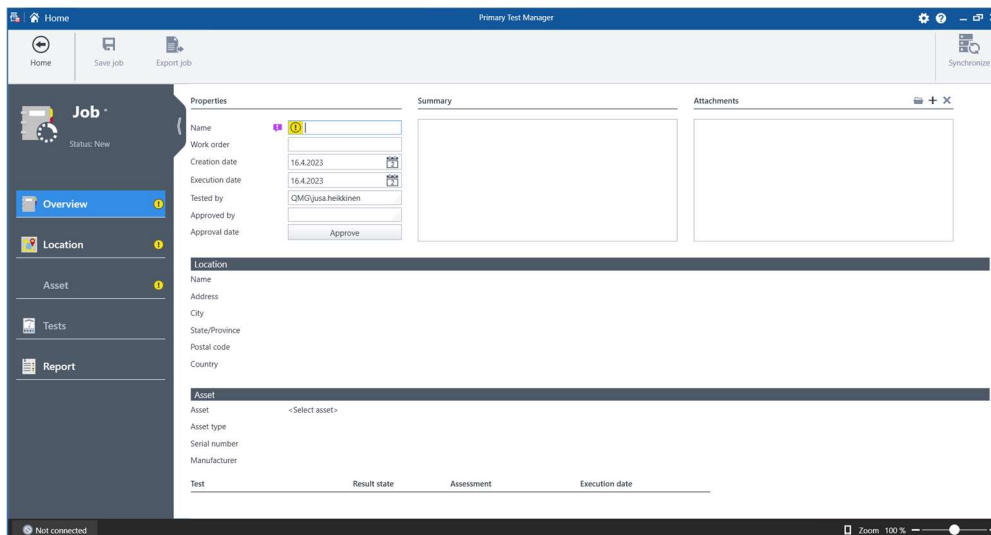
Ohjelman etusivulla on neljä pääkomentoa, manage, new guided job, new manual job sekä open job. Etusivulta näkee operoitavan laitteen yhteyden tilan

Manage-komennosta aukeaa näkymä (kuva 7), jossa voidaan luoda uusia tai hallita aikaisempia töitä. Uusia töitä luotaessa voidaan hyödyntää aiempien töiden pohjia kopioimalla esimerkiksi vastaavanlaisen katkaisijan tiedot uutta työtä varten.

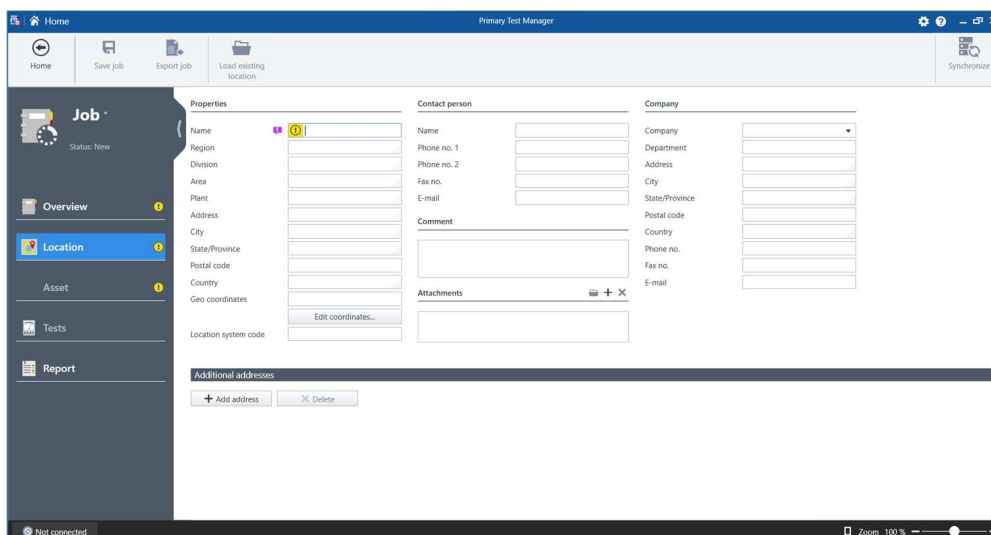


Kuva 7 PTM manage

New guided job -komennosta voidaan määrittää ja suorittaa töitä. Se sisältää kaiken tarvittavan tiedon sijainnista, testattavasta kohteesta, testeistä sekä sillä voidaan luoda raporteja. Komennon kautta työssä edetään ohjatusti vaiheittain. Overview- ja Location-sivulle täytetään tiedot työstä, testattavan kohteen sijainnista, testauksen tekevästä yrityksestä ja yhteyshenkilöstä. Näkymät esitetty kuvissa 8 ja 9.

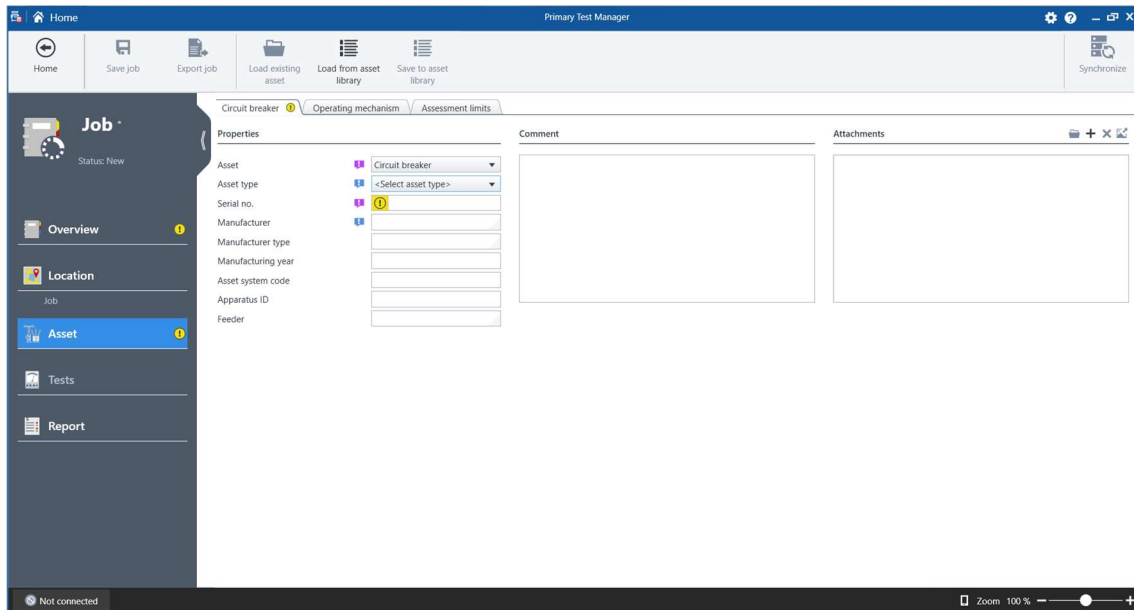


Kuva 8 PTM new guided job, Overview

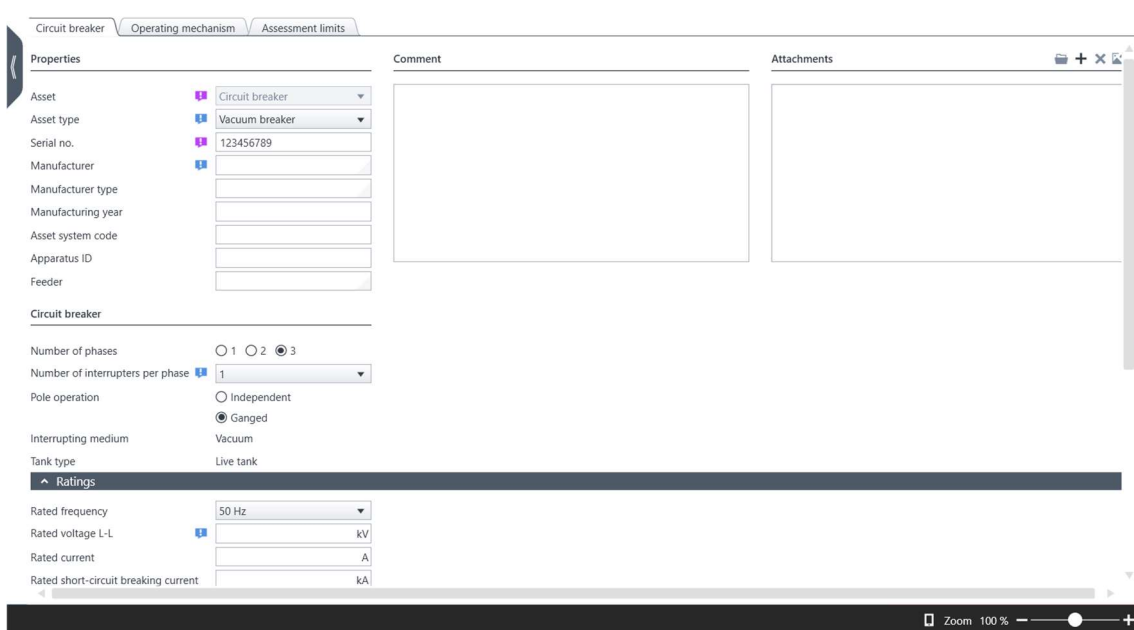


Kuva 9 PTM new guided job, Location

Asset-osioon (kuvat 10 ja 11) valitaan testattava kohde ja täytetään sen tiedot. Tiedot voidaan täyttää joko käsin tai kopioiden ne aiemmin suoritetusta työstä, jossa on testattu samanlaista kohdetta. Tiedot voidaan myös tuoda Omicronin Asset library -ohjelman kautta, josta löytyy kattavasti esimerkiksi eri valmistajien katkaisijoiden tietoja.



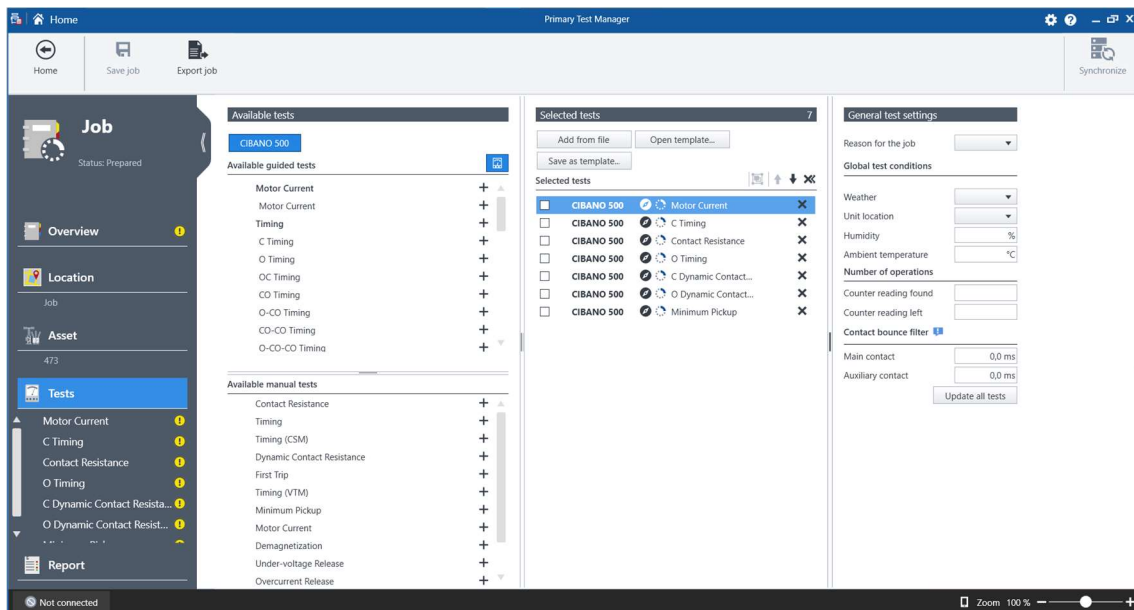
Kuva 10 Asset



Kuva 11 Asset

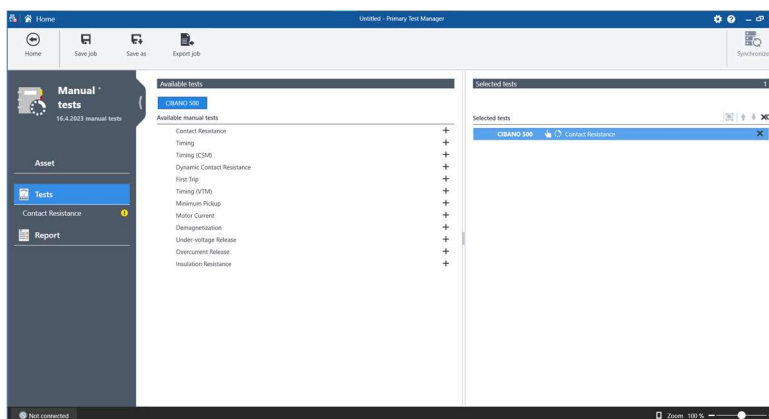
Test-sivulla (kuva 12) valitaan kohteelle suoritettavat testit. Saatavilla olevat testit vaihtelevat ope-
roitavan laitteen mukaan. Valitut suoritettavat testit tulevat näkyviin vasempaan reunaan Test-osion
alapuolelle, jolloin ne voidaan halutessa suorittaa jokainen yksi kerrallaan ja käydä tulokset läpi heti
testin jälkeen. Testit voidaan suorittaa myös niin, että ohjelma tekee itsenäisesti kaikki valitut tes-
taukset kohteelle.

Kun testit on suoritettu, ohjelma luo käyttäjälle valmiin raportin Word- ja pdf-muodossa. Raporttia voi itse halutessa muokata niin, että poistaa tai lisää näytettäviä tietoja ja tuloksia. Raportti on myös mahdollista tulostaa itse tehtyyn pohjaan, jolloin ulkoasusta saadaan halutunlainen.



Kuva 12 New Guided Job

New manual job -komentoa käytetään silloin, kun kohteelle halutaan tehdä nopea testaus ilman esitietojen täyttämistä. Tällainen tilanne voisi olla esimerkiksi silloin, kun halutaan mitata erottimen yllämenovastus.



Kuva 13 New Manual Job

Open job -komentoa käytetään, kun halutaan tuoda työ esimerkiksi ulkoiselta kovalevyllä tai yrityksen omasta tietokannasta. Tästä on hyötyä, jos käyttäjiä on useampia ja laitetta hallitaan eri tietokoneilla.

4.3 Ulkoiset moduulit

CB MC2 -moduulin (kuva 14) tarkoituksena on lisätä käyttömukavuutta ja turvallisuutta katkaisijoiden koestuksessa. Sen avulla kaikki suoritettavat testit voidaan toteuttaa ilman uudelleenkytkentöjä. Moduuli kytketään Cibano 500 -koestuslaitteeseen EtherCat liittimien kautta digitaalisesti. Tästä syystä kytkentöjen virralliset kaapelit lyhenevät, aiheuttaen vähemmän häiriötä testauksiin. (6.)



Kuva 14 CB MC2

CB TN3 -moduulia (kuva 15) käytetään kuvaamaan katkaisijan pääkoskettimien liikettä. Siinä on kolme analogista ja kolme digitaalista kanavaa lineaarisen ja pyörivän liikkeen tietojen keräämistä varten. Myös CB TN3 kytketään Cibanoon EtherCat liittimien avulla. (7.)



Kuva 15 CB TN3

4.4 Käyttöönotto

Käyttöönotossa edetään vaiheittain Omicronin antamien ohjeiden mukaisesti. Ensin tulisi kuitenkin varmistua siitä, että kaikki laitteen mukana tilatut kaapelit ja ulkoiset lisälaitteet olivat myös saapuneet. Laitteen hankintaan kuului seuraavia laitteita ja kaapeleita:

- virtakaapeli
- maadoituskaapeli
- mittakaapelit
- liikeanturit ja anturien liitäntälaitteet
- pihtejä
- työkaluja
- kolme kappaletta CB MC2 moduuleja
- CB TN3 moduuli

Primary test manager -hallintaohjelmisto asennettiin tietokoneeseen mukana tulleelta DVD:ltä. Ohjelmiston päivitykset ovat myöhemmin ladattavissa Omicronin asiakasportaalista. Kun PTM oli

asennettu, kytkettiin Cibano 500 tietokoneeseen ja päivitettiin Cibanon sekä ulkoisten moduulien laiteohjelmistot, jotta ne ovat yhteensopivat uusimman PTM-ohjelmistoversion kanssa. Päivityksien jälkeen käyttäjältä ei vaadittu muita toimia ja laite oli valmis käytettäväksi.

5 KATKAISIJAN KOESTUS

Katkaisijoiden koestuksia suoritetaan, jotta varmistetaan siitä, että katkaisijat täyttävät niille asetetut vaatimukset. Koestuksia tehdään sekä käyttöönottoaiheessa, että myöhempien määräaikaistarkastuksien yhteydessä.

5.1 Aloitus

Katkaisijan koestus päästiin tekemään Kajaanissa Omicron Energy:n järjestämän käyttäjäkoulutuksen yhteydessä ABB:n 12kV VD4 keskijännitekatkaisijalle. Koestuksen mahdollisti Renfosin Ranta antamalla meille tilat sekä irrallisen katkaisijan koulutusta varten.

Koulutuksessa katkaisijalle suoritettiin testit kahteen kertaan. Ensimmäisellä kerralla testit käytiin läpi vaiheittain niin, että jokainen testi käynnistettiin manuaalisesti. Toisella kerralla PTM suoritettiin testit automaattisesti. Kuvassa 16 on esitetty Cibano sekä ABB VD4 -katkaisija.



Kuva 16 Cibano 500 ja ABB VD4

Testaussuunnitelma laadittiin koulutuksen aikana. Katkaisijalle tehtiin seuraavat testit:

- moottorin virta
- dynaamisen vastuksen mittaus C (close), O (open) ja O-CO (open-close-open)
- pääkoskettimien ylimenovastuksien mittaus
- laukaisu- ja sulkemiskelojen minimivetojännitteen mittaus

Katkaisijalle olisi myös mahdollista suorittaa pääkoskettimen liikkeen testaus. Testausta ei kuitenkaan suoritettu, koska sopivaa sovitetta liikeanturin ja akselin yhdistämiseen ei ollut saatavilla.

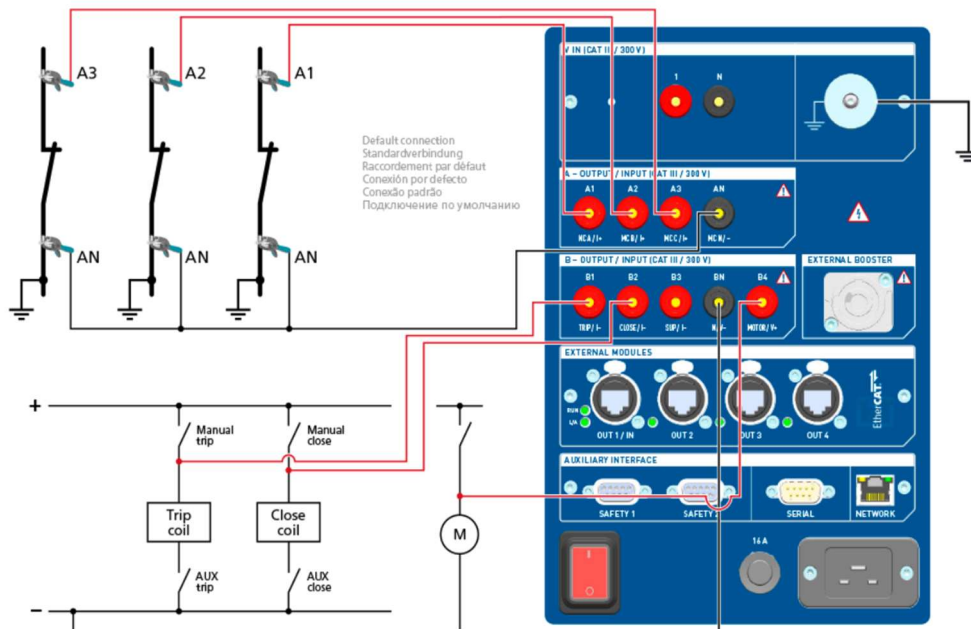
5.2 Kytkenät

Ennen koestuksen aloittamista katkaisijalle suoritettiin silmämääräinen tarkistus, jossa tarkistettiin muun muassa erotuskoskettimien puhtaus. Katkaisija todettiin ulkoisesti puhtaaksi ja ehyeksi, jolloin voitiin aloittaa kytkentöjen suorittaminen.

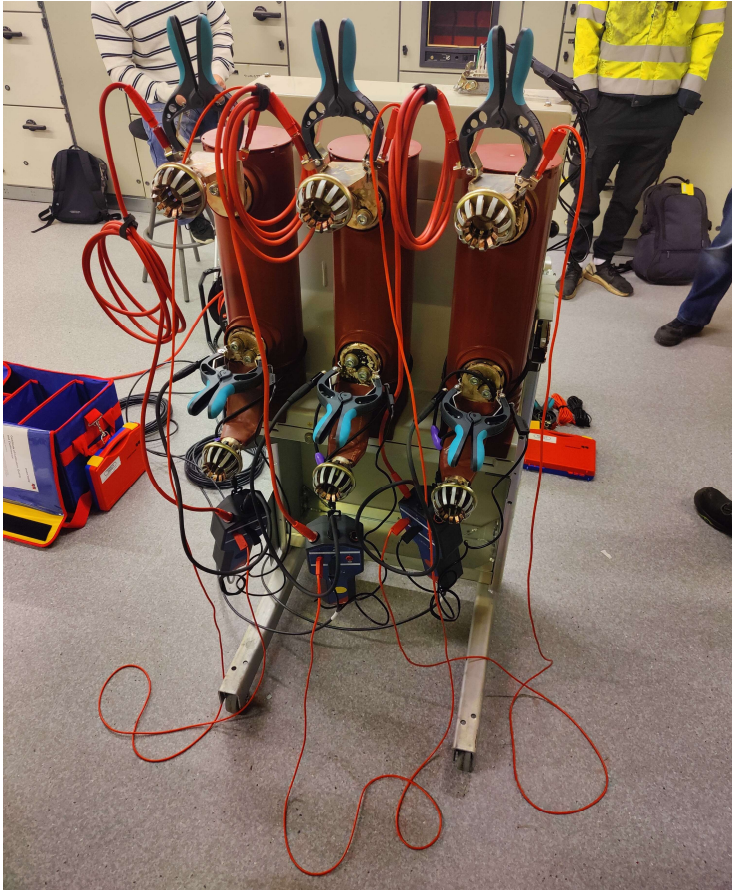
Kytkenät aloitettiin tarkistamalla piirikaaviosta oikeat ohjauspiirien liittimet katkaisijan pistokkeesta kiinniohjauskelalle, laukaisukelalle, jousen viritysmoottorille sekä katkaisijan asennon apukoskettimille. Kuvassa 18 on PTM ohjelman antama kytkentäohje kelojen, moottorin ja apukoskettimien kytkentöjä varten. Kun varmuus oikeista liittimistä oli saatu, kytkettiin kaapelit ohjelman antaman ohjeen mukaisesti. Kuvassa 20 on esitetty kytkentäohje, kun apuna käytetään MC2-moduuleja. Virta- ja jännitekaapelit kytkettiin ohjeen mukaisesti MC2-moduuleihin ja moduulit Cibanon Ether-Cat portteihin.



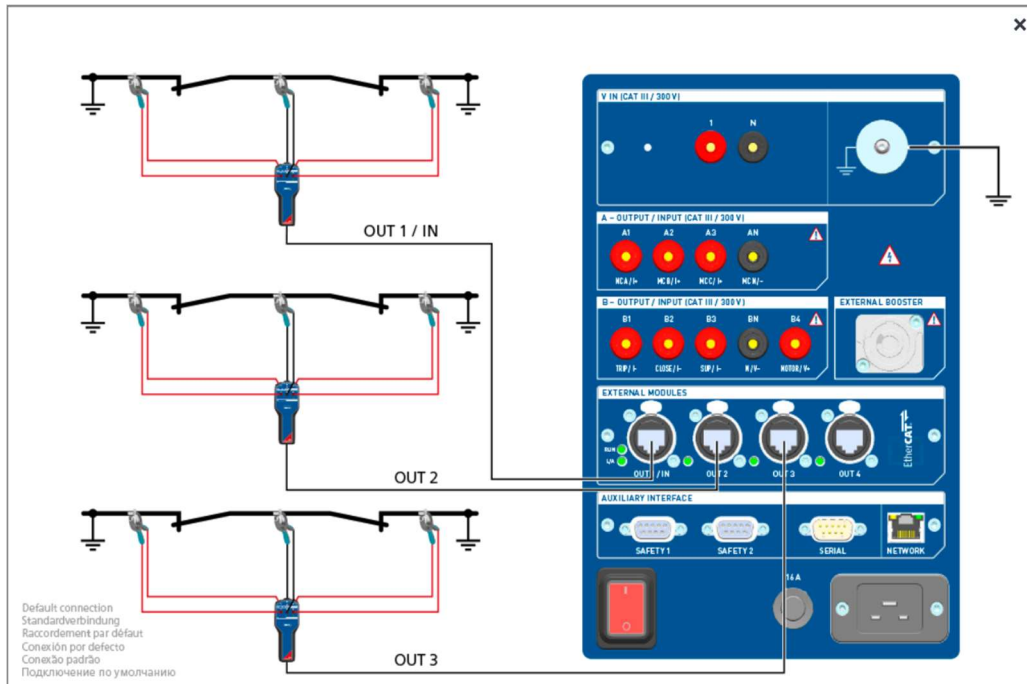
Kuva 17 KytKentöjen suorittaminen



Kuva 18 KytKentäohje



Kuva 19 Koskettimien kytkennät



Kuva 20 MC2 moduulien kytkentäohje

5.3 Tulokset

Katkaisijalle suoritettujen testauksien jälkeen tulostettiin raportti, johon liitettiin saadut virta ja jännite kuvaajat sekä tulostaulukot. Kuvaajat ja taulukot ovat esitetty liitteissä 1–6. Koska testikerta on ensimmäinen kyseiselle Omicronin laitteelle, ei testeihin ole lisätty vertailuarvoja muista katkaisijoista, eikä niitä ajan puutteen takia lähdetty hakemaan muista tietokannoista. Katkaisijan valmistajan raja-arvoja mittauksille on kuitenkin asetettu, jotta katkaisija ei vahingoitu testien aikana.

Moottorin virran ja jännitteen tulos on esitetty kuvaajana liitteessä 1. Liitteen 1 taulukon mukaan jousen virityksen kesto oli 9,71 sekuntia, moottorin käynnistysvirta 10,02 A ja latausvirta 1,15 A. Liitteissä 2, 4 ja 5 on kuvaajat ja taulukot auki-, kiinni- ja auki-kiinni-auki -toiminnoille. Tuloksissa on nähtävissä muun muassa toiminta-ajat, koskettimien värähtelyaika (bounce time) ja apukoskettimien tietoja. Koskettimien ylimenovastus tulokset ovat esitetty liitteessä 3. Testi suoritettiin 100 ampeerin virroilla ja tulokset olivat alle $40 \mu\Omega$. Tyypillisesti ylimenovastuksien arvot ovat välillä 10–100 $\mu\Omega$ ja tätä suuremmat arvot kertovat mahdollisesta viasta (8). Laukaisu- ja sulkemiskelojen minivetojännitteiden tulokset ovat liitteen 6 taulukossa. Testissä jännitettä nostettiin 5 V portaissa. Laukaisukelan toimintarajaksi saatiin 35 V ja sulkemiskelan rajaksi 40 V.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli käyttöönottaa Paikallis-Sähkö Oy:lle tullut uusi Omicron Cibano 500 -koestuslaite ja osana käyttöönottoa toteutettiin 12kV:n katkaisijan koestus. Työssä perehdyttiin myös sähköverkon suojauksessa käytettäviin laitteisiin ja niiden toimintoihin. Suojalaitteista tarkemmassa käsittelyssä olivat katkaisijat.

Laitteen käyttöönotto oli mielestäni tehty helpoksi. Uutena tulleen laitteen käyttövalmiusaste oli hyvä sillä käyttäjänä minun ei tarvinnut kuin ladata hallintaohjelmisto ja päivittää laiteohjelmistot Cibanoon ja ulkoisiin moduuleihin. Primary Test Manager -hallintaohjelmisto on tehty hyvin selkeäksi ja sen perustoimintojen oppiminen oli nopeaa. Koestuksien aloittaminen ilman Omicronin käyttäjäkoulutusta olisi ollut vaikeaa, koska yrityksessä kellään ei ollut aiempaa kokemusta Cibano 500 -laitteesta.

ABB:n 12 kV katkaisijan koestaminen saatiin suoritettua ilman ongelmia. Kouluttava henkilö on ollut luomassa ja kehittämässä Cibanoa sekä Primary Test Manageria, joten häneltä sai todella paljon hyviä neuvoja tulevaisuutta ajatellen.

Työn tavoite täyttyi, yritykselle saatiin käyttöön uusi laite, jolla päästään suorittamaan suur- ja keskijännitekatkaisijoiden käyttöönotto- ja kunnossapitotöitä. Sähköverkon suojaus kehittyy jatkuvasti ja uusien asemien rakentamisen lisäksi kunnossapitotöitä on valtavasti, joten laitteelle on varmasti paljon käyttöä tulevaisuudessa. Sähköverkon suojaus oli aiheena itselleni vielä hieman vieras, mutta työtä tehdessäni opin paljon uutta.

LÄHTEET

1. Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot II. Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
2. Vainio, Vesa 2020. SF6: Erinomainen eristekaasu toimii valvotussa ympäristössä. Fingrid-lehti 24.4.2020. Hakupäivä 12.1.2023. <https://www.fingridlehti.fi/sf6-eristekaasu-toimii-valvotusti/>
3. Omicron energy 2023. Company. Hakupäivä 9.1.2023. <https://www.omicronenergy.com/en/company/>
4. Korpinen, Leena. Sähköverkon automaatio ja suojaus. PDF-tiedosto. Hakupäivä 17.2.2023. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automatio_ja_suojaus.pdf
5. Omicron energy 2023. Primary Test Manager (PTM). Hakupäivä 17.3.2023. <https://www.omicronenergy.com/en/products/primary-test-manager-ptm/>
6. Omicron energy 2023. CB-MC2. Hakupäivä 18.3.2023. <https://www.omicronenergy.com/en/products/cb-mc2/>
7. Omicron energy 2023. CB-TN3. Hakupäivä 18.3.2023. <https://www.omicronenergy.com/en/products/cb-tn3/>
8. Omicron energy 2023. Static Contact Resistance (AIS). Hakupäivä 9.5.2023. <https://www.omicronenergy.com/en/solution/static-contact-resistance-ais/>

LIITTEET

Motor Current liite 1

O Dynamic Contact Resistance liite 2

Contact Resistance liite 3

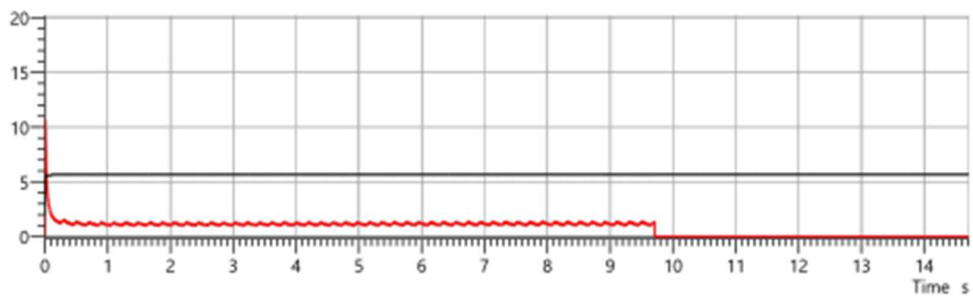
O Dynamic Contact Resistance liite 4

O-CO Dynamic Contact Resistance liite 5

Minimum Pickup liite 6

(2) Motor Current

Execution date/Time	12.4.2023 13.58.10
Motor supply voltage	110,0 V DC
Sample rate	1 kHz



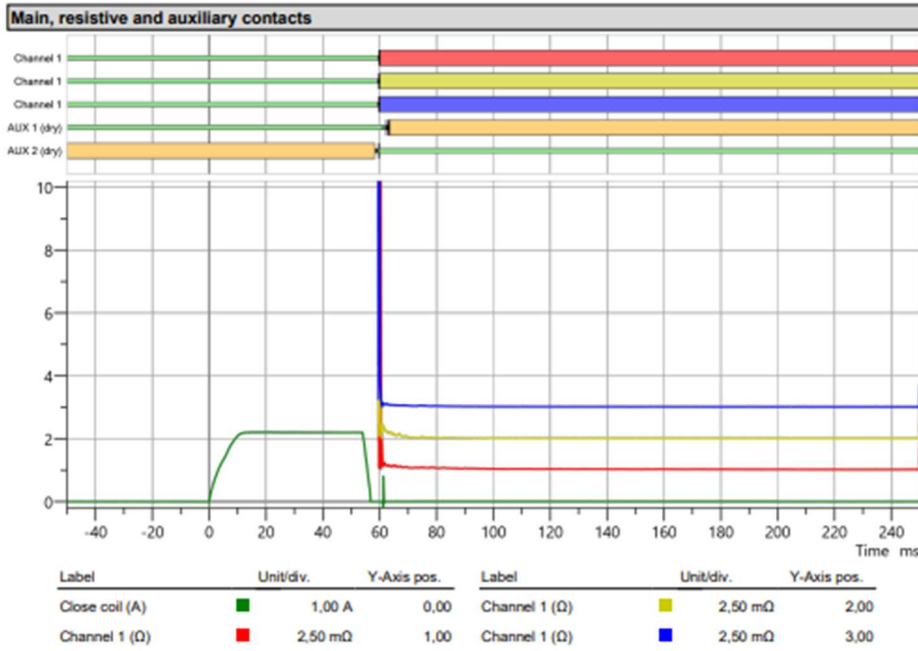
Label	Unit/div.	Y-Axis pos.	Label	Unit/div.	Y-Axis pos.
Motor (A)	■ 1 A	0	Motor (V)	■ 30 V	2

Motor characteristics

	Inrush current	Charging time	Charging current	Minimum voltage	Assessment
Motor	10,62 A	9,71 s	1,15 A	106,31 V	N. rated

Comments

(2) C Dynamic Contact Resistance	
Execution date/Time	12.4.2023 13.58.54
Sequence	C
Coil supply voltage	110,0 V DC
Time calculation	According to IEC 62271-100
CB MC2 settings	
Test current	100,0 A
V DC range	10 V
Sample rate	40 kHz



Operating times

Meas.	Closing time (ms)	Closing sync. (ms)	Assessment
Breaker	59,55	0,15	Pass
A	59,55		Pass
Channel 1	59,55		Pass
B	59,40		Pass
Channel 1	59,40		Pass
C	59,42		Pass
Channel 1	59,42		Pass

Auxiliary contact characteristics

Contact	Phase	Type	Switching Time	Duration	Diff. to main	Assessment
AUX 1 (dry)	all	a	60,92 ms	ms	1,37 ms	N. rated
AUX 2 (dry)	all	b	59,58 ms	ms	0,03 ms	N. rated

Main contact characteristics

Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	0,48 ms	1	N. rated
Channel 1	No data		ms	ms	0,60 ms	1	N. rated
Channel 1	No data		ms	ms	0,55 ms	1	N. rated

Coil characteristics

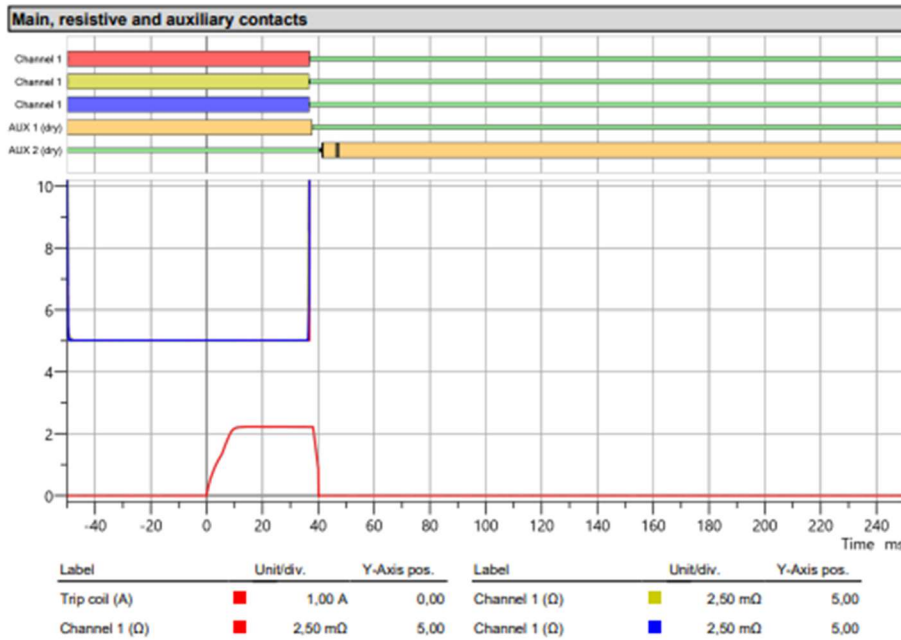
	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Close	2,20	2,02	107,83	53,50	N. rated

(2) Contact Resistance

Execution date/Time	12.4.2023 13:59:42
Test current	100,0 A
Ambient temperature	°C

Channel	Phase	I DC	V DC	R meas	Assessment
Channel 1	A	100,04 A	3,922 mV	39,21 µΩ	N. rated
Channel 1	B	100,01 A	2,193 mV	21,93 µΩ	N. rated
Channel 1	C	99,46 A	3,598 mV	36,08 µΩ	N. rated

(2) O Dynamic Contact Resistance	
Execution date/Time	12.4.2023 14.00.23
Sequence	O
Coil supply voltage	110,0 V DC
Time calculation	According to IEC 62271-100
CB MC2 settings	
Test current	100,0 A
V DC range	10 V
Sample rate	40 kHz



Operating times

Meas.	Opening time (ms)	Opening sync. (ms)	Assessment
Breaker	37,00	0,18	N. rated
A	37,00		N. rated
Channel 1	37,00		N. rated
B	36,82		N. rated
Channel 1	36,82		N. rated
C	36,82		N. rated
Channel 1	36,82		N. rated

Auxiliary contact characteristics

Contact	Phase	Type	Switching Time	Duration	Diff. to main	Assessment
AUX 1 (dry)		a	37,82 ms	ms	0,82 ms	N. rated
AUX 2 (dry)		b	40,32 ms	ms	3,32 ms	N. rated

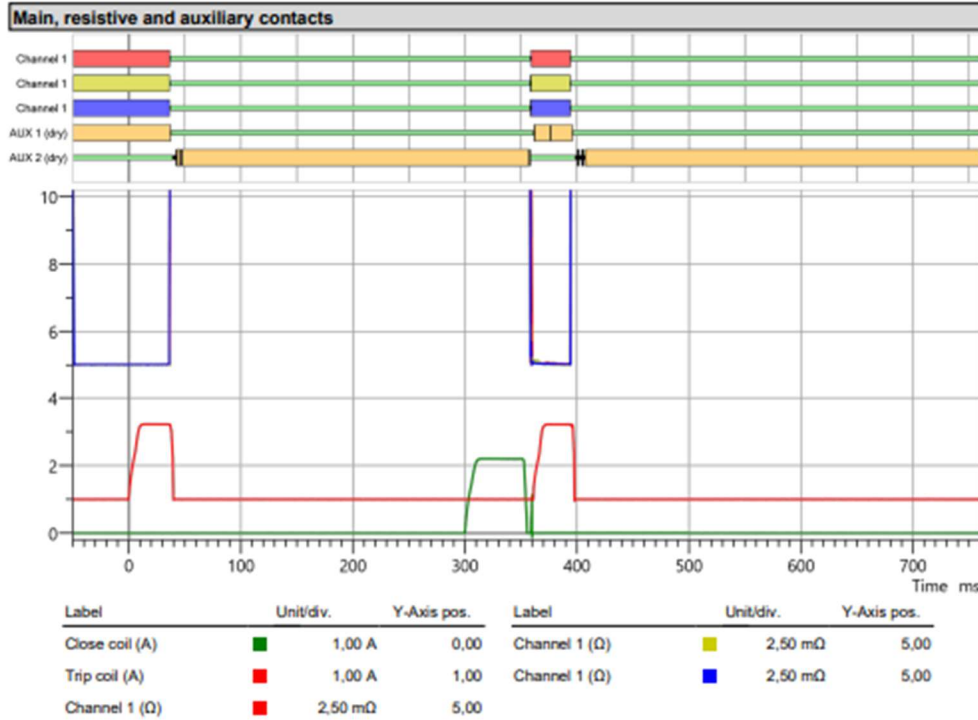
Main contact characteristics

Main contact	Travel data	Contact wipe	Reaction time	PIR close time	Bounce time	Bounce count	Assessment
Channel 1	No data		ms	ms	0,00 ms	0	N. rated
Channel 1	No data		ms	ms	0,13 ms	1	N. rated
Channel 1	No data		ms	ms	0,00 ms	0	N. rated

Coil characteristics

	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Trip A	2,22	2,07	107,73	52,01	N. rated

(2) O-CO Dynamic Contact Resistance	
Execution date/Time	12.4.2023 14.01.50
Sequence	O-CO
Coil supply voltage	110,0 V DC
CB MC2 settings	
Test current	100,0 A
V DC range	10 V
Sample rate	40 kHz



Operating times

Meas.	Opening time (ms)	Opening sync. (ms)	Closing time (ms)	Closing sync. (ms)	Open-Close time (ms)	Close-Open time 1 (ms)	Assessment
Breaker	36,80	0,15	58,35	0,22	321,33	36,50	N. rated
A	36,80		58,35		321,55	36,28	N. rated
Channel 1	36,80		58,35		321,55	36,28	N. rated
B	36,65		58,13		321,48	36,28	N. rated
Channel 1	36,65		58,13		321,48	36,28	N. rated
C	36,65		58,20		321,55	36,30	N. rated
Channel 1	36,65		58,20		321,55	36,30	N. rated

Coil characteristics

	Peak current (A)	Average current (A)	Average voltage (V)	Resistance (Ω)	Assessment
Close	2,20				N. rated
Trip A	2,22				N. rated

(2) Minimum Pickup

Execution date/Time	12.4.2023 14.04.39
Coil supply voltage start	25.0 V
Coil supply voltage end	110.0 V
Coil supply voltage step	5.0 V

No.	Operation	V pickup	Assessment
1	Close	40.00 V	N. rated
2	Trip	35.00 V	N. rated