



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Matias Kekki

OIKOSULKUMOOTTORIN RESISTANSSIMIT-  
TAUKSEN AUTOMATISOINTI TYYPPITES-  
TAUKSESSA

Tekniikka  
2023

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Matias Kekki
Opinnäytetyön nimi	Oikosulkumoottorin resistanssimittauksen automatisointi tyyppitestauksessa
Vuosi	2023
Kieli	suomi
Sivumäärä	50 + 3 liitettä
Ohjaaja	Marko Iskala

---

Opinnäytetyön aiheena on suunnitella, rakentaa ja toteuttaa oikosulkumoottorin resistanssimittauksen automatisointi tyyppitestauksessa. Opinnäytetyön tarkoitus on korvata automatisoinnilla tyyppitestauksessa manuaalisesti suoritettavat resistanssimittaukset sekä tehdä resistanssimittauksesta turvallisempaa ja jouhevampaa koestajalle. Opinnäytetyö tehtiin ABB IEC LV Motorsille.

Työssä käsitellään oikosulkumoottorin teoriaa, resistanssimittauksia ja sen automatisointia. Automaatio toteutetaan kytkentäreleillä ja IO-ohjauksilla. Vastusmittarin resistanssimittausten tiedonsiirto toteutetaan RS232-sarjaportilta mittausohjelmaan. Tietoja kerättiin standardeista, internetistä, kirjallisuudesta ja ABB:n ohjeista.

Lopputuloksena saatiin resistanssimittauksen automatisointi tehtyä teoriatasolla, sekä toimiva mittausdemo, jolla saa standardinmukaisia koestuslaboratoriossa suoritettavia mittauksia.

---

Avainsanat                      oikosulkumoottori, resistanssimittaus, automatisointi

## ABSTRACT

Author	Matias Kekki
Title	Automation of the Resistance Measurement in Type Testing of a Squirrel Cage Motor
Year	2023
Language	Finnish
Pages	50 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Marko Iskala

---

The topic of the thesis is to design, build and implement the automation of the resistance measurement in the type testing of a squirrel cage motor. The purpose of the thesis is to replace the resistance measurements performed manually by automation in type testing and to make the resistance measurement safer and smoother for the tester. The thesis was done for ABB IEC LV Motors.

The thesis deals with the theory of a squirrel cage motors, resistance measurements and its automation. The automation of resistance measurement was designed to be implemented with interface relays and IO controls. The transfer of the measurement data of the resistance meter is implemented from the RS-232 serial gate to the measurement program. Data was collected from standards, the Internet, literature, and ABB guidelines.

The result is the automation of resistance measurement done in theory, as well as a functional measurement demonstration to complete standardized testing laboratory measurements.

---

Keywords	Squirrel cage motor, resistance measurement and automation.
----------	---

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO.....	8
2	OIKOSULKUMOOTTORI.....	10
	2.1 Rakenne .....	11
	2.2 Sijaiskytkentä .....	12
	2.3 Miten resistanssi näkyy moottorimallissa .....	16
	2.4 Lämpötilariippuvuus .....	17
	2.5 Miten resistanssi vaikuttaa arvoihin .....	18
3	LAITTEET .....	21
	3.1 Siltamittari.....	21
	3.2 Käytetyt ohjelmat .....	23
	3.2.1 Käyttöliittymä.....	23
	3.2.2 Mittausohjelma.....	23
	3.3 Mittalaitteet.....	24
	3.4 Testipaikka TP23 .....	25
4	OIKOSULKUMOOTTORIN RESISTANSSIMITTAUS TYYPPITESTAUKSESSA .....	27
	4.1 Mittaus manuaalisesti.....	28
	4.2 Mittaustarkkuudet ja tilastollinen käsittely.....	29
	4.2.1 Mittausepävarmuuden määrittäminen hyötysuhteen testauksessa.....	31
5	MITTAUKSEN AUTOMATISOINTI .....	33
	5.1 Resistanssimittausdemon rakentaminen ja toteuttaminen.....	33
	5.1.1 Projektin aloitus .....	33
	5.1.2 Komponenttien tilaaminen ja valinta .....	34
	5.1.3 Demoversion rakentaminen ja toteuttaminen.....	35

5.1.4	Mittauksen siirtäminen alkupäähän .....	42
5.2	Automaatio .....	46
5.2.1	Mittaaminen automaatiolla .....	46
5.2.2	Tulosten siirto MotLab-ohjelmaan.....	48
6	POHDINTA.....	49
	LÄHTEET .....	50
	LIITTEET .....	51

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne.....	12
Kuva 2. Moottorin sijaiskytkentä .....	12
Kuva 3. Staattoriresistanssin mittaaminen valmiiksi kytketystä moottorista . ....	16
Kuva 4. Erään moottorin lämpökäyrä lämpöajossa . .....	18
Kuva 5. Erään moottorin jäähtymäkäyrä. ....	19
Kuva 6. Siltamittari .....	22
Kuva 7. Käyttöliittymä. ....	23
Kuva 8. MotLab-mittausohjelma.....	24
Kuva 9. Testipaikan jakelukaavio .....	25
Kuva 10. Koestuskeskus .....	26
Kuva 11. Tyypititestit.....	28
Kuva 12. Mittaustavan testaaminen .....	34
Kuva 13. Oikosulkumoottorin resistanssimittaus .....	36
Kuva 14. Kylmävastusarvojen mittaaminen kytkentälaatikolla.....	37
Kuva 15. Lämpötilapiirturin lämpökäyrät oikosulkumoottorin eri kohdista .....	39
Kuva 16. Moottorin jäähtymäkäyrä .....	40
Kuva 17. Osakuormatestin tulokset .....	40
Kuva 18. Moottorin tyhjäkäyntitestin tulokset .....	41
Kuva 19. Valmis demo .....	42
Kuva 20. Resistanssimittaus syöttökaapelin alkupäästä.....	43
Kuva 21. Oikosulkumoottorin kytkentä kaapelin nollaamisessa .....	44
Kuva 22. Vanhat ja uudet moottorin syöttökaapelit .....	45
Kuva 23. Moottorin syöttökaapelin lämpenemä .....	46
Kuva 24. Testipaikan rakenne automatisoidussa resistanssimittauksessa.....	48

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Releen datalehti

**LIITE 2.** Cropico-siltamittarin datalehti

**LIITE 3.** Osaluettelo

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään ABB IEC LV Motorsin toimeksiannosta. Opinnäytetyön tarkoitus on korvata automatisoinnilla oikosulkumoottorin tyyppitestauksessa manuaalisesti suoritettavat resistanssimittaukset sekä tehdä resistanssimittauksesta turvallisempaa ja jouhevampaa koestajalle. Opinnäytetyössä esitellään rakennettu mittausdemo, jolla toteutetaan resistanssimittauksia sekä kerrotaan teoriassa miten resistanssimittauksen automatisointi tapahtuu.

Opinnäytetyön toisessa luvussa lukija saa käsityksen oikosulkumoottorin toiminnasta, rakenteesta sekä oikosulkumoottorin lämpötilariippuvuudesta. Toisessa luvussa kerrotaan myös miten resistanssi näkyy moottorimallissa ja miten resistanssi vaikuttaa arvoihin. Kolmannessa luvussa tutustutaan testilaboratoriossa käytettäviin mittalaitteisiin, ohjelmiin ja koestuskeskukseen. Neljännessä luvussa tutustutaan resistanssimittaukseen tyyppitestaukseen manuaalisesti. Luvun muita aiheita ovat tyyppitestauksen mittaustarkkuudet ja mittausepävarmuudet. Viidennessä luvussa esitellään resistanssimittauksen automatisointiin liittyviä käytännön asioita, teoriaa ja tuloksia.

ABB Oy on yksi teknologiajohtajista sähköistämisessä ja automaatiassa. ABB:llä on liiketoimintaa yli 100 maassa. Yritys työllistää maailmanlaajuisesti 105 000 henkilöä. Suomessa ABB työllistää 5000 henkilöä 20 paikkakunnalla, ollen näin yksi Suomen suurimmista teollisista työnantajista. ABB Motors & Generators on yksi ABB Oy:n divisiooniin jakaantuneista liiketoimintayksiköistä. Motors & Generators-yksikkö valmistaa moottoreita ja generaattoreita kaikille teollisuudenaloille ja kaikkiin sovelluksiin asiakaskohtaisten vaatimusten mukaisesti. Suomessa tehtaat ovat Helsingissä ja Vaasassa. LV-moottoreiden kehityksestä ja valmistamisesta vastaa



kaksi Vaasan tehdasta. Moottorit, joita Vaasassa valmistetaan, ovat suurimmaksi osaksi suunniteltu räjähdysvaarallisiin tiloihin.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> ABB Oy:n verkkosivut. 2023. ABB Suomessa.

## 2 OIKOSULKUMOOTTORI

Oikosulkumoottori on teollisuudessa yleisin käytetty vaihtovirtasähkömoottorityyppi. Nikola Tesla keksi sen periaatteen vuonna 1888. Oikosulkumoottorien teollinen tuotanto alkoi ABB:llä 1920-luvulla. Perusrakenne oikosulkumoottoreilla on säilynyt edelleen vuodesta 1888 aina nykypäivään asti. Yleisimmät käyttökohteet moottoreille ovat erilaiset puhaltimet, pumput, nostimet, työkoneet ja kuljettimet.

Oikosulkumoottori on luotettava ja suosittu voimalähde, koska se on edullinen, taloudellinen, huoltovapaa ja helposti saatavissa. Oikosulkumoottori toimii luotettavasti ilman huoltoa erittäin vaativissa ympäristöolosuhteissa, kuten kosteissa ja pölyisissä tiloissa. Oikosulkumoottoria voidaan käyttää myös räjähdysvaarallisissa tiloissa. Etuna tasavirtamoottoriin on yksinkertaisempi rakenne ja pienempi koko.<sup>2</sup>

Oikosulkumoottoreiden pääjako suoritetaan vaiheluvun tai roottorirakenteen mukaan yksi- ja kolmivaiheiseen oikosulkumoottoriin. Yksivaihemoottoria käytetään, jos kolmivaiheverkkoa ei ole saatavilla tai moottorin koko on pieni, joilla saadaan riittävän hyvä pyörivä kenttä. Yksivaihemoottorit jaetaan vielä kondensaattori-, sulkunapa- ja vastusmoottoreiksi. Kolmivaiheista oikosulkumoottoria käytetään syöttämällä verkosta kolmivaihevirtaa tai taajuusmuuttajan avulla.<sup>3</sup>

Roottorin navat ovat keskenään oikosuljettuja, mistä tulee nimitys oikosulkumoottori. Oikosulkumoottorin toinen nimitys on epätahtimoottori. Staattorin magneet-

---

<sup>2</sup> Kauppila, J. & Ylinen, T. 2017. Sähköasennukset 3.

<sup>3</sup> Verkkonen, V. 2017. Sähkömoottorikäytöt 2 epätahtikoneet

tikentän pyörimisnopeus on aina suurempi, kuin roottorin pyörimisnopeus. Magneettikentän muodostamiseen tarvittavan loisivirran ja -tehon moottori ottaa aina verkosta.<sup>4</sup>

## 2.1 Rakenne

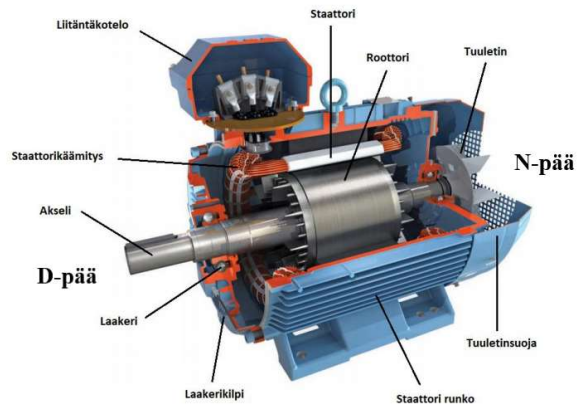
Oikosulkumoottorin rakenne on yksinkertainen. Oikosulkumoottorissa ei ole erillistä magnetointikäymistä, kuten tasavirta- tai tahtimoottorissa, vaan yksinkertaiset staattori- ja roottorikäymykset. Staattori koostuu pinotuista samanmuotoisista vähähäviöisistä sähkölevyistä, jotka on liitetty toisiinsa metallisella sidontanauhalla sekä puristamalla. Staattorin uriin on eristettyä kuparilangasta kiidottu staattorikäymys, johon syötettävä virta tuottaa ympärilleen magneettikentän. Staattorissa on uraeriste eristämään staattorikäymien staattorin metallirungosta sekä vaiheväliseriste eristämään vaihejohtimet toisistaan. Roottori on staattorin sisällä kiinnittyneenä moottorin akseliin. Roottori koostuu päissä olevista oikosulkurenkaista, pinotuista teräslaminaateista, jota ympäröi häkkikäymys.

Oikosulkumoottori rakennetaan puristamalla staattori staattorirunkoon kiinni. Seuraavaksi tehdään sisäiset liitännät liitäntäkoteloon. Roottori on staattoriaukossa rulla-, kuula- tai liukulaakereiden kannattelussa. Laakerit ovat kiinnitettynä laakerikilpiin. Roottorin ja staattorin välissä on pieni ilmaväli, jotta roottori voi pyöriä laakereiden varassa. Staattorirungon päihin on kiinnitettynä laakerikilvet. Tuuletin N-päässä estää moottorin ylikuumenemista.<sup>5</sup> Oikosulkumoottorin rakenne esitetty kuvassa 1.

---

<sup>4</sup> Verkkonen, V. 2017. Sähkömoottorikäytöt 2 epätahtikoneet

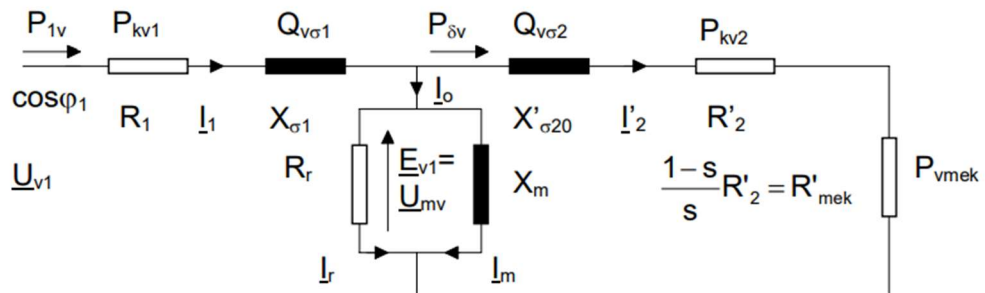
<sup>5</sup> Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet (1.painos).



**Kuva 1.** Oikosulkumoottorin rakenne.<sup>6</sup>

## 2.2 Sijaiskytkentä

Oikosulkumoottorille voidaan muodostaa sijaiskytkentä, jotta voidaan tarkastella sen ominaisuuksia tarkemmin. Sijaiskytkentä tehdään aina tähtikytkentäisestä moottorista 1-vaiheisena.



**Kuva 2.** Moottorin sijaiskytkentä

<sup>6</sup> ABB Oy. 2019. Low voltage motors Motor guide.

Sijaiskytkennästä lasketaan kaikkien haarojen virran yhtälöllä:

$$I_1 = I_0 + I'_2, I_0 = I_r + I_m \quad (1)$$

jossa,

$I_0$  = tyhjäkäyntivirta,  $I'_2$  = redusoitu vaihevirta,  $I_r$  = rautahäviöitä aiheuttava virtakomponentti ja  $I_m$  = magnetointivirta

Resistanssin ja reaktanssin jännitehäviöt voidaan laskea, kun virrat ovat tiedossa. Päästään ensiön jännitehäviöön ja magnetointijännitteeseen, josta saadaan yhtälö

$$U_{v1} = I_1(R_1 + jX_{\sigma1}) + U_{mv} \quad (2)$$

jossa,

$I_1$  = vaihevirta,  $R_1$  = staattorin resistanssi,  $X_{\sigma1}$  = staattorin hajareaktanssi ja  $U_{mv}$  = magnetointijännite

Ensiön jännitehäviö pienentää moottorin magnetointijännitettä.

Sijaiskytkennästä saadaan seuraavat yhtälöt, joista saadaan selvitettyä moottorin pätötehot ja loistehot.

Saadaan ilmväliteholle yhtälö

$$P_\delta = 3I_1^2 \frac{R'_2}{s} \quad (3)$$

jossa,

$I$  = virta,  $R'_2$  = roottorin ensiöön redusoitu resistanssi ja  $s$  = jättämä

Staattorin tehohäviölle yhtälö

$$P_{k1} = 3I_1^2 R_1 \quad (4)$$

jossa,

$I_1$  = yksivaihevirta ja  $R_1$  = staattorin resistanssi

Roottorin tehohäviölle yhtälö

$$P_{k2} = 3I_2'^2 R_2' \quad (5)$$

jossa,

$I_2'$  = redusoitu vaihevirta ja  $R_2'$  = roottorin ensiöön redusoitu resistanssi

Mekaaniselle teholle yhtälö

$$P_{mek} = 3 \frac{1-s}{s} R_2' I_2'^2 \quad (6)$$

jossa,

$s$  = jättämä,  $R_2'$  = roottorin ensiöön redusoitu resistanssi ja  $I_2'$  = redusoitu vaihevirta

Verkosta otetulle teholle yhtälö

$$P_1 = 3U_{v1} I_1 \cos\varphi_1 \quad (7)$$

jossa,

$U_{v1}$  = vaihejännite,  $I_1$  = vaihevirta ja  $\cos\varphi_1$  = moottorin tehokerroin

Staattorin loisteholle yhtälö

$$Q_{\sigma 1} = 3I_1^2 X_{\sigma 1} \quad (8)$$

jossa,

$I_1$  = vaihevirta ja  $X_{\sigma 1}$  = staattorin hajareaktanssi

Roottorin loisteholle yhtälö

$$Q_{\sigma 2} = 3I_1'^2 X_{\sigma 20}' \quad (9)$$

jossa,

$I_1'$  = redusoitu vaihevirta ja  $X_{\sigma 20}'$  = roottorin hajareaktanssi pyörimisnopeudella 0

Magnetoinnin ottamalle loisteholle yhtälö

$$Q_m = 3I_m^2 X_m = \frac{3U_{mv}^2}{X_m} \quad (10)$$

jossa,

$I_m$  = magnetointivirta,  $X_m$  = magnetointireaktanssi ja  $U_{mv}$  = magnetointijännite

Osatehot yhteen laskemalla saadaan verkosta otetut pätötehot ja loistehot.

Moottorin tehokertoimelle edellisistä tehoista yhtälö

$$\cos \varphi_1 = \frac{\Sigma P}{\sqrt{\Sigma P^2 + \Sigma Q^2}} \quad (11)$$

jossa,

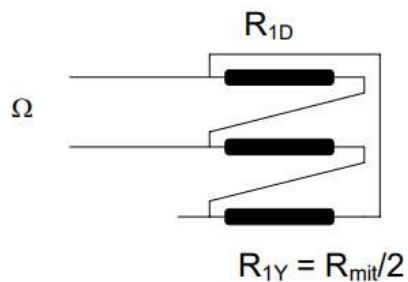
$\Sigma P$  = sijaiskytkennän pätötehot ja  $\Sigma Q$  = sijaiskytkennän loistehot.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Verkkonen, V. 2017. Sähkömoottorikäytöt 2 epätahtikoneet.

### 2.3 Miten resistanssi näkyy moottorimallissa

Edellisessä kappaleessa todettiin, että sijaiskytkentä tehdään tähtikytkentäisestä moottorista 1-vaiheisena. Tähtikytkennän vaiheresistanssin arvo  $R_1$  täytyy silloin selvittää. Tasajännitteen ja tasavirran avulla tai resistiivisellä siltamittarilla voidaan selvittää käämin resistanssin tarkka arvo. Vaihtovirtaresistanssi on tasavirtaresistanssia hieman suurempi, joka riippuu mm. johtimen paksuudesta. Tasavirtaresistanssia voidaan kuitenkin käyttää riittävällä tarkkuudella. Standardin mukainen mittaus on, että staattoriresistanssi mitataan valmiiksi kytketystä moottorista, joka esitetään kuvassa 3. Kuvassa on tehty kolmiotähtimuunnos.



**Kuva 3.** Staattoriresistanssin mittaaminen valmiiksi kytketystä moottorissa.

Jos resistanssit määritetään tasavirran avulla mittaamalla jännite ja virta, saadaan yhtälö

$$R_{mit} = \frac{U}{I} \quad (12)$$

jossa,

$U$  = jännite ja  $I$  = virta

Moottorille tehtävän standardinmukaisen tähti- tai kolmiokytketyn staattorin resistanssin arvo on  $\frac{R_{mit}}{2}$ .

Kolmioon kytketyn staattorin vastuksen arvo saadaan yhtälöllä



$$R_{mit} = \frac{R_{1D} * 2R_{1D}}{3R_{1D}} = \frac{2}{3}R_{1D} \rightarrow R_{1D} = \frac{3}{2}R_{mit} \rightarrow R_{1Y} = \frac{R_{1D}}{3} = \frac{R_{mit}}{2} \quad (13)$$

jossa,

$R_{1D}$  = vastusarvo kolmiokytkennässä

Käämiresistanssissa tulee ottaa huomioon lämpötilan vaikutus, jolle yleensä pätee sääntö, että puhtaalle metallille 100 asteen lämpötilan muutos aiheuttaa 40 % muutoksen vastusarvoon, jota voidaan soveltaa kuparitangoista tehtyyn roottoriin. Sääntö ei kuitenkaan päde alumiiniseoksesta valettuihin roottoreihin, koska sen lämpötilariippuvuus on kiinni seosaineesta.<sup>8</sup>

## 2.4 Lämpötilariippuvuus

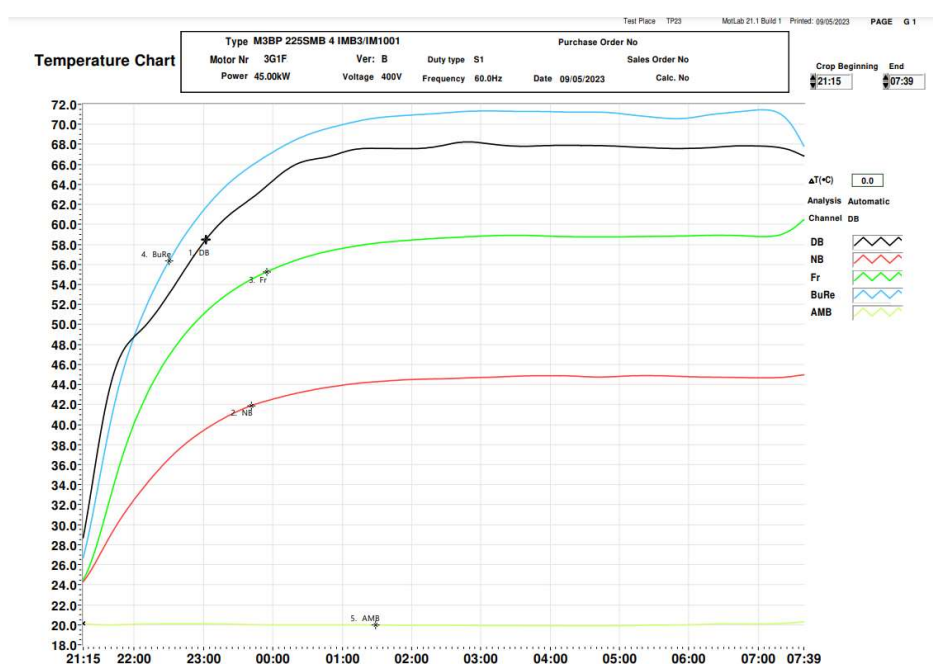
Oikosulkumoottorin lämpötilariippuvuutta on helpointa arvioida käytännön testien kautta suorittamalla ensin lämpöajotesti ja sitten osakuormatesti. Lämpöajotestin tarkoituksena on määrittää moottorin käämin, laakerien ja rungon loppulämpötila halutulla teholla. Roottorin lämpötilaa mitataan myös joillakin vaarallisten tilojen Ex-luokituksen omaavilla moottoreilla. Lämpöajossa testipenkin jarrumoottori toimii kuormana, jota testattava moottori halutulla momentilla pyörittää. Lämpöajotestin aikana lämpötilojen lisäksi muita mitattavia suureita ovat, jännite, taajuus, virta, virran symmetrian tasapaino, sähköinen teho, mekaaninen teho, tehokerroin, vääntömomentti ja pyörimisnopeus. Moottori saavuttaa standardin IEC 60034-1 mukaisen loppulämpötilan, kun moottoria mittaavien lämpötila-antureiden lämpötila ei 30 minuutin aikana nouse tai laske 1 Kelviniä. Vast tämän jälkeen moottori voidaan pysäyttää ja mitata U-W vaihevälistä resistanssi

---

<sup>8</sup> Verkkonen, V. 2017. Sähkömoottorikäytöt 2 epätahtikoneet.

standardin IEC 60034-1 mukaisesti. Lämpöajon vastusarvoista saadaan jäähtymiskäyrä.

Moottorin hyötysuhde paranee moottorin lämmitessä loppulämpötilaansa. Kuvasta 4 nähdään, että moottori on käynnistetty kello 21.15 ja se on saavuttanut loppulämpötilansa n. kello 04.00. Moottori on pysäytetty kello 07.39 osakuormatestiä varten. Moottorille on kiinnitetty eri paikkoihin termoparikaapeleita, jotta lämpötilaa pysytään seuraamaan.



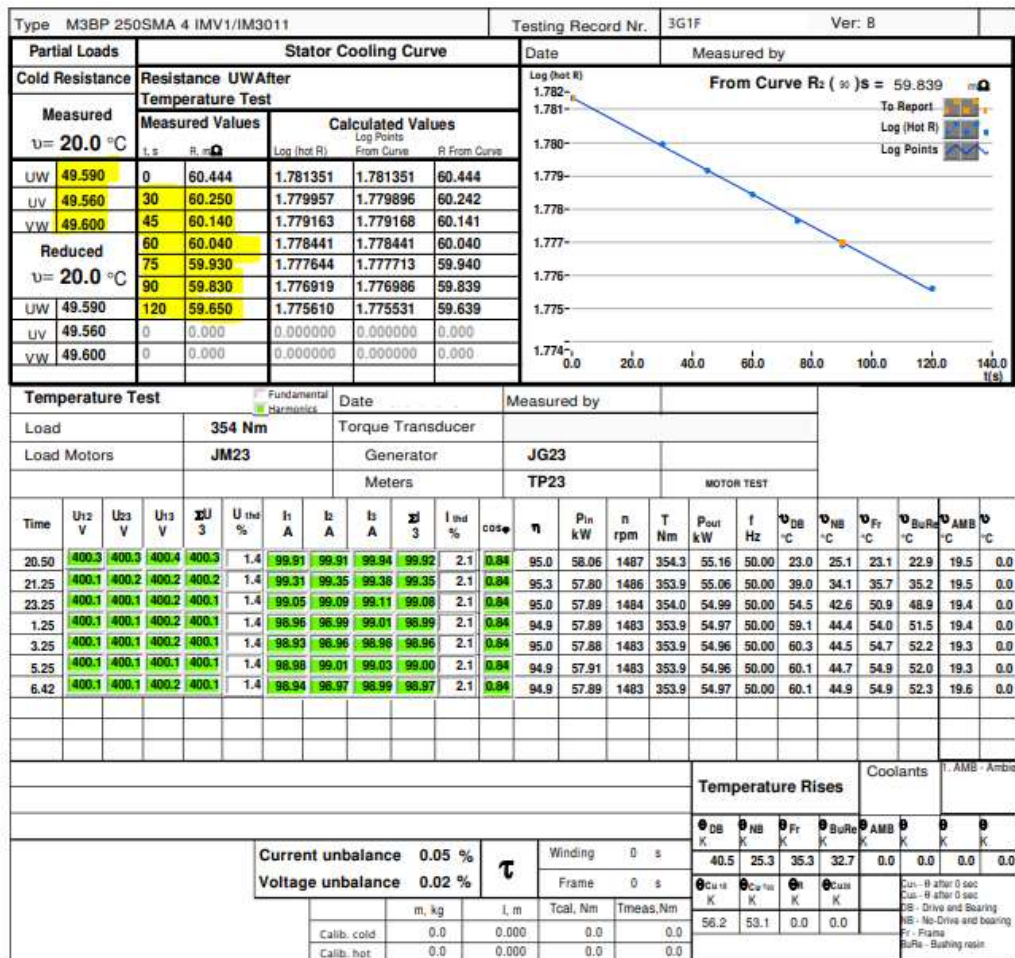
**Kuva 4.** Erään moottorin lämpökäyrä lämpöajossa

## 2.5 Miten resistanssi vaikuttaa arvoihin

Resistanssin vaikutusta arvoihin voidaan tarkastella jäähtymäkäyrän avulla. Jäähtymäkäyrä mitataan heti lämpöajotestin perään. Moottori pysäytetään automaation käyttöliittymästä, jolloin taajuusmuuttajaohjaus jarruttaa moottorin pyörimisnopeuden nolnaan. Moottorin jarrutus tapahtuu vastamomentin avulla. Taajuusmuuttaja kytkee jarrumoottorin pois verkosta, kun jarrumoottori on taajuusmuuttajaohjauksen perusteella pysähtynyt. Koestaja toteaa, että moottorin akseli on pysähtynyt ja testaa moottorin jännitteettömyyden jännitteenkoettimella.

Edellisten vaiheiden jälkeen koestaja mittaa resistanssin siltamittarilla moottorin navoilta. Koestaja kirjaa siltamittarin näytöstä lukemat tiettyinä ajan hetkinä katsomalla ne sekuntikellosta. Luotettavia mittaustuloksia saadaan yleensä vasta 30 sekunnin kuluttua pysäytyksestä, koska moottorilla on jäännösvirtoja pysäytyksen jälkeen.

Standardissa IEC 60034-1 määritetään, että resistanssi mitataan vaihevälisestä U-W. Ajanhetket ovat 30, 45, 60, 75, 90 ja 120 sekunnin kuluttua moottorin pysäytyksestä.



Kuva 5. Erään moottorin jäähtymäkäyrä

Kuvasta 5 näemme vasemmalta ensimmäisenä mitatut kylmävastusarvot. Kohdasta "Resistance UW After temperature Test" näemme mitatut resistanssiarvot

kun moottori on pysäytetty. Arvot on muutettu logaritmisiksi ja niistä on muodostettu jäähtymäkäyrä, jonka Y-akselilla on logaritmisiksi muutetut mitatut arvot ja X-akselilla näkyy ajanhetki.

Näillä tiedoilla saadaan muodostettua jäähtymäkäyrä, josta voidaan todeta, että resistanssi laskee tasaisesti lämpenemän kanssa ajan hetken kasvaessa. Vastavasti taas moottorin lämmitessä resistanssi kasvaa.

### 3 LAITTEET

Koestuslaboratoriossa on käytössä erilaisia mittareita ja ohjelmia tyyppitestausten suorittamiseen, jotka esitellään tässä luvussa.

#### 3.1 Siltamittari

Testipaikalla on käytössä siltamittarina mikro-ohmimittari tyyppiltään *Cropico Microhrometer DO5000*. Siltamittari on vuodelta 2009 ja se toimii ainoastaan verkkovirralla, suurin mittaustiheys on 50 mittausta sekunnissa ja varastoi 4000 mittausta aikaleimalla.<sup>9</sup> Siltamittarin mittaustarkkuudet esitetty taulukossa 1. Siltamittari esitetty kuvassa 6.

**Taulukko 1.** Siltamittarin mittaustarkkuudet

Mittausalue	Maks.Virta	Resoluutio	Tarkkuus näyttämästä
30k $\Omega$	100 $\mu$ A	1 $\Omega$	$\pm(0.03\%Rdg+0.02\%FS)$
3k $\Omega$	1mA	100m $\Omega$	$\pm(0.03\%Rdg+0.01\%FS)$
300 $\Omega$	10mA	10m $\Omega$	$\pm(0.03\%Rdg+0.01\%FS)$
30 $\Omega$	100mA	1m $\Omega$	$\pm(0.03\%Rdg+0.01\%FS)$
3 $\Omega$	1A	100 $\mu\Omega$	$\pm(0.03\%Rdg+0.01\%FS)$
200m $\Omega$	10A	10 $\mu\Omega$	$\pm(0.03\%Rdg+0.01\%FS)$
30m $\Omega$	10A	1 $\mu\Omega$	$\pm(0.03\%Rdg+0.01\%FS)$
3m $\Omega$	10A	100n $\Omega$	$\pm(0.03\%Rdg+0.02\%FS)$

---

<sup>9</sup> Cropico. 2011. Microhrometer Type DO500 Series Operation Instructions.



Kuva 6. Siltamittari

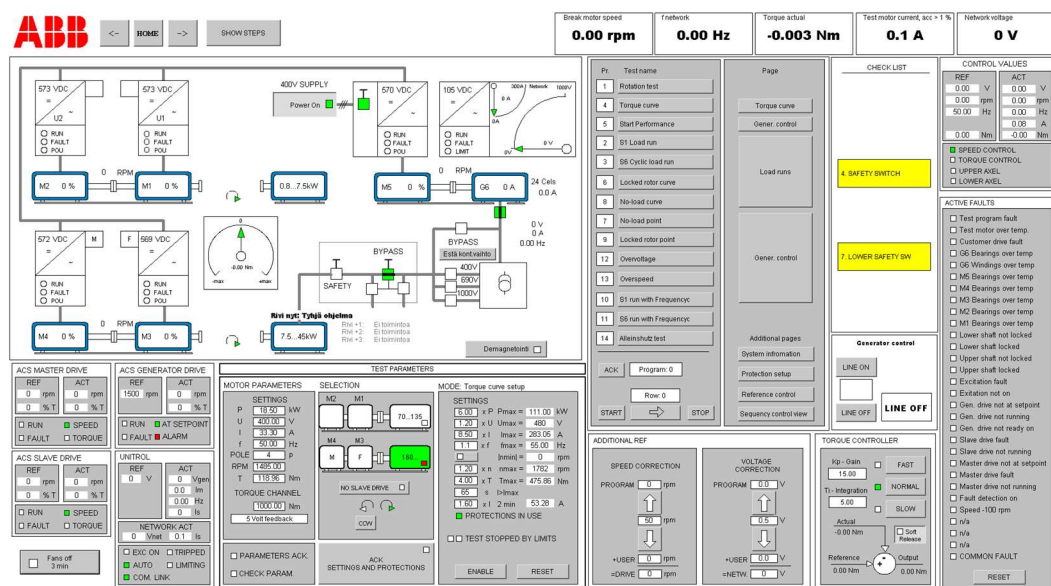
## 3.2 Käytetyt ohjelmat

Koestuslaboratoriossa käytettävät käyttöliittymä, mittausohjelma, mittalaitteet ja testipaikka 23 esitellään tässä kappaleessa.

### 3.2.1 Käyttöliittymä

Testipaikalla on ABB:n oma käyttöliittymä, josta koestaja hallitsee testipaikkaa tietokoneelta.

ABB:n automaatio-ohjelma valitsee generaattorin kytkennän ja suojausasetukset sopiviksi moottorin kilpiarvojen ja jokaisen testin pohjalta. Käytettävää syöttöä automaatio ei valitse koestajan puolesta, eikä myöskään ohjaa ilmaerottimen asentoa. Käyttöliittymä esitetty kuvassa 7.



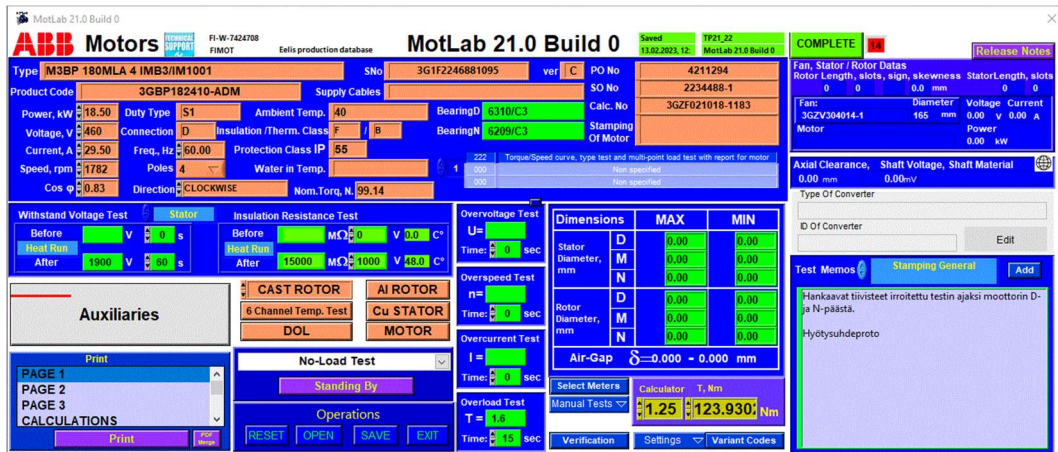
Kuva 7. Käyttöliittymä

### 3.2.2 Mittausohjelma

Testipaikalla on käytössä MotLab-mittausohjelma. Mittausohjelma lukee mittalaitteita ja kerää mittalaitteista saatavan mittausdatan. Mittalaitteista saatavat



tulokset kirjataan manuaalisesti Motlab-mittausohjelmaan, jonka jälkeen mittausohjelma luo mittauksista koestuspöytäkirjan. MotLab-mittausohjelma esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. MotLab-mittausohjelma.

### 3.3 Mittalaitteet

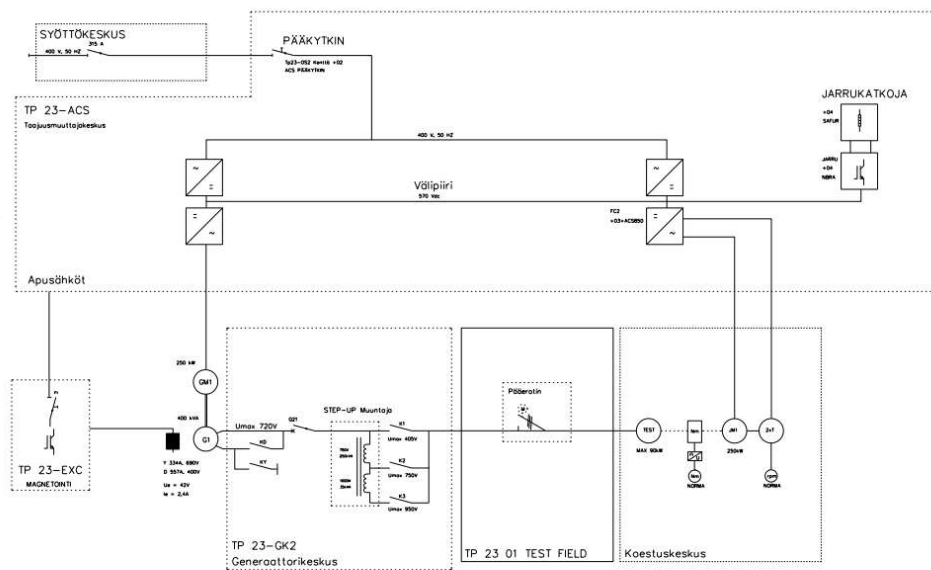
Testipaikalla on käytössä useita mittalaitteita. Fluke Norma 4000- tehoanalysointilaitteita käytetään mittaamaan verkon taajuuden, moottorin vaihejännitteet, moottorin vaihevirratt, moottorin tuottaman momentin, moottorin verkosta ottaman tehon, pyörimisnopeuden sekä tehokertoimen.

Muita käytettäviä mittalaitteita ovat teholähde Yokogawa GS200 DC Voltage/Current Source, megaohmimittari Sefelec SE6541, lämpöpiirturi Yokogawa MV2000 ja momenttianturi Magtrol.



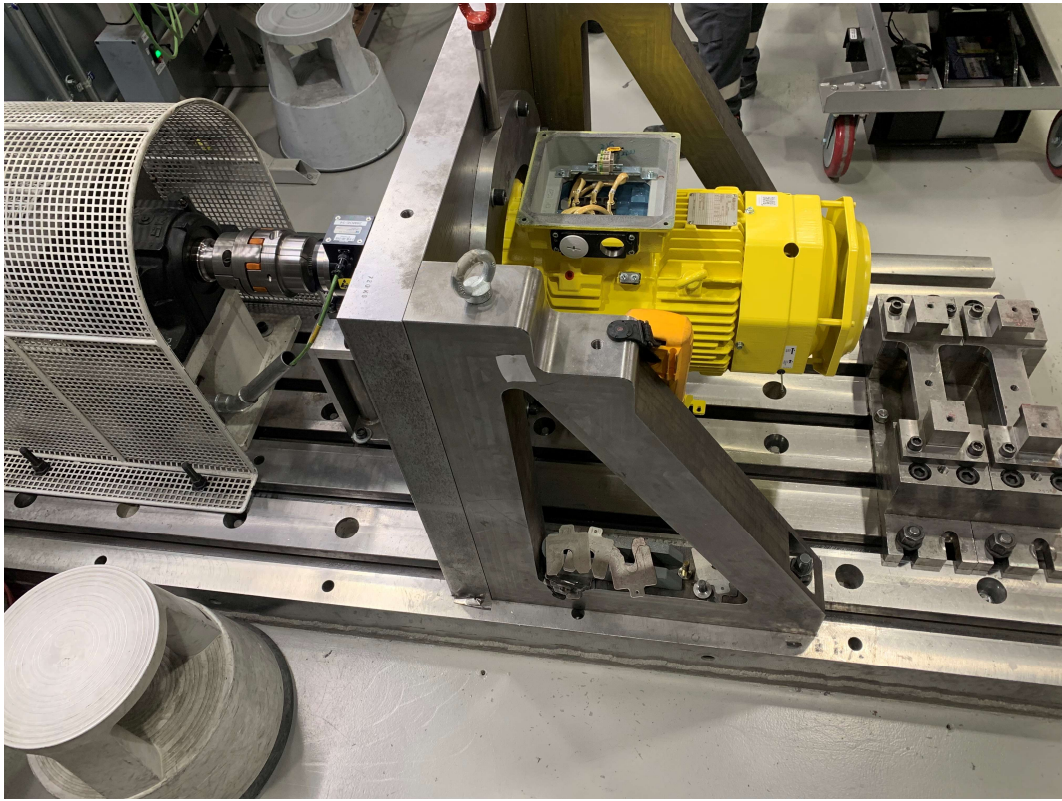
### 3.4 Testipaikka TP23

Testipaikalla suoritetaan IEC- standardien mukaisia testejä. Testipaikka koostuu syöttö-, magnetointi -, taajuusmuuttaja-, koestus- ja generaattorikeskuksesta. Koestuspaikan syöttöpisteenä toimii syöttökeskus, josta lähtee liitäntä taajuusmuuttajakeskukseen, mihin on kytketty jarrumoottori ja generaattori. Apusähkömittalaitteille, automaatiolle ja magnetoinnille saadaan taajuusmuuttajakeskuksesta. Testipaikan pääkytkin on sijoitettu taajuusmuuttajakeskukseen. Generaattorin kytkentä valitaan generaattorikeskuksesta ja sopiva jännitealueen valinta tapahtuu Step-up muuntajalta.



Kuva 9. Testipaikan jakelukaavio

Koestuskeskuksessa on testattava moottori, jarrumoottori ja momenttianturi. Jarrumoottori ja testattava moottori kiinnitetään niiden välissä olevaan momenttianturiin. Koestuskeskus esitetty kuvassa 10.



**Kuva 10.** Koestuskeskus

#### **4 OIKOSULKUMOOTTORIN RESISTANSSIMITTAUS TYYPPIESTAUSSA**

Moottorille tehdään erilaisia tyyppitestejä, jotta saadaan selvitettyä moottorin sähköiset ominaisuudet ja saadaan tietoa käyttöturvallisuudesta. Kaikki testit esitetään kuvassa 11. Tässä luvussa esitetään oikosulkumoottorin resistanssimittaukset tyyppitestauksessa. Resistanssia mitataan yhteensä viisi kertaa, kylmävastusmittaus, vastusmittaus lämpöajon jälkeen, osakuormien jälkeen sekä ennen ja jälkeen tyhjäkäyntitestin.



Kuva 11. Tyypit testit<sup>10</sup>

#### 4.1 Mittaus manuaalisesti

Ensimmäisenä testinä on kylmävastusmittaus, kun moottori on asennettu koestusalustaan. Ennen moottorin käynnistymistä mitataan kylmävastusmittauksessa käämien resistanssit ympäristön lämpötilassa. Kylmävastusmittauksen tarkoitus on varmistaa, että vaiheet on liitetty symmetrisesti ja käämit on liitetty oikein. Mitataan tarkka kylmävastusarvo, jotta lämpötilan nousu voidaan määrittää

<sup>10</sup> ABB Oy. 2021. Witness Type Test Procedure at FAT.

lämpöajon jälkeen. Vastusarvot mitataan vaiheväleistä U-V, U-W ja U-W. Silta-mittarilla mitataan vastusarvot nelijohdinmenetelmällä, jonka jälkeen mitattuja arvoja verrataan teoreettisesti laskettuihin arvoihin. Nelijohdinmenetelmää käytetään eliminoidakseen vuotovirran vaikutuksen resistanssimittauksessa. Hauenleuoilla varustetut mittapäät irrotetaan mittauksen jälkeen moottorista, koska vastusmittalaite ei kestä moottorin käynnistyksessä syntyviä virtoja.

Moottorin lämpöajotestin jälkeen mitataan jäähtymiskäyrä. Vastusarvo mitataan yhdestä vaihevälistä. Vastusarvo mitataan 30, 45, 60, 75, 90, 120, 150, 180 sekunnin päästä pysähtymisestä. Lämpöajotestin jälkeen mitattuja vastusarvoja hyödynnetään lämpenemän määrittämisessä.

Koestaja mittaa vielä vastusarvon vaihevälistä U-W osakuormatestin jälkeen. Samaa menetelmää käyttäen mitataan vielä ennen ja jälkeen tyhjäkäyntitestin. Kaikki mittaustulokset kirjataan paperiseen pöytäkirjaan, josta ne siirretään MotLab-mittausohjelmaan.<sup>11</sup>

## 4.2 Mittaustarkkuudet ja tilastollinen käsittely

Mittaustarkkuudet voidaan jakaa testilaitteiston mittaustarkkuuteen ja tyyppitestausten tarkkuusvaatimukseen. Mittaustarkkuuden varmentaminen testilaitteistolle perustuu standardiin ISO/IEC 17025:2017 (*General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*) edellytyksiin.

---

<sup>11</sup> ABB Oy. 2018. Final testing procedures for motors manufactured by ABB Oy, Motors tested with frequency converter.

Standardi ISO/IEC 17025:2017 edellyttää, että testilaboratorion on toimittava:

- luottamuksellisesti
- puolueettomasti

sekä täytettävä seuraavat kriteerit:

- laboratorio on valvottu tila
- henkilöstölle on määritelty mittausten suorittamiseen pätevyys
- mittausympäristö ei voi heikentää tulosten oikeellisuutta
- vaadittu mittaustarkkuus saavutetaan mittauslaitteistolla
- kalibrintiohjelma on laadittu mittalaitteille
- mittauksia suoritetaan vain kalibroiduilla mittalaitteilla
- yksilöidyt mittalaitteet
- mittaustulokset perustuvat SI-järjestelmään
- mittausmenetelmät ovat standardisoituja
- mittaustulosten oikeellisuus pystytään varmistamaan
- näytteenottomenetelmät on kuvattu
- raportoidut mittaustulokset.

Akkreditoinnilla varmistetaan yllä mainittujen kohteiden toteutuvuus. Suomen akkreditointilaitos FINAS (Finnish Accreditation Service) varmistaa vuosittaisilla seuranta-arvioinneilla, että testilaboratorio täyttää standardin ISO/IEC 17025:2017 mukaisen toimivuuden ja kriteerit.<sup>12</sup>

Testilaboratoriossa suoritetaan mittaukset IEC-standardien IEC 60034-1, IEC 60034-2-1 ja IEC 60051-1 (*Direct acting indicating analogue electrical measuring*

---

<sup>12</sup> ISO/IEC. 2017. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

*instruments and their accessories*) mukaisesti. Edellä mainittujen IEC standardien mukaan on tyyppitestauksessa käytettävä seuraavia tarkkuusvaatimuksia. Yksiköinä on käytettävä SI-järjestelmää. Mittalaitteiden tarkkuusluokka on 0,2 IEC 60051:n mukaisesti. Pyörimisnopeuden mittauksessa mittaustarkkuuden on oltava  $<0,1$  % tai 1rpm (kierrosta minuutissa). Taajuuden mittaustarkkuuden oltava  $\leq 0,1$  % täydestä skaalasta. Jännitteen epäsymmetrian harmonisia yliaaltoja kuvaava kerroin HVF (Harmonic voltage factor) ei saa ylittää 0,015. Lämpötilan mittaamiseen käytettävien laitteiden mittaustarkkuuden oltava  $<1^{\circ}\text{C}$ . Virtamuuntajien mittaustarkkuuden oltava  $<0,3$  %. Vääntömomentin mittaamiseen käytettävien laitteiden mittaustarkkuuden oltava vähintään 0,2 täydestä asteikosta. Vähimmäisvääntömomentin oltava vähintään 10 % vääntömomenttimittarin nimellistä vääntömomentistä (asteikossa 0,1 tarkoittaa 5 % vääntömomenttimittarin nimellistä vääntömomentistä).<sup>13</sup>

#### **4.2.1 Mittausepävarmuuden määrittäminen hyötysuhteen testauksessa**

Akkreditoidun laboratorion on määritettävä mittauksissaan mittausepävarmuus, joka kuvastaa millä välillä mittaustulos varmuudella on. Mittaustuloksen epävarmuus on  $\pm 0,2$  %. Tapauksissa, joissa verrataan kahta eri mittausta keskenään, hyödynnetään mittausepävarmuutta. Tällöin toistetaan mittaus samalla testipaikalla, testataan sama moottori eri testipaikalla tai testataan sama moottori kahdessa eri laboratoriossa. Mittaukset, joissa mittausepävarmuuden määrittäminen käytetään hyötysuhteen testauksessa ovat: kylmävastusmittaus, nimellispisteen virran, jännitteen, tehokertoimen, momentin, pyörimisnopeuden, jäähtymäkäyrän vastusmittaus, osakuormatesti, tyhjäkäyntitesti sekä vastusmittaukset testauksen useassa eri vaiheessa. Mittausepävarmuuden määrittäminen perustuu kaavoihin 14 ja 15.

---

<sup>13</sup> IEC 60034-2, IEC 60051-1, IEC 60034-1

$$\eta = \left( \frac{P_1 - P_T}{P_1} \right) \quad (14)$$

$$P_T = P_{fe} + P_{fw} + P_s + P_r + P_{LL} \quad (15)$$

, jossa

$P_T$  = kokonaistehohäviöt,  $P_{fe}$  = rautahäviöt,  $P_{fw}$  = hankaushäviöt,  $P_s$  = staattorihäviöt,  $P_r$  = roottorihäviöt,  $P_{LL}$  = lisähäviöt,  $P_1$  = syöttöteho

Laboratoriossa mittausepävarmuus on määritetty simulointimenetelmällä. Menetelmä muuttaa mittaustuloksia testissä käytettyjen mittalaitteiden tarkkuusluokien mukaisesti ja laskee hyötysuhteen. Tämä toistetaan tuhat kertaa, jonka jälkeen saadaan tilastollinen jakauma ja keskihajonta. Simulointi tapahtuu Excelissä, jonne syötetään testin tulokset ja mittalaitteen tarkkuudet.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> ABB Oy. 2022. Test laboratory, mittausepävarmuuden määrittäminen



## 5 MITTAUKSEN AUTOMATISOINTI

### 5.1 Resistanssimittausdemon rakentaminen ja toteuttaminen

Työn tavoitteena on toteuttaa oikosulkumoottorin manuaalisesta resistanssimittauksesta automatisoituversio koestuslaboratorioon. Automatisoinnin tarkoitus on tehdä työstä turvallisempaa, jouhevampaa ja estää siltamittareita hajoamasta.

#### 5.1.1 Projektin aloitus

Projekti alkaa esisuunnittelulla, komponenttien tilaamisella sekä aineistoon, koestuslaboratorioon ja sen laitteisiin tutustumisella. Esisuunnittelu vaiheessa täytyy selvittää, että onko mittaaminen mahdollista toteuttaa tuomalla resistanssimittausjohtimet koestuskaapelin rinnalla. Koestuskaapelit liitetään mittajohtimien kanssa yhden pultin alle simuloimaan yhtä vaiheväliä ja mittajohtimien toinen pää liitetään siltamittarille (**Kuva 12.**). Mittaamalla kytkennän resistanssin päästään todella lähelle nollaa tarkoittaen, että mittaaminen on ylimenovastuksen osalta mahdollista.



**Kuva 12.** Mittaustavan testaaminen

### 5.1.2 Komponenttien tilaaminen ja valinta

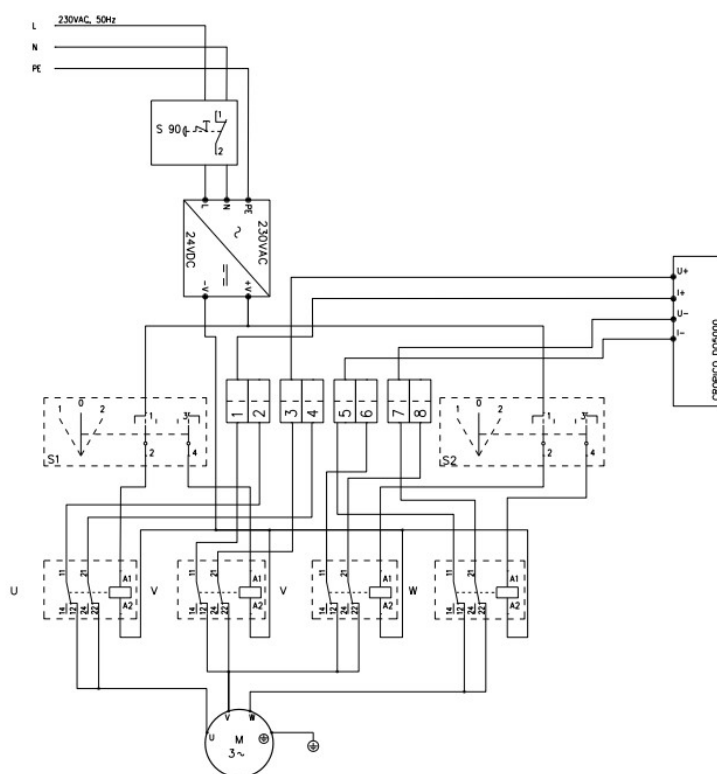
Siltamittarina koestuslaboratoriossa on jo aiemmin esitelty *Cropico Microhmmeter DO5000*, joka on vuodelta 2009. Vastaavia vaatimuksia täyttäviä, verkkovirralla toimivia ja tiedonsiirtomahdollisuuden omaavia mittareita ei ole. Koestuslaboratoriossa on oltava verkkovirralla toimiva mittari, koska työskentely tapahtuu kahdessa työvuorossa ja mittarin lataaminen välillä ei tule kysymykseen. Kaikissa mittareissa ei ole tiedonsiirtomahdollisuutta RS-232 sarjaportin kautta. Tehtaalta löytyy tiedonsiirtomahdollisuuden omaavia mittareita. Työ tehdään Cropico DO 5000:lla, koska mittareita on edelleen saatavilla ja yksinkertaisesti se on ainoa mittari, joka täyttää kaikki vaadittavat ominaisuudet.

Releinä käytetään *High Voltage Relay RL42-I*, joita valmistaa Saksalaisen SPS Electronic. Releet ovat normaalia järeämpiä ja kestävät suuria virtoja ja jännitteitä. (Liite 1. Releen datalehti.) Rele vaatii toimiakseen 24 VDC jännitelähteen. Työnkannalta ja releiden kestävyys takia olisi mielekäästä tietää mitä metalleja ne ovat, sekä mitä epäpuhtauksia niillä on, mutta yhtiön liikesalaisuuksien takia ne eivät selviä.

Edellä esiteltiin projektin tärkeimmät komponentit, mutta projektiin sisältyy myös paljon muita komponentteja (liite 2 osaluettelo). Testattavina moottoreina käytetään asiakkaiden tilaamia yksilöitä, joille tehdään tyyppitestit manuaalisesti ja demoversiolla. Kaapeleina työssä käytetään työn johdottamiseen 1.5 mm<sup>2</sup> ja 4 mm<sup>2</sup> kytkentäjohtoa. Releiden ohjaaminen toteutetaan Sälzer-merkkisillä 0–1–2 kytkimillä. Kytkentälaatikkoon on hyvä lisätä työturvallisuuden takia hätäseisäkytkin.

### **5.1.3 Demoversion rakentaminen ja toteuttaminen**

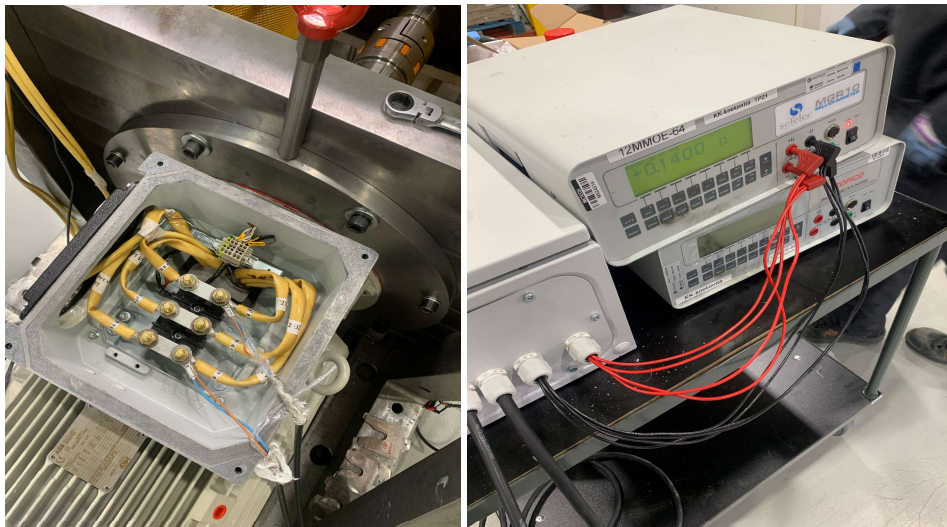
Demoversion rakentamisen ja toteuttamisen ensimmäinen vaihe on siirtää ajatus paperille. Suunnittelu ja piirtäminen tapahtuu käyttäen Cadmatic-sähkösuunnittelusovellusta. Työstä piirretään piirikaavio johdotusta ja rakentamista helpottamaan. Opinnäytetyössäni esittelen lopullisen piirustuksen kuvassa 13.



**Kuva 13.** Oikosulkumoottorin resistanssimittaus

Tarkastellaan järjestyksessä kuvaa 13 tarkemmin. Pistorasiasta tulee syöttö eli 230 Volttia 24 VDC jännitelähteelle, jossa se muuntuu releille sopivaksi. Väliin laitetaan hätäseiskeytkin parantamaan käyttäjän ja laitteiden turvallisuutta. Releet saavat jännitelähteeltä toimiakseen 24 VDC. Viivoja seuraamalla näemme, että *Cropico DO5000*-siltamittarilta tullaan riviliittimien kautta releille nelijohdinmenetelmällä. 0–1–2 kytkimillä S1 ja S2 ohjataan haluttuja releitä kiinni ja auki. Tällä tavalla voimme mitata resistanssia halutulta vaiheväliltä U-V, U-W tai V-W. Kytkimellä S1 voidaan ohjata releitä U ja V ja kytkimellä S2 voidaan ohjata releitä V ja W. Kytkimet S1 ja S2 korvataan automaatiovaiheessa välireleillä käyttäen IO- ohjauksia. Releiltä lähtevät resistanssinmittausjohdot moottorin navoille.

Toinen vaihe on rakentaa toimiva demoversio ja saada tarkkoja kylmävastusarvoja moottorilta mittaamalla. Demoversio rakennetaan renkailla liikkuvan pöydän päälle. Pöydälle rakennetaan kytkentälaatikko ja sen viereen tulee siltamittari. Ensimmäisessä kytkentälaatikon johdotuksessa käytetään 1.5 mm<sup>2</sup> kytkentäjohtoa ja mittaускаapelina on Ölflex 135 CH BK 2X1. Johdotuksen valmistuttua mitataan erään moottorin navoilta yhdestä vaihevälistä kylmävastusarvoja selvittääksemme kytkennän toimivuutta **(Kuva 14.)**



**Kuva 14.** Kylmävastusarvojen mittaaminen kytkennällä

**Taulukko 2.** Kylmävastusarvot 1.5 mm<sup>2</sup> kytkentäjohdolla

Tulokset		
Mittaustapa	Virta-alue Cropicolla	Mittaustulos
Manuaalisesti	1 A	0.1400 Ω
Kytkenällä	1 A	0.1400 Ω
Manuaalisesti	10 A	140.05 mΩ
Kytkenällä	10 A	102.00 mΩ

Taulukosta 2 näemme, että yhden ampeerin virta-alueella kylmävastusarvot ovat erittäin tarkkoja, mutta 10 A alueella resistanssi on liian pieni. Ongelman voi selvittää vaihtamalla yksitellen johtoja. Mittauskaapeli sekä releiden ja siltamittarin väliset johdot on korvattava 4 mm<sup>2</sup> kytkentäjohdolla. 1.5 mm<sup>2</sup> johdolla poikkipinta-ala ei ole riittävä virran kasvaessa. Huonojen liitosten takia ei pääse riittävän tarkkoihin mittaustuloksiin. Liitosten tekemiseen on käytettävä sopivia johtojen

päättämiseen tarkoitettuja liitäntätyökaluja ja liittimiä. Työhön on hyvä lisätä riviliittimet, jotta pystytään tekemään riittävän hyviä liitoksia. Riviliittimien ollessa vierekkäin tapahtuu oikosulkuja, koska ne pääsivät lyömään lävitse, joten ne on eroteltava päätylevyillä ja päätykiinnikkeillä.

**Taulukko 3.** Kylmävastusarvot 4 mm<sup>2</sup> kytkentäjohdolla

Kylmävastukset		
Virta-alue	10 A	
Vaiheväli	Manuaalisesti	Kytkenälaatikolla
U-V	140.15 mΩ	140.09 mΩ
U-W	140.15 mΩ	140.10 mΩ
V-W	140.22 mΩ	140.18 mΩ

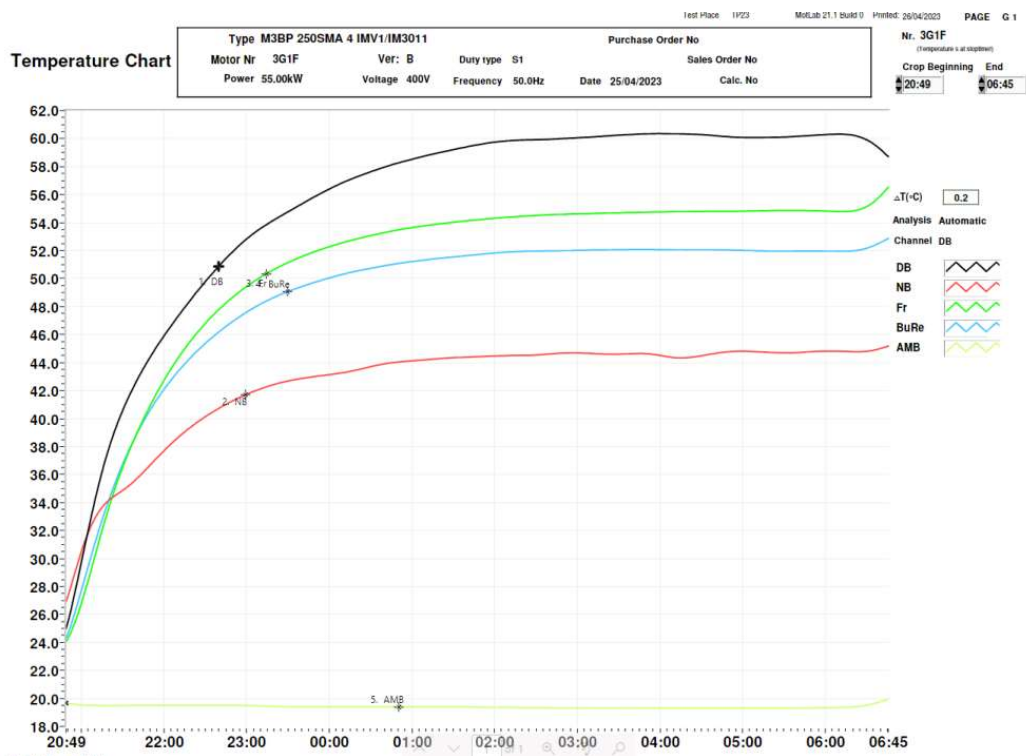
Taulukosta 3 näemme tulokset samalta moottorilta. Kylmävastuksia mitataan kailta vaiheväleiltä 10 A virta-alueella. Korjaukset ovat toimivia ja tarkkoja, koska suurin resistanssi ero on vain 0.06 mΩ.

Työn kolmannessa vaiheessa tavoitteena on suorittaa standardinmukaiset tyyppitestaukset oikosulkumoottorilta ja verrata tuloksia manuaaliseen mittaustapaan. Moottorina testauksessa toimii 3-vaiheinen oikosulkumoottori tyyppiltään M3BP 250SMA 4 IMV1/IM3011.

**Taulukko 4.** Kylmävastusarvot tyyppitestauksessa

Kylmävastukset		
Virta-alue	10 A	
Vaiheväli	Manuaalisesti	Kytkenälaatikolla
U-V	49.56 mΩ	49.58 mΩ
U-W	49.59 mΩ	49.57 mΩ
V-W	49.60 mΩ	49.55 mΩ

Moottorille suoritetaan lämpöajotesti, jossa kytkentälaatikon mittapäät ovat liitetty moottorin navoille. Lämpötilapiirturi piirtää lämpöajotestin aikana moottorin eri kohdista lämpötilakäyriä. Kuvassa 15 esitetään oikosulkumoottorin valmistunut lämpöajotestin lämpötilakäyrä.



**Kuva 15.** Lämpötilapiirturin lämpötilakäyrät oikosulkumoottorin eri kohdista

Lämpöajon jälkeen mitattava jäähtymäkäyrä tehdään manuaalisesti ja kytkentälaatikolla. Kappaleessa 2.5 esiteltiin aiemmin mittauksen toimintaperiaate. Tulokset kytkentälaatikolla on esitelty taulukossa 5. Tulokset ovat yhtäläisiä verrattuna manuaaliseen mittaustapaan.

**Taulukko 5.** Resistanssi lämpöajon jälkeen

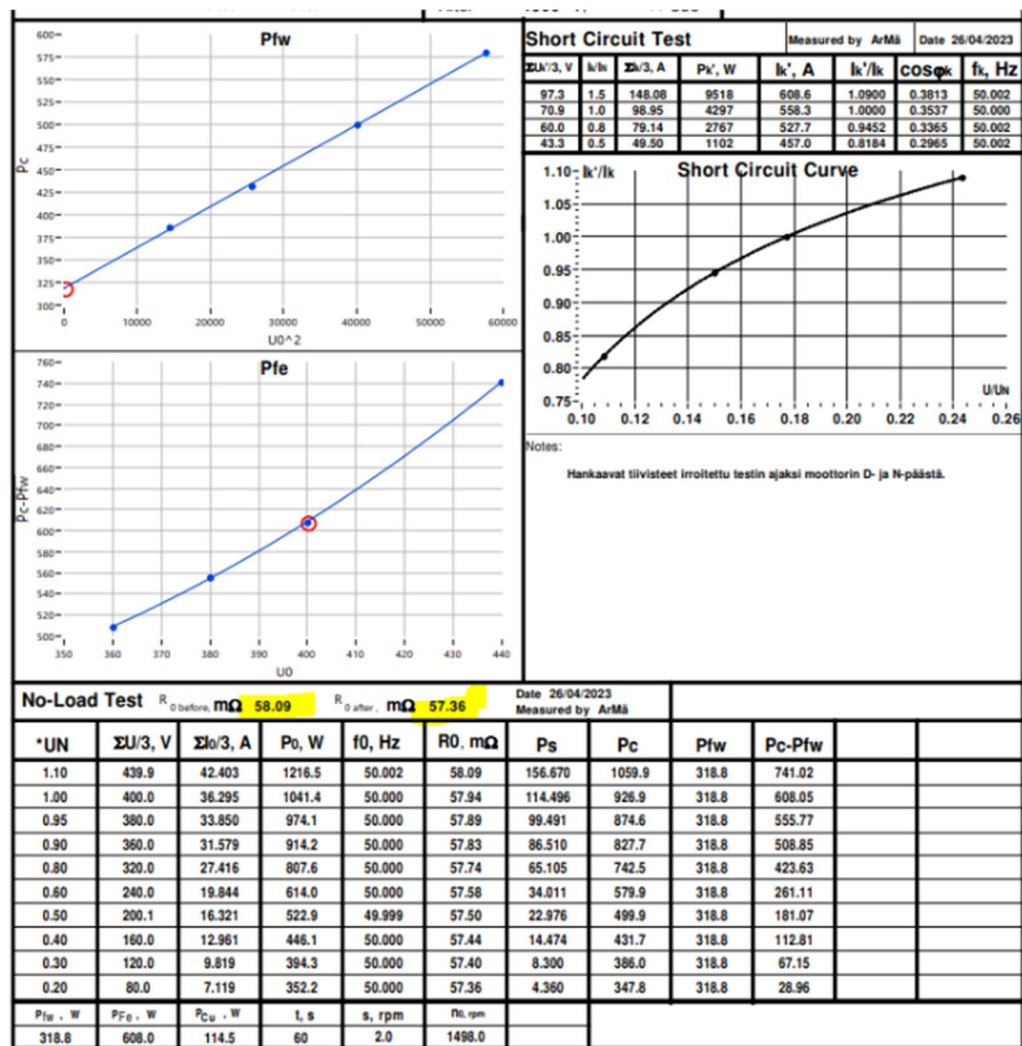
Resistanssi U-W vaihevälistä lämpöajon jälkeen	
(Aika) t/s	Resistanssi mΩ
0	60.44
30	60.250
45	60.140
60	60.040
75	59.930
90	59.830
120	59.650

Tulokset muutetaan logaritmisiksi arvoiksi, jotta saadaan jäähtymäkäyrä (**Kuva 16.**).





Tyhjäkäyntitesti tulee tehdä moottorin loppulämpötilassa ilman kuormaa. Standardin IEC 60034-2-1 mukaisessa tyhjäkäyntitestissä mitataan tyhjäkäyntijännitettä  $U_0$ , tyhjäkäyntivirtaa  $I_0$  sekä tyhjäkäyntitehoa  $P_0$ . Mittaukset tehdään seuraavissa eri jännitepisteissä suhteessa nimellisjännitteeseen: 110 %, 100 %, 95 %, 90 %, 60 %, 50 %, 40 % ja 30 %. 110–90 %. Tuloksista määritetään rautahäviöt ( $P_{fe}$ ) ja 60–30 % alueen tuloksista määritetään tuuletin- ja kitkahäviöt ( $P_{fw}$ ). Ennen ja jälkeen tyhjäkäyntitestin mitataan tyhjäkäyntiresistanssi  $R_0$ . Tulokset esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Moottorin tyhjäkäyntitestin tulokset



**Kuva 19.** Valmis demo

Kaikki työssä esitetyt mittaukset ovat laskettu standardinmukaisilla menetelmillä. Mittausdemon rakentaminen ja toteuttaminen todistaa resistanssimittauksen automatisoinnin olevan mahdollista.

#### **5.1.4 Mittauksen siirtäminen alkupäähän**

Oikosulkumoottorin resistanssimittauksen siirtäminen moottorin navoilta syöttökaapelin alkupäähän on turvallisen työskentelyn ja toimivuuden kannalta tärkeä kokeilu. Kytkenälaatikon mittauskaapelit kiinnitetään moottorin napojen sijasta pääerottimen kanssa samassa kaapissa oleville kiskoille, muttereiden alle, josta lähtee myös moottorin syöttökaapeli (**Kuva 20.**). Kytkenälaatikko ja siltamittari tulee myös samaan kaappiin.



**Kuva 20.** Resistanssimittaus syöttökaapelin alkupäästä

Mitattaessa kiskoilta syöttökaapelin alkupäästä, on moottorin syöttökaapelin ylimenoresistanssin nollaaminen tärkeää, koska muuten mittaustuloksista tulee vääristyneitä. Kaapelin ylimenoresistanssin mittaaminen suoritetaan laittamalla kaapelin U, V ja W vaiheet yhteen ja mittaamalla kaapelin resistanssiarvo. Johtimet ovat päätetty kaapelikenkiin, joten resistanssin voi mitata asettamalla ne samantulinalle, liittämällä ne oikosulkukiskoon tai kytkemällä ne moottorin navoille liuskoilla yhteen. Moottorin navoille liittäminen on tavoista ainoa, joka antaa luotettavia tuloksia. Moottorille suoritettavassa tyyppitestauksessa koestaja tekee moottorille kytkennän ennen kylmävastusmittausta, jolloin koestaja tekee lisäksi kyseisen toimenpiteen ja nolaa ylimenoresistanssin käyttämällä siltamittarin nollausominaisuutta (**Kuva 21.**). Koestaja poistaa tämän jälkeen kaapelin nollausta varten tehdyn kytkennän. Tämän jälkeen mittaa siltamittarin ollessa nollaustilassa

kylmävastukset moottorin navoilta. Tärkeää on myös, että siltamittarin nollaustointoa ei sammuteta tämän jälkeen. Eritelty menetelmä toimii kaapelin kalibrointina ja sitä voidaan käyttää myös koestettaessa moottoreita, jotka tarvitsevat suuremman poikkipinta-alan kaapeleita.



**Kuva 21.** Oikosulkumoottorin kytkentä kaapelin nollaamisessa

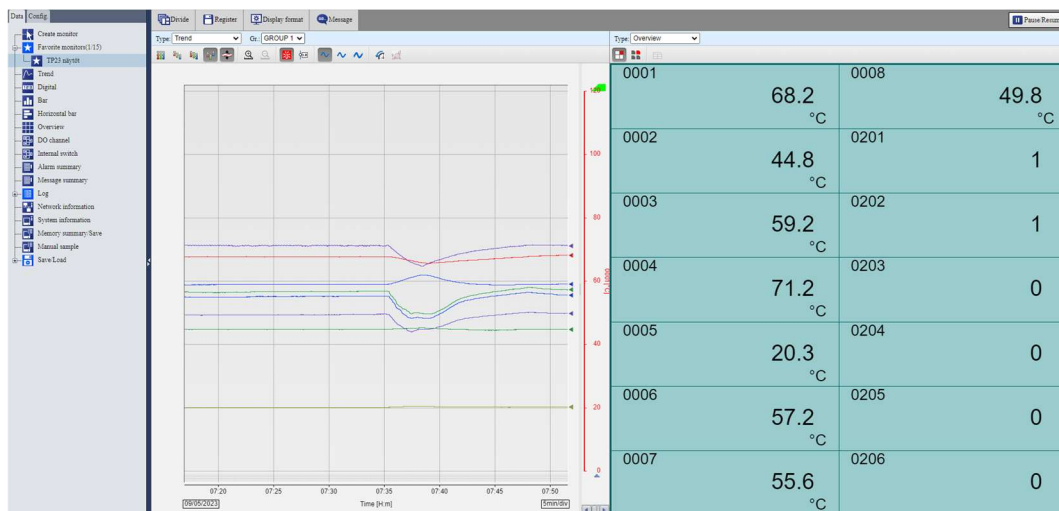
Moottorin syöttökaapelin kaapelikengien kunto vaikuttaa moottorin navoilta mitattavaan resistanssiin. Kaapelin päät ja kengät vaurioituvat, lämpenevät ja täten huononevat jokapäiväisessä käytössä. Vaihtamalla vanhat kaapelikengät uusiin, resistanssiarvot muuttuvat tarkemmiksi (**Kuva 22.**). Kaapelikengät pitäisi vaihtaa muutaman kuukauden välein ja niiden kuntoa pitäisi seurata. Mitattaessa resistanssiarvoja syöttökaapelin alkupäästä, tulisi kaapeli kalibroida jokaisella kerralla, kun testattava moottori tai syöttökaapeli vaihtuu.





**Kuva 22.** Vanhat ja uudet moottorin syöttökaapelit

Mittauksen siirtäminen alkupäähän todetaan toimivaksi tekemällä oikosulkumoottorille vaadittavat standardinmukaiset tyyppitestit manuaalisesti sekä kytkentälaatikolla. Tuloksia verrataan keskenään toisiinsa. Tuloksista voi todeta resistanssimittauksen syöttökaapelin alkupäästä saavuttavan vaadittavat mittaustarkkuudet. Moottorin napojen läheisyyteen kiinnitettiin myös termoparikaapelit mitaamaan syöttökaapelin lämpenemää lämpöajon aikana. Kuvasta 23 näkyy lämpötilat ennen normaalia jäähtymäkäyrämittausta sekä lämpenemä ylikuormalla. Tämän jälkeen tehdään kytkentälaatikolla sama jäähtymäkäyrämittaus, jotta voidaan verrata tuloksia toisiinsa. Kanavat 0006–0008 kuvastavat U, V ja W vaiheita. Moottorin syöttökaapelille ei muodostu merkittävää lämpenemää tällä moottorilla ja mittaustavalla.



**Kuva 23.** Moottorin syöttökaapelin lämpenemä

## 5.2 Automaatio

Oikosulkumoottorin resistanssimittauksen automatisoinnin tarkoitus on tehdä työstä turvallisempaa ja jouhevampaa. Automatisoinnin jälkeen koestajan ei tarvitse mennä tyyppitestien välissä mittaamaan resistansseja moottorin navoilta, vaan testausta hallitaan automaation käyttöliittymästä ja MotLab-mittausohjelmasta. Tulosten kirjaamisen osalta nykyinen toimintatapa on, että tulokset kirjataan paperiselle pöytäkirjalle ja siirretään paperilta MotLab-mittausohjelmaan.

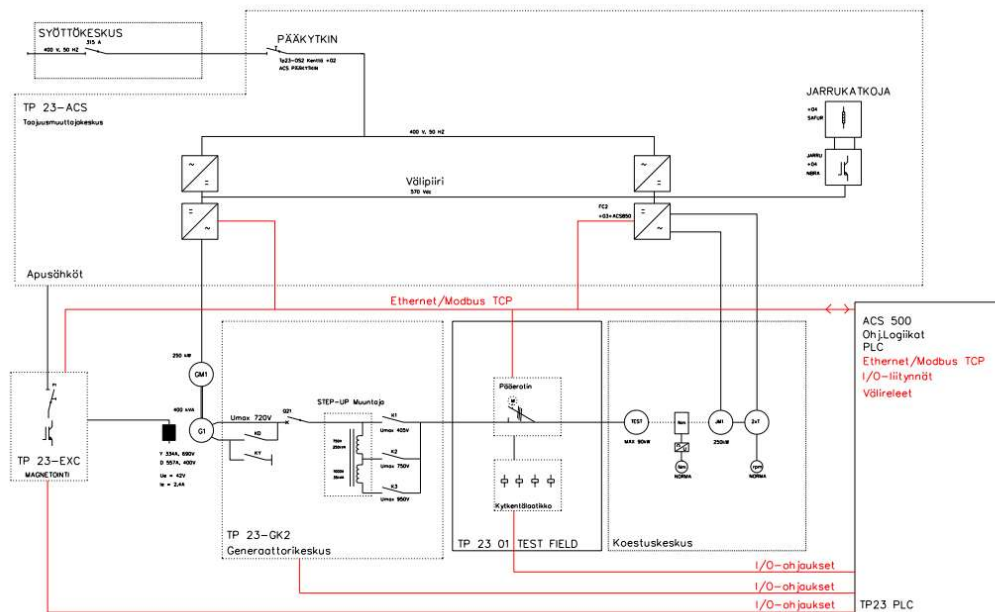
### 5.2.1 Mittaaminen automaatiolla

Automatisoinnissa koestaja asentaa tyyppitestauksen alussa siltamittarin mittauskaapelit moottorin syöttökaapelin alkupäähän kiskoille. Mittauslaitteisto on releiden kautta koko tyyppitestauksen ajan yhteydessä moottorille. Mittauslaitteisto irrotetaan vasta tyyppitestauksen ollessa valmis, mikä estää vaaratilanteita syntymästä.

Moottorin ja siltamittarin välissä olevat releet kytkevät ne irti toisistaan ajon aikana. Demomallissa releitä ohjataan 0-1-2 kytkimillä, mutta automaatiossa kytkimet korvataan välireleillä ja IO-ohjauksilla. Hyvä välirele automaatiolle on ABB:n CR-U024DC3L tyyppinen kytkentärele. Kytkentäreleet sijoitetaan TP23 PLC kaappiin yhdessä automaation laitteiston kanssa. Johdotus kytkennän ohjaukselle tapahtuu kaapeliyhlyjä pitkin TP23 PLC kaapista TP23 01 Test field kaappiin.

Releitä ohjataan kahden tilatiedon avulla, joita ovat moottorin jännitteettömyys ja jarrumoottorin pyörimisnopeus. Ajon jälkeen automaatio toteaa moottorin olevan jännitteetön ja jarrumoottorin pyörimisnopeuden olevan nolla. Automaatio kytkee releet kiinni, jolloin mittaaminen moottorilta alkaa. Toinen vaihtoehto on, että koestaja katsoo automaation käyttöliittymästä moottorin olevan jännitteetön, pysähtynyt ja erottimen olevan auki, jolloin koestaja kytkee automaatiolta mittauksen päälle. Automaatio kommunikoi MotLab-mittausohjelmiston kanssa mittausten suorittamiseksi.

Kuvassa 24 suunniteltu testipaikan rakenne automatisoidussa resistanssimittauksessa. Kuvaan on piirretty punaisella värillä tarvittavat kaksisuuntaiset IO-ohjaukset generaattorikeskukseen, magnetointikeskukseen, erottimelle, kytkentälaatiolle ja Ethernet tiedonsiirtoväylä magnetointikeskukseen.



Kuva 24. Testipaikan rakenne automatisoidussa resistanssimittauksessa

## 5.2.2 Tulosten siirto MotLab-ohjelmaan

Osassa Cropico-siltamittareista on ominaisuus, jolla resistanssimittauksen tulokset saadaan siirrettyä mittarilta suoraan mittausohjelmaan. Yhteyden muodostaminen tapahtuu mittarin takana olevan RS-232 sarjaportin kautta. Moxa nport 5110-sarjalaitepalvelin muuntaa RS-232 signaalin RJ45 signaaliksi. Johdotus tapahtuu vetämällä kaapeli testipaikan alla kulkevan lattiakourun kautta tietokoneelle.

Saamalla tulokset mittausohjelmaan suoraan mittarilta voidaan ottaa enemmän mittauspisteitä jäähtymäkäyrästä. Tulosten kirjaaminen paperille jää pois, jolloin työstä tulee jouhevampaa. Cropico-siltamittari ja tietokone on saatu kommunikoidaan keskenään ja lukemaan mittaustuloksia.



## 6 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutkittiin oikosulkumoottorin teoriaa, tutustuttiin koestuslaboratorion toimintaan, mittauksiin ja laitteisiin. Opinnäytetyössä rakennettiin mittausdemo, jolla tehtiin standardinmukaisia resistanssimittauksia oikosulkumoottorille. Työssä saatiin myös teoriassa suunniteltua mittauksen automatisointi. Työ aiheena oli mielenkiintoinen ja opettavainen. Suunnittelun tärkeys nousi myös työssä esiin. Opinnäytetyöhön käytetty tuntimäärä nousi teorian tutkimisen, käytännön tekemisen ja kirjoittamisen jälkeen yllättävän suureksi. Koen, että työstä on minulle jatkossa suurta hyötyä projekteissa ja tulevissa töissäni.

Kaikki mittausdemolla tehdyt tyyppitestit olivat hyväksytyjä mittaustarkkuuden osalta. Automatisoinnin osalta aika loppui kesken eikä sitä ehditty rakentamaan ja testaamaan.

Jatkoehdotuksena työn tilaajalle on automaation toteuttaminen käytännössä. Laitteisto ja kytkennät pitäisi myös kalibroida ja hyväksyttää erillisellä akkreditoitijalla.

## LÄHTEET

ABB Oy:n verkkosivut. 2023. ABB Suomessa. Viitattu 23.1.2023.  
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>

ABB Oy. 2018. Final Testing procedures for motors manufactured by ABB Oy, Motors tested with frequency converter. Viitattu 1.2.2023. (Rajattu pääsy)

ABB Oy. 2019. Low voltage motors Motor guide. Viitattu 24.2.2023 [https://library.e.abb.com/public/1fd380f8ca8b4934ae3fa609d764fd33/21043\\_ABB\\_Motor\\_Guide\\_REV\\_D.pdf](https://library.e.abb.com/public/1fd380f8ca8b4934ae3fa609d764fd33/21043_ABB_Motor_Guide_REV_D.pdf)

ABB Oy. 2021. Witness Type Test Procedure at FAT. Viitattu 1.2.2023 (Rajattu pääsy)

ABB Oy. 2022. Test laboratory, mittausepävarmuuden määrittäminen. Viitattu 23.3.2023 (Rajattu pääsy)

Cropico. 2011. Microhmeter Type DO5000 Series Operation Instructions. Viitattu 15.2.2023 <https://seaward.com/gb/support/download/343>

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet (1. painos). Tampere: Amk-kustannus oy Tammertekniikka.

IEC. 2014. IEC 60034-2-1 Rotating electrical machines. Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests. (IEC 60034-2-1 edition 2.0) Viitattu 18.3.2023.

IEC. 2016. IEC 60051-1 Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories. Part 1: Definitions and general requirements common to all parts. (IEC 60051-1 edition 6.0) Viitattu 18.3.2023

IEC. 2022. IEC 60034-1 Rotating electrical machines. Part 1: Rating and performance. (IEC 60034-1 edition 14.0). Viitattu 18.3.2023

ISO/IEC. 2017. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2017 3.edition) Viitattu 20.3.2023

Kauppila, J. & Ylinen T. 2017. Sähköasennukset 3. Espoo. Sähköinfo Oy.

Verkkonen, V. 2017. Sähkömoottorikäytöt 2 epätahtikoneet. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Kurssimateriaali. Viitattu 20.2.2023(Rajattu pääsy)

## DATA SHEET

### Relays RL 42-1 / RL 42 / RL 21



High voltage relay RL 42-1, up to 6,000 V AC, low current

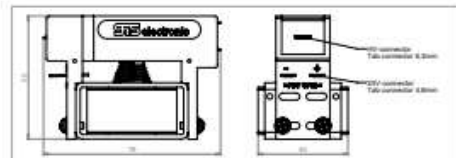
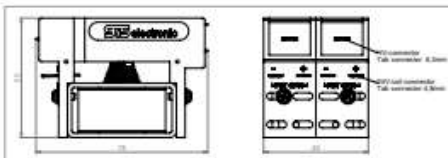


High voltage relay RL 42, up to 6,000 V AC



High voltage relay RL 21, up to 6,000 V AC

		RL 42-1	RL 42	RL 21
<b>Contacts</b>		double pole double throw		single pole double throw
<b>Field coil</b>	Coil voltage	24 V DC (5 – 55 °C)		
	Holding current	0.07 A (20 °C)	0.20 A (20 °C)	
	Inrush current (first 100 ms)	0.25 A		
<b>Coil resistance</b>		115 Ω (20 °C)		
<b>Status indication</b>		LED		–
<b>Connections</b>	Switching circuits	flat plug 6.3 mm (0.25 in.)		
	Field coil	flat plug 4.8 mm (0.19 in.)		
<b>Switching capacity</b>		max. 5,000 VA (ohmic load)		
<b>Test voltage</b>	Contact / field coil	20,000 V DC		
	Contact set 11 / contact set 21	8,000 V DC	–	
<b>Switching voltage max.</b>		6,000 V AC		
<b>Switching current</b>		max. 10 A AC		
<b>Continuous current</b>		max. 30 A AC / DC		
<b>Transition resistance</b>		< 30 mΩ	< 40 mΩ	
<b>Switching frequency</b>		max. 3 / s		
<b>Mechanical switching cycles</b>		> 5 x 10 <sup>6</sup>		
<b>B10d value</b>	I ≤ 10% I <sub>max</sub>	> 3 x 10 <sup>6</sup>		
<b>Vibration resistance</b>	10 – 55 Hz/g	5		
<b>Shock strength</b>	g – 11 ms	5		
<b>Carrier material</b>		PBT GF30		
<b>Protection system</b>		IP 20		
<b>General data</b>	Dimensions (HxWxD) and weight:	55 x 78 x 48 mm / approx. 300 g 2.2 x 3.1 x 1.9 in. / approx. 0.66 lbs.	55 x 78 x 40 mm / approx. 260 g 2.2 x 3.1 x 1.6 in. / approx. 0.57 lbs.	
	Storage / Operation temp.	-25 up to +40 °C / +5 up to +55 °C		
<b>Fastening</b>		Top rail (via Mounting Clip)		
<b>Accessories</b>		Mounting Clip MC 22, Contact Protection DK 21		



RL 42-1 / RL 42 / RL 21 | EN1 07\_2021 | Subject to change and error.

# DO5000 Series

A bench digital microhmmeter with temperature compensation.

Key Features	DO5000	DO5001	DO5002
True 4 terminal measurement eliminates lead resistance errors	•	•	•
Measuring range from 3m $\Omega$ to 30k $\Omega$	•	•	
Measuring range from 200m $\Omega$ to 30k $\Omega$			•
10 $\mu\Omega$ resolution			•
100n $\Omega$ resolution	•	•	
True zero capabilities	•	•	•
Digital calibration	•	•	•
Automatic temperature compensation with programmable coefficients	•	•	•
Open circuit lead warning	•	•	•
Current range from 10 $\mu$ A to 10A	•	•	
Current range from 10 $\mu$ A to 100mA			•
Programmable measuring current: 10% to 100% in 1% steps	•	•	•
High accuracy 0.03%	•	•	•
Fast measuring capability of 50 measurements per second	•	•	•
Programmable high/low limits with red/green lamps on front panel	•	•	•
Open circuit voltage limit mode 20mV/50mV maximum	•	•	•
Measuring current selection +1/-1 and auto average	•	•	•
Data logging with statistical analysis	•	•	•
Cable length calculations	•	•	•
Rechargeable batteries built in		•	
RS-232 interface	•	•	•

Liite 2. Cropico-siltamittarin datalehti

	Nimike	Tyyppi	Valmistaja	Määrä
1	Oikosulkumoottori	M3BP 225 SMB/4	ABB IEC LV Motors	1
2	Siltamittari	Cropico DO5000	Seaward	1
3	KytKentäkaappi	Teräslevy, IP66	Rittal	1
4	DIN-kisko	35 x 287 mm, teräs	Rittal	3
5	Kaapeliläpivientitulppa	M20	LAPP	8
6	Rele	Relay RL 42-I	SPS Electronic	4
7	Releen kontaktisuoja	DK 21	SPS Electronic	8
8	Releen kiinnike kiskoon	MC22	SPS Electronic	4
9	Jännitelähde	DR-4524	Mean Well	1
10	Ohjauskaapeli	Ölflex 135 CH BK 2X1	LAPP	20m
11	KytKentäjohto	1.5 mm <sup>2</sup> Sininen	Helukabel	20m
12	KytKentäjohto	1.5 mm <sup>2</sup> Punainen	Helukabel	20m
13	KytKentäjohto	4 mm <sup>2</sup> Punainen	Helukabel	20m
14	KytKentäjohto	4 mm <sup>2</sup> Kevi	Helukabel	20m
15	Kumikaapeli	3x2.5 mm <sup>2</sup>	Draka	20m
16	Pistotulppa	IP54	PCE	1
17	Maadoitusmagneetti	300 Amp On/Off	Magswitch	1
18	Ohjauskytkin	1-0-2-kytkin	Sälzer	2
19	Hätä-seis	Paina/väännä toiminto	Schneider Electric	1
20	Banaaniliitin	1kV 32A punainen	Stäubli	2
21	Banaaniliitin	1kV 32A musta	Stäubli	2
22	Riviliitin	SRK-sarja	ContaClip	8
23	Oikosulkurima	10-napainen, SRK-sarja	ContaClip	1
24	Päätylevy	SRK-sarja	ContaClip	4
25	Päätymiinnike	DIN-kiskoon, ruuvilukitus	ContaClip	7
26	Merkintäsarja	5mm riviliittimille	ContaClip	1
27	Rengasliitin	4-6mm <sup>2</sup> puristettava	Ninigi	4
28	Lattaliitin	4-6mm <sup>2</sup> puristettava	Ninigi	24
29	Pyöröliitin	4-6mm <sup>2</sup> puristettava	Ninigi	15
30	Välirele	24VDC	ABB	2

## Liite 3. Osaluettelo