

Oikosulkumoottorin LabVIEW-mittausjärjestelmä

Ari Latvala

Opinnäytetyö
Toukokuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Latvala, Ari	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2020
	Sivumäärä 55	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Oikosulkumoottorin LabVIEW-mittausjärjestelmä		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Teppo Flyktman, Olli Väänänen		
Toimeksiantaja(t) Pasi Puttonen		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Oikosulkumoottori on yleisin käytössä oleva vaihtosähkömoottori. Oikosulkumoottorit ovat käytössä teollisuuden prosesseissa, liikenteen sähköistyksessä ja talotekniikassa. Niitä käytetään muun muassa puhaltimien, pumppujen ja kuljettimien voimanlähteinä. Niiden voimakas yleistymisen johtuu yksinkertaisen ja toimintavarmen rakenteen tuomista eduista. Siksi oikosulkumoottorien toiminnan ymmärtäminen on tärkeä osa-alue sähköinsinöörien koulutusta. Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkölaboratorioon mittausjärjestelmä, jolla pystytään mittaamaan oikosulkumoottorin sähköisiä ja mekaanisia suureita. Mittausjärjestelmän avulla pystytään havainnollistamaan oikosulkumoottorin toimintaa sähkötekniikan opiskelijoille.</p> <p>Mittausjärjestelmän koostuu fyysisestä mittauslaitteistosta ja erillisestä LabVIEW-ohjelmasta. Laitteiston rakentamisessa käytettiin nimellisarvoltaan sopivia virtamuuntajia, jännitemuuntajia, jännitelähteitä ja National Instrumentsin 6009 USB -tiedonkeruulaitetta. Komponenttien soveltuvuus mittausjärjestelmään testattiin kattavasti. LabVIEW-ohjelman toiminnan ja tulosten luotettavuus testattiin Metrel PowerQ4 MI 2592 sähkön laadun analyysaattorilla ja ABB:n DriveStudio-ohjelmalla.</p> <p>Mittausjärjestelmän mittaustulokset olivat lähellä Metrelillä mitattuja vertailuarvoja. Mittattujen sähköisten suureiden ero oli noin 1 % - 5 % LabVIEW-ohjelman ja Metrelin arvojen välillä. Mittausjärjestelmän toiminta ja tulokset osoittautuivat kauttaaltaan luotettaviksi. Mittausjärjestelmää on edelleen mahdollista jatkokehittää ja lisätä opetuksen sisältöä. Mittauslaitteistoa on mahdollista käyttää muissakin sähkölaboratorion mittauksissa ja opiskelijoiden harjoituksissa, joissa on tarpeellista hyödyntää kolmivaiheisten jännitteiden ja virtojen mittausta ja analysointia.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Oikosulkumoottori, mittausjärjestelmä, LabVIEW, Clarken muunnos		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Latvala, Ari	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 55	Permission for web publication: x
Title of publication LabVIEW-based measurement system for a short circuit motor		
Degree programme Bachelor's Degree Programme in Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Teppo Flyktman, Olli Väänänen		
Assigned by Pasi Puttonen		
Abstract <p>A short circuit motor is the most common type of AC motor. Short circuit motors are used in industrial processes, transportation electrification and house engineering. They are used as power sources for blowers, pumps and conveyors amongst other things. The increase in the use of short circuit motors is due to their simple and reliable construction. Therefore, short circuit motor studies are an important part of electrical engineering studies. The aim of the thesis was to construct a measurement system to measure electric and mechanical quantities of a short circuit motor in the Jyväskylä University of Applied Sciences electric laboratory. With the help of the measurement system, it is possible to demonstrate the operation of a short circuit motor to electrical engineering students.</p> <p>The measurement system was made up of physical measurement equipment and a LabVIEW-program. Suitable current transformers, voltage transformers, voltage sources and a National Instruments 6009 USB data acquisitions device were used to construct the measurement system. Component suitability for the measurement system was tested extensively. The reliability of the LabVIEW-program and the test results were checked with the Metrel PowerQ4 MI 2592 power quality analyzer and ABB DriveStudio program.</p> <p>The measuring results of the measurement system were close to the Metrel reference values. There was an approximately 1% - 5% difference between measured electric quantities between the LabVIEW-program and Metrel. The functionality and results proved to be thoroughly reliable. It is still possible to re-develop the measurement system and to add content to the learning materials. It is possible to use the measurement equipment in other electric laboratory measurements and student practices, in which there is a need to utilize measurement and analysis of three phase voltages and currents.</p>		
Keywords/tags (subjects) Short circuit motor, measurement system, LabVIEW, Clark transformation		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Tutkimusasetelma	6
3	Teoriapohja mittausjärjestelmän mittauksille	8
3.1	Oikosulkumoottorin sähköiset ja mekaaniset suureet	8
3.2	Mittamuuntajat	10
3.3	Hetkellinen pätöteho ja hetkellinen loisteho.....	12
3.4	Mittausasetelma.....	14
4	Mittauslaitteisto.....	16
4.1	Jännitelähteet.....	16
4.2	Virtamuuntaja LTS 25-NP	17
4.3	Jännitemuuntaja LV 25-400.....	18
4.4	Tiedonkeruulaite NI 6009 USB DAQ.....	20
4.5	Mittausanturi T20WN ja mittalaite VK20.....	20
4.6	Mittauskotelo	22
4.7	LabVIEW-mittausohjelma.....	23
5	Tutkimustulokset ja johtopäätökset.....	25
5.1	Häiriöiden poistaminen	26
5.1.1	Jännitelähteiden häiriösisältö.....	26
5.1.2	Häiriöiden ohjelmallinen suodatus.....	29
5.1.3	Virtasilmukoiden ehkäiseminen	29
5.1.4	Momenttimittauksen häiriö	30
5.2	Mittaustulosten luotettavuus	31
5.2.1	Jännite.....	33
5.2.2	Virta	33
5.2.3	Tehot.....	34
5.2.4	Vääntömomentti	34
5.2.5	Pyörimisnopeus	34
5.2.6	Tiedonkeruulaitteen mittaustarkkuus.....	35

	2
6 Pohdinta	35
Lähteet	37
Liitteet	39
Liite 1. Toimeksiantajan toimittama lähdeaineisto	39
Liite 2. LTS 25-NP -datalehti.....	44
Liite 3. LV 25-400 -datalehti.....	48
Liite 4. Yhteydenotto National Instrumentsin tekniseen tukeen	51

Kuviot

Kuvio 1. Sähkömoottorin tehokaavio	9
Kuvio 2. Suljetun silmukan virran mittausanturin toimintaperiaate.....	11
Kuvio 3. Koordinaatiston muunnos Clarken muunnoksen mukaisesti.....	12
Kuvio 4. Differentiaalisen ja RSE-mittausasetelman periaatteet	15
Kuvio 5. Mittauslaitteiston komponenttien kaaviokuva	16
Kuvio 6. Jännitelähteiden kytkentäasetelma.....	17
Kuvio 7. Virtamuuntaja LEM LTS 25-NP	18
Kuvio 8. LTS 25-NP virtamuuntajan antojännite V_{out} mittausvirran I_p funktiona	18
Kuvio 9. Jännitemuuntaja LEM LV 25-400	19
Kuvio 10. Jännitemuuntajan kytkentäkaavio.....	19
Kuvio 11. Tiedonkeruulaite NI 6008 USB DAQ	20
Kuvio 12. Momentin ja pyörimisnopeuden mittalaite VK20A.....	21
Kuvio 13. Momentti- ja pyörimisnopeusanturi T20WN asennettuna moottorin ja kuormamoottorin väliselle akselille	21
Kuvio 14. Mittauskotelo edestä ja takaa	23
Kuvio 15. Näyttökaappaus kolmivaiheisista jännitteistä ja virroista.....	24
Kuvio 16. Näyttökaappaus virroista ja jännitteistä α - β -0-koordinaatistossa	24
Kuvio 17. Näyttökaappaus kolmannelta välilehdeltä	25
Kuvio 18. Näyttökaappaus neljänneltä välilehdeltä	25
Kuvio 19. Tiedonkeruulaitteen 5 V jännitesyötön tasaisuus	27

Kuvio 20. Mittauslaitteiston erillisen 5 V jännitesyötön tasaisuus	27
Kuvio 21. Jännitemuuntajan 12 V jännitesyötön tasaisuus.....	28
Kuvio 22. Jännitemuuntajan -12 V jännitesyötön tasaisuus.....	29
Kuvio 23. Momenttiin syntynyt häiriö	30

Taulukot

Taulukko 1. LabVIEW-ohjelman mittaustulokset 10 ajankohdalla tyhjäkäyntiajossa	32
Taulukko 2. Metrelin mittaustulokset 10 ajankohdalla tyhjäkäyntiajossa	32
Taulukko 3. LabVIEW-ohjelman mittaustulokset 10 ajankohdalla kuormitusajossa	32
Taulukko 4. Metrelin mittaustulokset 10 ajankohdalla kuormitusajossa	33

Sanasto

closed loop = suljettu silmukka

floating source = kelluva lähde

ground-loop potential = maasilmukajännite

i_a = vaiheen 1 virta a-b-c-koordinaatistossa

i_b = vaiheen 2 virta a-b-c-koordinaatistossa

i_c = vaiheen 3 virta a-b-c-koordinaatistossa

i_α = α -akselin virta α - β -0-koordinaatistossa

i_β = β -akselin virta α - β -0-koordinaatistossa

linear sensor = lineaarinen anturi

open loop = avoin silmukka

rms = root mean square

RSE = Referenced Single-Ended

tiedonkeruulaite = NI 6009 USB DAQ

u_a = vaiheen 1 jännite a-b-c-koordinaatistossa

u_b = vaiheen 2 jännite a-b-c-koordinaatistossa

u_c = vaiheen 3 jännite a-b-c-koordinaatistossa

u_α = α -akselin jännite α - β -0-koordinaatistossa

u_β = β -akselin jännite α - β -0-koordinaatistossa

1 Johdanto

Sähkömoottorikäytöt ovat olennainen osa nyky-yhteiskunnan toimintaympäristöjä ja ne liittyvät nykyään kaikkiin teollisuuden osa-alueisiin. Siksi sähkö- ja automaatioinsinöörien tutkinto-ohjelma sisältää paljon sähkömoottoreiden toimintaa käsittelevää teoriaopetusta sekä käytännön laboratorioharjoituksia. Sähkömoottoreiden toimintaan liittyvät teoriaopinnot vaativat rinnalleen käytännön laboratoriotöitä, joiden avulla pystytään havainnoimaan sähkömoottorin käytönaikaisia sähköisiä ja mekaanisia suureita. Varsinkin sähkömoottoreiden käynnistyksen ja kuormituksen muutoksen yhteydessä tapahtuvat muutostilat ovat merkityksellisiä sähköverkon ja siihen liittyvän sähkösuunnittelun kannalta. Sähkön laatuun liittyvät kysymykset ovat nykyisissä sähkömoottorikäytöissä merkityksellisiä, koska energiatehokkaisuuteen sähkömoottorikäyttöihin liittyy taajuusmuuttajaohjaus. Energiatehokkuuden haittapuolena ovat taajuusmuuttajakäyttöjen lisäämät sähkön laatuun liittyvät ongelmat.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa mittausjärjestelmä, joka mahdollistaa sähkömoottorin käytönaikaisten sähköisten sekä mekaanisten suureiden mittaamisen ja esittämisen. Opinnäytetyön aiheena on oikosulkumoottorin toimintaa mittaavan mittausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Mittausjärjestelmä koostuu fyysisestä mittauslaitteistosta ja LabVIEW-pohjaisesta mittausohjelmistosta. Mittausjärjestelmä toteutettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun sähkölaboratorion tarpeisiin.

Tarve mittausjärjestelmälle nousi sähkötekniikan opiskelijoiden laboratoriotöiden monipuolistamisesta. Aiemmin opiskelijat ovat tutkineet sähkömoottorin pyörimisnopeuden ja virran muutoksia erilaisissa kuormitustilanteissa. Toteutettavan mittausjärjestelmän tuli mahdollistaa useiden sähkömoottorin toimintaa kuvaavien suureiden esittämisen graafisessa muodossa. Tehosuureiden ja tehokertoimen keskinäiset suhteet yhdessä antotehon ja hyötysuhteen kanssa antavat opiskelijalle hyödyllistä tietoa sähkömoottoreiden taloudellisesta käytöstä. Mittausjärjestelmän avulla opiskelijoiden on myös mahdollista tutkia syöttävän sähköverkon sähkön laatua. Säädettävällä alipäästösuodatuksella pystytään tutkimaan yliaaltojen esiintyvyyttä sähköverkossa sekä niiden suodatusta.

LabVIEW-ohjelmointiympäristö mahdollistaa mittalaitteiden käyttämisen erilaisten mittausten suorittamisessa sekä mittaustulosten prosessoinnin ja esittämisen. Ohjelmiston graafinen käyttöliittymä ja laaja laitteistotuki on aikaansaanut sen yleistymisen teollisuuden mittausympäristöissä sekä tutkimuskäytössä. Hakan ja Eyup (2014) esittivät julkaisussaan LabVIEW-pohjaisen mittausjärjestelmän, jota käytettiin oikosulkumoottorin toimintasuureiden mittauksessa. Heidän kehittämää mittausjärjestelmää oli myös mahdollista käyttää opetustarkoituksessa.

Opinnäytetyössä osa tuloksista on laskettu avaruusvektorilaskennan avulla. Ignatova, Granjon ja Bacha (2009) esittelivät avaruusvektorilaskentaan perustuvan menetelmän jännitekuoppien ja jännitteennousujen analyysiä varten. Jännitekuopat ja jännitteennousut ovat merkittäviä sähkön laatua heikentäviä tekijöitä. Julkaisussa esitetyillä menetelmillä olisi mahdollista havainnollistaa opiskelijoille symmetristen ja epäsymmetristen jännitekuoppien ja jännitteennousujen vaikutuksia sähköverkkoon. Niiden tuomalla lisätiedolla olisi lisäarvoa opiskelijoiden sähkövoimatekniikan opintoihin.

2 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää laboratoriokäyttöön soveltuvan mittausjärjestelmän luomisen edellytykset, joihin oli luotettavien mittaustulosten saavuttaminen. Opinnäytetyö rajattiin mittauskomponenttien sähköisen toiminnan tutkimiseen, mittausasetelman rakentamiseen sekä ohjelmiston luomiseen. Opinnäytetyön avulla selvitettiin vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Onko sähköisiä häiriöitä mahdollista vähentää fyysisillä rakenneratkaisuilla tai ohjelmallisella suodatuksella?
- Ovatko mittausjärjestelmällä saavutetut tulokset luotettavia?

Opinnäytetyö on luonteeltaan kehitystutkimus. Kanasen (2015, 39) mukaan kehittämistutkimus ei ole erillinen tutkimusote, vaan yhdistelmä tutkimus, jonka tuloksena luodaan muutosta. Muutoksella haetaan ratkaisua ongelmaan tai kehityskohteeseen.

Opinnäytetyön tutkimusote on laadullinen. Opinnäytetyössä käytettiin myös matemaattisia menetelmiä tulosten arviointiin, mutta menetelmät eivät lukeutuneet määrällisen tutkimusotteen menetelmiin.

Kehittämistutkimuksessa tutkimustyön tuloksena saavutettava muutos tapahtuu yleensä syklisen tutkimuksen tuloksena. Työ perustuu suunnittelulle ja tutkimukselle, joiden seurauksena tehdään muutoksia tutkittavaan kohteeseen. Tavoitteena on saavuttaa tuloksia, joiden avulla saavutetaan haluttu muutos kohteeseen. Kehittämissuunnittelussa suunnittelu, tutkimus ja tulosten havainnointi voi tapahtua usean syklin aikana. (Kananen 2015, 39-42.)

Mittauskomponenttien sähköisen toiminnan tutkiminen tapahtui testimittauksilla, joiden perustana toimi datalehtien pohjatiedot. Testimittauksilla varmistettiin komponenttien luotettava toiminta. Jokainen virta- ja jännitemuuntaja testattiin yhtenevillä mittausvirroilla ja -jännitteillä. Näin varmistettiin mittalaitteiden antamien tulosten keskinäinen yhteneväisyys.

Laadullista tutkimusotetta vaadittiin mittausjärjestelmän luomisessa. Mittauskotelon rakentamisessa tehtiin etukäteissuunnitteluun perustuvia ratkaisuja, jotta mittalaitteiden ja muiden komponenttien toiminta on mahdollisimman luotettavaa mittauksien aikana. Lisäksi mittausasetelman suunnittelussa otettiin mahdollisimman laajasti huomioon jatkokehitystarpeet sekä mittaus tapahtuman suojaaminen sähkömagneettisilta häiriöiltä. Mittaustulosten arvojen luotettavuutta arvioitaessa yhdisteltiin sähkötekniikan teoriaa analogi- ja digitaalitekniikan matemaattisin menetelmin.

3 Teoriapohja mittausjärjestelmän mittauksille

3.1 Oikosulkumoottorin sähköiset ja mekaaniset suureet

Oikosulkumoottorin avulla muutetaan sähköverkosta otettu teho moottorin akselin kautta syötettäväksi mekaaniseksi antotehoksi. Oikosulkumoottorin kytkentä sähköverkon vaihejohtimiin L_1 , L_2 ja L_3 voi olla toteutettu tähtikytkennällä tai kolmiokytkennällä. Kytkentätapa vaikuttaa moottorin käämien yli vaikuttavan jännitteen ja käämien läpi kulkevan virran suuruuteen. Tähtikytkennässä moottorin käämien läpi kulkevat vaihevirrat I_k ovat yhtä suuret kuin vaihejohtimien L_1 , L_2 ja L_3 päävirrat. Käämien yli vaikuttaa vaihejännite $U_k = U/\sqrt{3}$, missä U on pääjännite. Kolmiokytkennässä käämien päiden yli vaikuttaa pääjännite. Käämien läpi kulkeva vaihevirta $I_k = I/\sqrt{3}$, missä I on päävirta. Kolmivaiheisessa sähkömoottorissa pätö- ja loisteho on kolmen vaihetehon summa. Kun otetaan huomioon kytkentätavasta riippuvat käämivirrat ja -jännitteet, on kolmen vaiheen kokonaispätö- eli ottoteho kaavan 1 mukainen. Loisteho on kaavan 2 ja näennäisteho kaavan 3 mukainen.

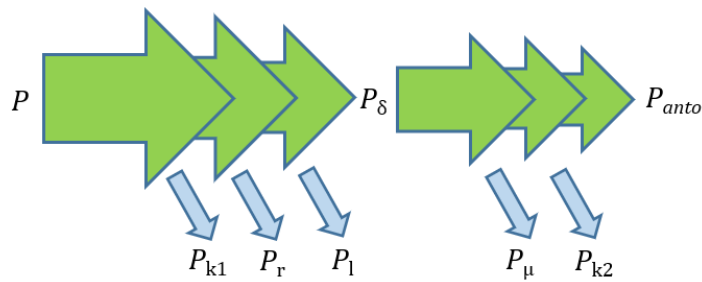
$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi \quad (1)$$

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi \quad (2)$$

$$S = \sqrt{3}UI \quad (3)$$

Kaavoissa 1 ja 2 kulma φ on jännitteiden ja virtojen välinen vaihesiirtokulma. (Aura 2002, 231-244.)

Sähkömoottorin hyötysuhdetta määritettäessä otetaan huomioon sähköverkosta otettu pätöteho ja akselille syötettävä mekaaninen antoteho. Ottotehosta häviää osa staattorin ja roottorin häviöihin kuvion 1 mukaisesti.



P = otto- eli pätöteho
 P_{anto} = anto- eli mekaaninen teho
 P_{δ} = ilmaväliteho
 P_{k1} = staattorin resistiivihäviöt
 P_{k2} = roottorin resistiivihäviöt
 P_r = rautahäviöt
 P_{μ} = mekaaniset häviöt
 P_l = lisähäviöt

Kuvio 1. Sähkömoottorin tehokaavio (Aura 2002, 330)

Sähkömoottorin antoteho määritellään taajuuden f (Hz) ja vääntömomentin T (Nm) avulla kaavan 4 mukaisesti

$$P_{anto} = 2\pi \cdot f \cdot T \quad (4)$$

Antoteho saadaan kaavan 5 mukaiseksi, kun lasketaan taajuus pyörimisnopeuden funktiona f (Hz) = n (rpm)/60.

$$P_{anto} = \frac{T \cdot n}{9550} \quad (5)$$

Sähkömoottorin hyötysuhde on ottotehon ja antotehon avulla määritettynä kaavan 6 mukaisesti

$$\eta = \frac{P_{anto}}{P} \cdot 100\% \quad (6)$$

Oikosulkumoottorin magneettikenttä pyörii napaluvun määrämällä staattorinopeudella n_s . Roottorin pyörimisnopeus n on kuormitustilanteessa pienempi kuin staattorinopeus. Nopeuksien erotusta Δn kutsutaan absoluuttiseksi jättämäksi kaavan 7 mukaisesti. Suhteellinen jättämä s lasketaan kaavan 8 mukaisesti. (Aura 2002, 323-331.)

$$\Delta n = n_s - n \quad (7)$$

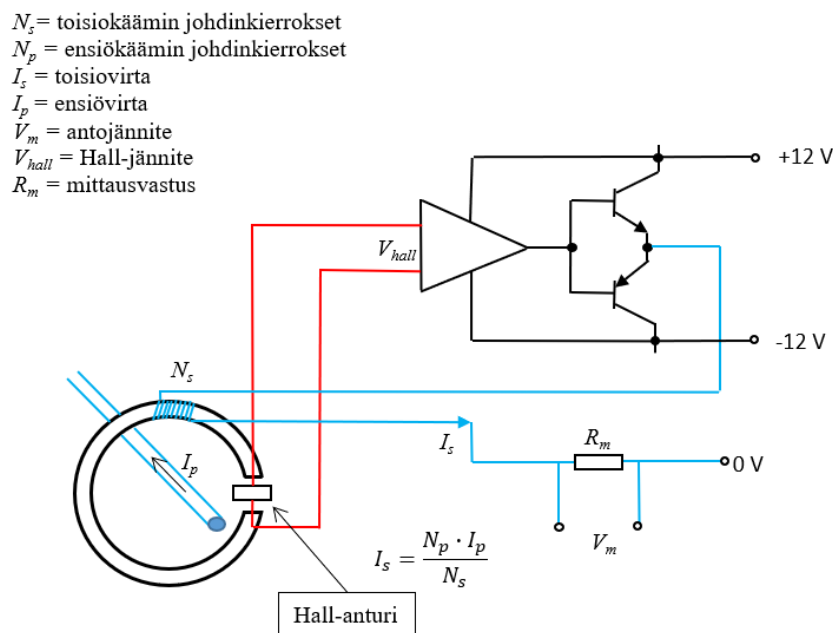
$$s = 100\% \cdot \frac{\Delta n}{n_s} \quad (8)$$

3.2 Mittamuuntajat

Jännite- ja virtamuuntajat ovat mittamuuntajia, joita käytetään sähköisissä piireissä mittalaitteiden ja suojauslaitteiden yhteydessä. Jännite- ja virtamuuntajat ovat rakenteeltaan vastaavia normaalien tehomuuntajien kanssa. Mittamuuntajat muuntavat ensiöjännitteen ja -virran toisioon mittalaitteiden ja suojauslaitteiden vaatimiin nimellisarvoihin. Lisäksi mittamuuntajien tehtävänä on erottaa mittalaitteet, suojauslaitteet sekä käyttäjät galvaanisesti ensiöpiiristä. Mittamuuntajat suojaavat henkilöitä ja niihin kytkettyjä laitteita pienen toisiojännitteen ja -virran sekä mahdollisen etäisen sijoituspaikan ansiosta. (Aura 2000, 293-299.)

Elektronisissa sovelluksissa mittamuuntajina käytetään useasti Hall-ilmiöön perustuvia komponentteja. Niiden käyttö on useasti perusteltua niiden kustannustehokkuuden, kompaktin koon sekä stabiiliisuuden vuoksi erilaisissa käyttötilanteissa. Hall-ilmiössä mitattava suure on Hall-jännite, joka muodostuu magneettikentässä olevan Hall-elementin laidoille. Syntyvän jännitteen suunta on poikittainen sekä magneettikentälle että mitattavan virran suunnalle. Hall-jännite on suoraan verrannollinen sekä virran että magneettikentän suuruuteen. Hall-anturissa on lisäksi erillinen differentiaalivahvistin, joka vahvistaa heikkoa Hall-jännitettä. (Hall Effect Sensing and Application n.d., 3-5.)

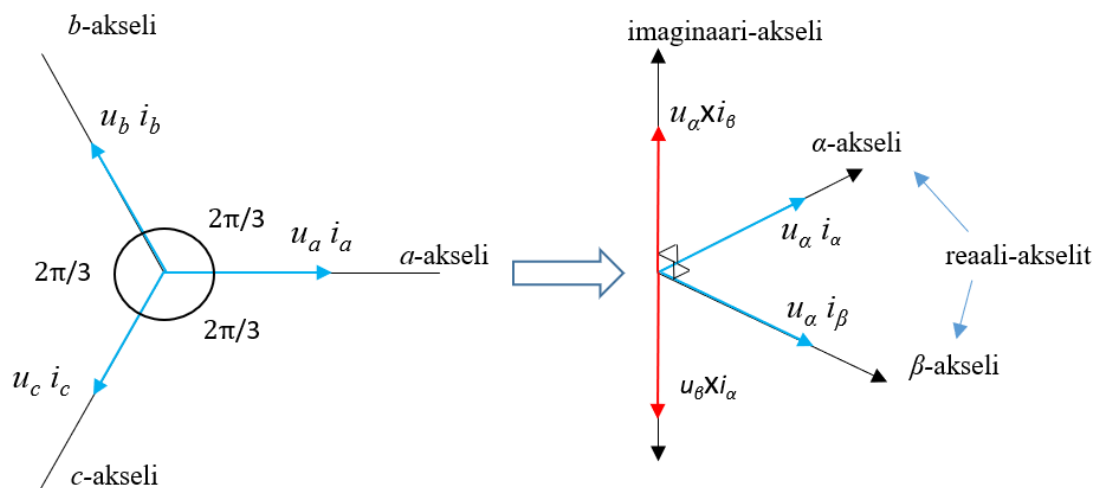
Virran mittaukseen tarkoitetut anturit voivat olla joko avoimen silmukan lineaarisia antureita tai suljetun silmukan antureita. Avoimen silmukan lineaarisissa antureissa mitattava virta saa aikaan magneettikentän, joka saa aikaan anturin ytimeen magneettivuon. Syntynyt magneettivuon kulkee Hall-anturin läpi, joka muodostaa mitattavan virtaan verrannollisen Hall-jännitteen. Suljetun silmukan antureissa mitattu Hall-jännite vahvistetaan edelleen differentiaalivahvistimessa, jonka antovirta syötetään anturin ytimen ympärillä olevan johdinkelan läpi. Johdinkelaan syntyvä magneettivuon on peilikuva alkuperäisestä magneettivuosta, minkä ansiosta nettomagneettivuon suljetun silmukan antureissa on nolla. Negatiivisen takaisinsyötön ansiosta anturin toisiovirta vastaa mitattavaa ensiövirtaa. Toisiovirran suuruus saadaan kertomalla ensiövirta ensiö- ja toisiokierrosten suhteella. Toisiovirta syötetään erillisen mittausvastuksen läpi, jonka yli muodostuu mitattava jännite. Suljetun silmukan anturit ovat nopeampia reagoimaan muutoksiin sekä tarkempia kuin avoimen silmukan anturit. (Hall Effect Sensing and Application n.d., 3-5, 43-46; Milano 2018, 1.) Kuviossa 2 on malli suljetun silmukan anturin toiminnasta.



Kuvio 2. Suljetun silmukan virran mittausanturin toimintaperiaate (Hall Effect Sensing and Application n.d., 40)

3.3 Hetkellinen pätöteho ja hetkellinen loisteho

Opinnäytetyössä mitatut kolmivaihevirrät ja -jännitteet muutettiin a-b-c-koordinaatistosta α - β -0-koordinaatistoon käyttäen Clarcken muunnoksesta johdettua avaruusvektoriesitystä. Clarcken muunnoksessa johdetut liitteen 1 mukaiset kaavat mahdollistavat kolmivaihevirtojen ja -jännitteiden avulla vaihtosähkömoottorin sähkösuureiden laskemisen. Akagi, Kanazawa ja Nabae (1984) ovat tutkimuksessaan esittäneet kuvion 3 mukaisen havainnollistuksen koordinaatiston muunnoksesta. Kuvion 3 vasemmassa laidassa ovat kolmivaihesuureet samassa tasossa 120° kulmassa toisiinsa nähden. Clarcken muunnoksesta saadut virta- ja jännitekomponentit on esitetty kuvion 3 oikeassa laidassa. α - ja β -akselit sijaitsevat reaalitasossa.



Kuvio 3. Koordinaatiston muunnos Clarcken muunnoksen mukaisesti (Akagi ym. 1984)

Koordinaatiston muunnos liittyy Akagin, Kanazawan, Fujitan ja Nabaen (1983) esittämään teoriaan, jolla mahdollistettiin hetkellisen loistehon laskeminen. Tutkimusryhmä esitti uudeksi sähköiseksi suureeksi imaginäärisen tehon q , joka määritellään kaavan 9 mukaisesti α - β -akseliston jännitteen ja virran vektorisuureiden avulla.

$$\mathbf{q} = \mathbf{u}_\alpha \times \mathbf{i}_\beta + \mathbf{u}_\beta \times \mathbf{i}_\alpha \quad (9)$$

Imaginaarinen teho sijaitsee kuvion 3 imaginaariakselilla ja hetkellinen pätöteho reaalisosassa. Hetkellisen loistehon q suuruus lasketaan kaavalla 10.

$$q = u_\beta i_\alpha - u_\alpha i_\beta \quad (10)$$

Hetkellinen pätöteho voidaan laskea molempien koordinaatistojen suureiden avulla kaavalla 11 tai 12.

$$p = u_\alpha i_\alpha + u_\beta i_\beta \quad (11)$$

$$p = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c \quad (12)$$

Akagi ym. (1984) esittivät julkaisussaan myös nollajärjestelmän virran, jännitteen ja hetkellisen tehon, jotka lasketaan kaavoilla 13, 14 ja 15.

$$u_0 = \frac{1}{\sqrt{3}}(u_a + u_b + u_c) \quad (13)$$

$$i_0 = \frac{1}{\sqrt{3}}(i_a + i_b + i_c) \quad (14)$$

$$p_0 = u_0 \cdot i_0 \quad (15)$$

Joäl ja Sepúlveda (2003) esittivät julkaisussaan koordinaatiston muunnoksen, jossa oli mukana myös nollajärjestelmän komponentit. Muunnos tapahtuu kaavojen 16 ja 17 mukaisesti kolmivaiheisille jännite- ja virtakomponenteille.

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ u_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (17)$$

Loistehomittari antaa tulokseksi aikakeskiarvon loistehosta. Tulos kuvaa hyvin loistehoa tasapainoisille sinimuotoisille jännitteille. Hetkellinen pätöteho, loisteho ja nollajärjestelmän teho jakautuvat keskiarvoisiin tasakomponentteihin sekä vaihteleviin komponentteihin. Hetkellisen pätötehon keskiarvo on ainoa komponentti, joka siirtää tehoa lähteen ja kuorman välillä. Aktiivisuodattiminen käytöllä kompensoidaan hetkellisen pätötehon vaihteleva komponentti sekä hetkellinen loisteho ja nollajärjestelmän teho kokonaisuudessaan. Hetkellisen loistehon kompensointi on olennaista varsinkin sähköverkon muutostilanteissa sekä harmonisten yliaaltovirtojen ollessa läsnä. (Joäl & Sepúlveda 2003; Yanuarsyah & Slamet 2005.)

Ignatova ym. (2009) esittivät julkaisussaan Clarken muunnoksesta edelleen johdetun avaruusvektoriesityksen. Johdettu avaruusvektoriesitys ja siitä saadut yhtälöt vastaavat opinnäytetyön toimeksiantajan toimittaman materiaalin teoriapohjaa ja yhtälöitä.

3.4 Mittausasetelma

Mittauksissa on mahdollista käyttää joko RSE- tai differentiaalista mittausta. RSE-mittauksissa käytetään mitattaville laitteille yhteistä maadoituspistettä. Differentiaalimittauksissa käytetään tiedonkeruulaitteen kahta kanavaa yhtä mittalaitetta varten. Tällöin pystytään vähentämään häiriöiden esiintyvyyttä mittauksissa. Mittaustapojen

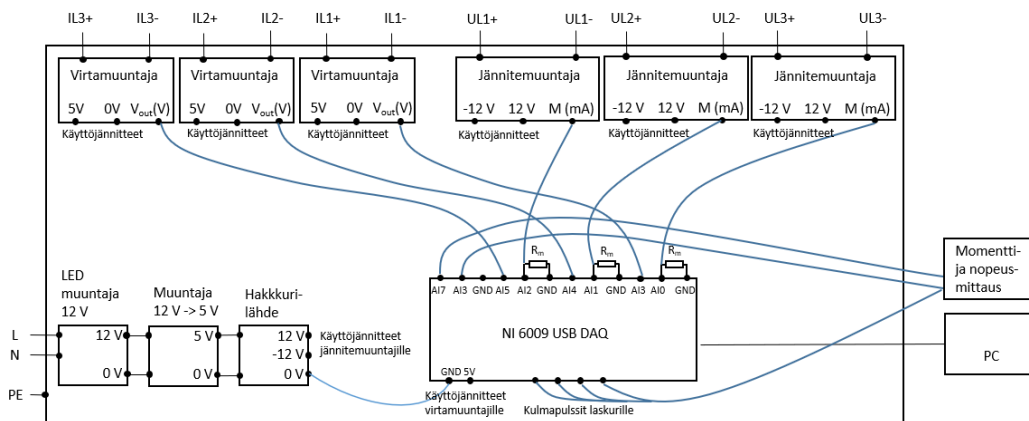
periaatteet on esitetty kuviossa 4. Mittaustavan valintaan vaikuttaa mitattavan kohteen maadoitustapa. Kelluvia lähteitä on mahdollista mitata molemmilla mittaustavoilla. Kelluvilla lähteillä ei ole erillistä maadoituspistettä, tällöin ei synny mittausta häiritsevää maasilmuikkajännitettä. Syntyvä maasilmuikkajännite saa aikaan mittauksia häiritsevän silmuikkavirran. RSE-mittauksen käyttö on mahdollista, jos mittauksen jännitealue on $\pm 10V$, mittajohtimien pituus on alle 3 m ja mittasignaalit voivat käyttää yhteistä maapistettä. Yhteisen maapisteen käyttäminen edellyttää kelluvien lähteiden mittaamista. Differentiaalimittauksen käyttö on suositeltavaa, jos edelliset vaatimukset eivät täyty tai mittausjohtimet ovat sijoitettu häiriöiseen ympäristöön. Differentiaalimittausta on myös käytettävä, jos mitattava signaali on niin pieni, että mittausresoluutio ei riitä RSE-mittauksessa. Differentiaalimittauksessa mittalaitteen mittausalue voidaan asettaa pienemmäksi kuin $\pm 10V$. Tällöin mittausresoluutio saadaan paremmaksi kuin RSE-mittauksessa. (NI USB-6008/6009 User Guide 2015, 13-17.)

Analog Input Mode	Floating Signal Sources (Not Connected to Building Ground)	Ground-Referenced Signal Sources
Examples	<ul style="list-style-type: none"> • Ungrounded thermocouples • Signal conditioning with isolated outputs • Battery devices 	Plug-in instruments with non-isolated outputs
Differential (DIFF)		
Referenced Single-Ended (RSE)		<p>NOT RECOMMENDED</p> <p>Ground-loop potential ($V_A - V_B$) are added to measured signal.</p>

Kuvio 4. Differentiaalisen ja RSE-mittausasetelman periaatteet (NI USB-6008/6009 User Guide 2015, 13)

4 Mittauslaitteisto

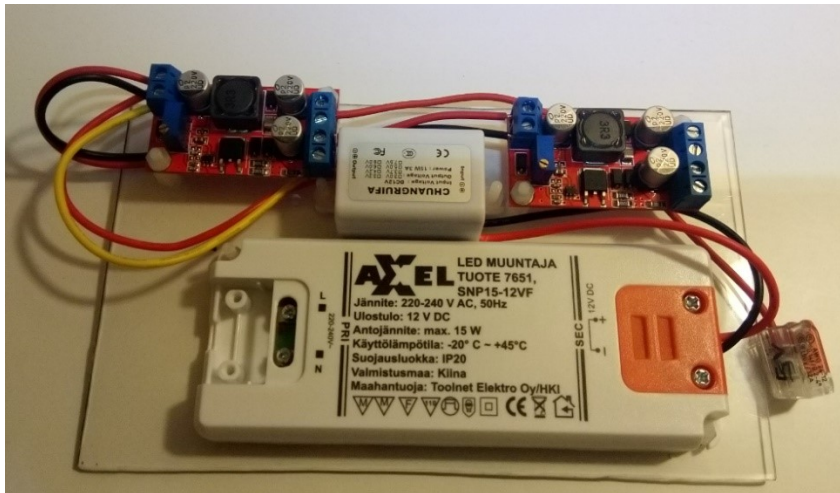
Opinnäytetyön toteutukseen kuului fyysisen mittauslaitteiston rakentaminen. Mittauslaitteiston komponenttien kaaviokuva on esitetty kuviossa 5. Mittauslaitteisto koostuu jännitelähteistä, kolmesta virtamuuntajasta, kolmesta jännitemuuntajasta, NI 6009 USB DAQ -tiedonkeruulaiteesta sekä moottorin momentin ja kierrosnopeuden mittalaitteesta.



Kuvio 5. Mittauslaitteiston komponenttien kaaviokuva

4.1 Jännitelähteet

Mittauslaitteiston komponentit tarvitsevat käyttöjännitteiksi jännitetasot 5 V, -12 V ja 12 V. Mittauslaitteiston sähkösyöttö (ks. kuvio 6) on toteutettu 12 V LED-muuntajalla. 230 V jännitesyötön yhteydessä mittauslaitteistoon tuodaan PE-suojajohdin. LED-muuntajan 12 V muunnetaan 5 V jännitteeksi, jolla syötetään hakkuriteholähdettä. Hakkuriteholähde muodostaa jännitemuuntajille jännitetasot -12 V ja 12 V.



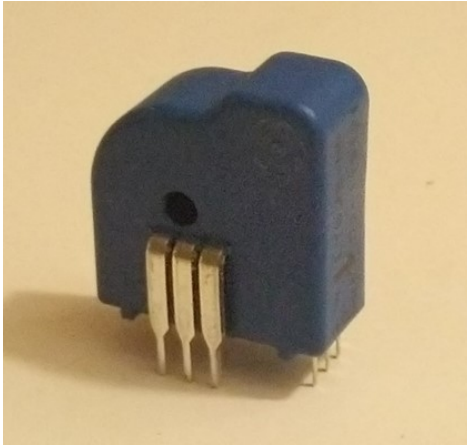
Kuvio 6. Jännitelähteiden kytkentäasetelma

4.2 Virtamuuntaja LTS 25-NP

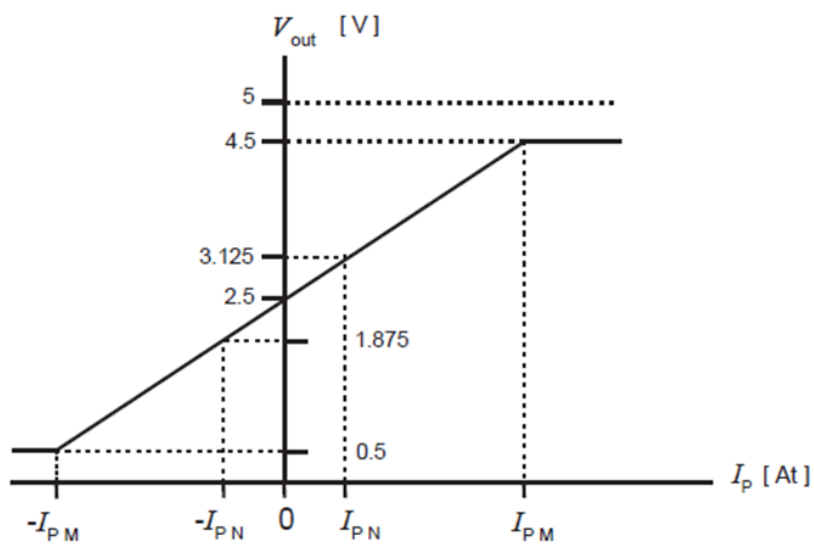
Virran mittaukseen käytettiin LEM LTS 25-NP -virtamuuntajia (ks. kuvio 7). Virtamuuntajien nimellisvirta I_{pn} on 25 A ja mittausvirta I_p on 0 ... ± 80 A. LTS 25-NP -virtamuuntajan käyttöjännite on 5 V, minkä takia mittauksen antojännite V_{out} (liite 2) on kaavan 18 mukainen

$$V_{out} = 2,5 \pm \left(0,625 * \frac{I_p}{I_{pn}} \right) \quad (18)$$

Antojännite saa arvot 0,5 V ... 4,5 V, jolloin anturin toiminta on lineaarista (ks. kuvio 8). Mittausalueen ulkopuolella anturi kyllästyy. Mittausvirtaa 0 A vastaa 2,5 V antojännite. Virtajohtimen syöttö on mahdollista toteuttaa käyttämällä yhtä ensiöjohdinkierrosta viemällä johdin yhden kerran muuntajan läpi. Kytkentä on myös mahdollista toteuttaa muuntajan ”jalkojen” kautta, jolloin voidaan valita 1 – 3 ensiöjohdinkierrosta nimellisvirran muuttamiseksi. Virtajohtimena käytettiin 1,5 mm² johdinta, joka syötettiin virtamuuntajien läpi käyttäen yhtä johdinkierrosta. Johtimen poikkipinta-alan takia mittalaitteiston suurin kuormitusvirta on 10 A.



Kuvio 7. Virtamuuntaja LEM LTS 25-NP



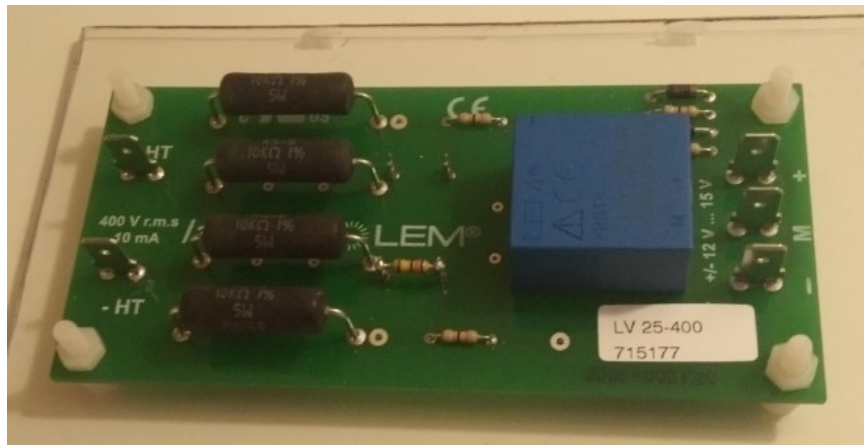
Kuvio 8. LTS 25-NP virtamuuntajan antojännite V_{out} mittausvirran I_p funktiona (liite 2)

4.3 Jännitemuuntaja LV 25-400

Jännitteiden mittauksiin käytettiin LEM LV 25-400 -jännitemuuntajia (ks. kuvio 9).

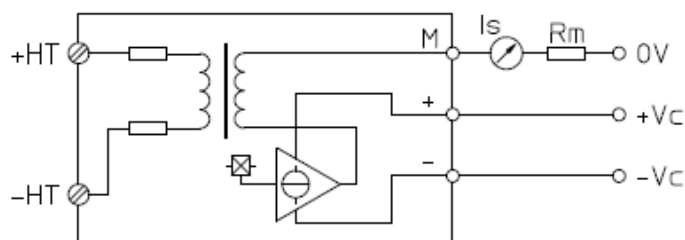
Käytettyjen jännitemuuntajien toiminta perustuu virtamuuntajan LV 25-P toimintaan.

Jännitemuuntajalle tulevien ensiöjänniteliittimien (+HT ja -HT) kanssa on kytketty sarjaan esivastus, jolla virta mitoitetaan virtamuuntajan virran nimellisarvoksi I_{PN} , joka on 10 mA. Tällöin jännitemuuntajan mittausalue on 0 ... ± 600 V ja nimellisjännite ± 400 V. Käytettyjen jännitemuuntajien toisiopuolen käyttöjännite on ± 12 ... 15 V. Käyttöjännite syötetään liittimiin +Vc ja -Vc (ks. kuvio 10). Tällöin antojännite skaalautuu 0 V molemmille puolille. Liittimen M antovirta muutetaan antojännitteeksi erillisen mittausvastuksen R_m yli. Antojännitteen amplitudi määräytyy käytetyn mittausvastuksen R_m mukaan. Mittausvastuksena R_m käytettiin 150 Ω vastuksia.



Kuvio 9. Jännitemuuntaja LEM LV 25-400

Connection



Kuvio 10. Jännitemuuntajan kytkentäkaavio (liite 3)

4.4 Tiedonkeruulaite NI 6009 USB DAQ

Tiedonkeruulaitteena käytettiin National Instrumentsin 6009 USB mallia. Laitteen valinta perustui sen kompaktiin kokoon sekä riittäviin mittausominaisuuksiin. Laitteen soveltuvuus mittausjärjestelmään varmistettiin myös valmistajalta (liite 4). RSE-mittauksessa 6009 mittaa signaalia 13 bitin resoluutiolla. Kuviossa 11 on esitetty ulkoisilta mitoiltaan vastaava 6008 USB DAQ, jota käytettiin opinnäytetyössä jännitelähteiden, jännitemuuntajien ja virtamuuntajien toiminnan ja tarkkuuden testimitauksissa.



Kuvio 11. Tiedonkeruulaite NI 6008 USB DAQ

4.5 Mittausanturi T20WN ja mittalaite VK20

Momentin ja pyörimisnopeuden mittaus toteutettiin HBM:n valmistamalla anturilla T20WM ja mittalaitteella VK20A (ks. kuvio 12). Anturi oli asennettu moottorin ja

kuorman väliselle akselille kuvion 13 mukaisesti. Mittalaite syöttää 14,4 V käyttöjännitteen anturille sekä mittaa momentin, pyörimisnopeuden ja kulmatiedon anturilta. T20WM anturin tuottama momenttiarvo skaalautuu $\pm 10V$ antojännitteeksi. Anturi syöttää kulmatietoa yhden asteen tarkkuudella. (Operating Manual Torque... n.d..)



Kuvio 12. Momentin ja pyörimisnopeuden mittalaite VK20A



Kuvio 13. Momentti- ja pyörimisnopeusanturi T20WN asennettuna moottorin ja kuormamoottorin väliselle akselille

4.6 Mittauskotelo

Mittauskotelo (ks. kuvio 14) rakennettiin alumiinisesta kotelosta. Kotelo pinnoitettiin PVC-levyllä ja levyt kiinnitettiin runkoon muovipulteilla. PVC-levyillä ja muovipulteilla saavutettiin riittävä kosketussuojaus jännitteelle alttiilta rakenteilta. Kotelon sisäiset metalliset runkorakenteet sekä häiriösuojauksessa käytetyt alumiinilevyt yhdistettiin PE-suojajohtimella syöttävän virtajohdon PE-suojajohtimeen.

Jännitelähteiden, virtamuuntajien, jännitemuuntajien ja tiedonkeruulaitteen väleihin asennettiin alumiinilevyjä. Levyjen tarkoituksena oli estää sähköisten häiriöiden siirtyminen toisiin mittalaitteisiin ja mittausjohtimiin. Mittaus- ja jännitteensyöttöjohtimina käytettiin mahdollisimman paljon häiriösuojattua johdinta.

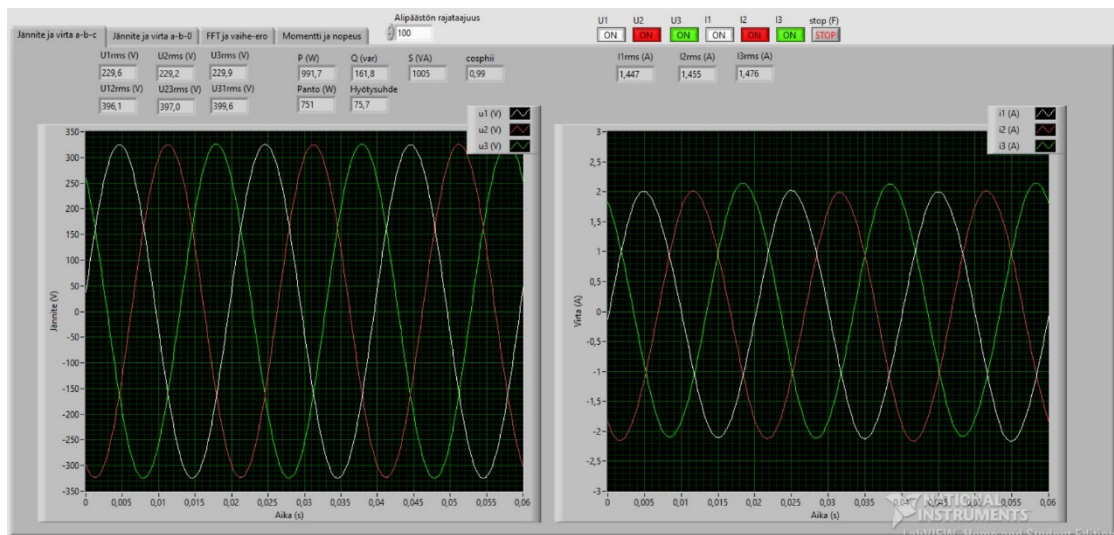
Mittauskotelon ulkokuoreen sijoitettiin turvalaboratorioholkit jännitteen ja virran mittauksille. Momentin ja pyörimisnopeuden mittausta varten käytettiin 7-napaista naaras-uros-liitinparia. Tietokoneen liitäntää varten mittauskoteloon asetettiin USB-liitin, jonka metallirunko liitettiin kotelon sisäisiin PE-johtimiin.



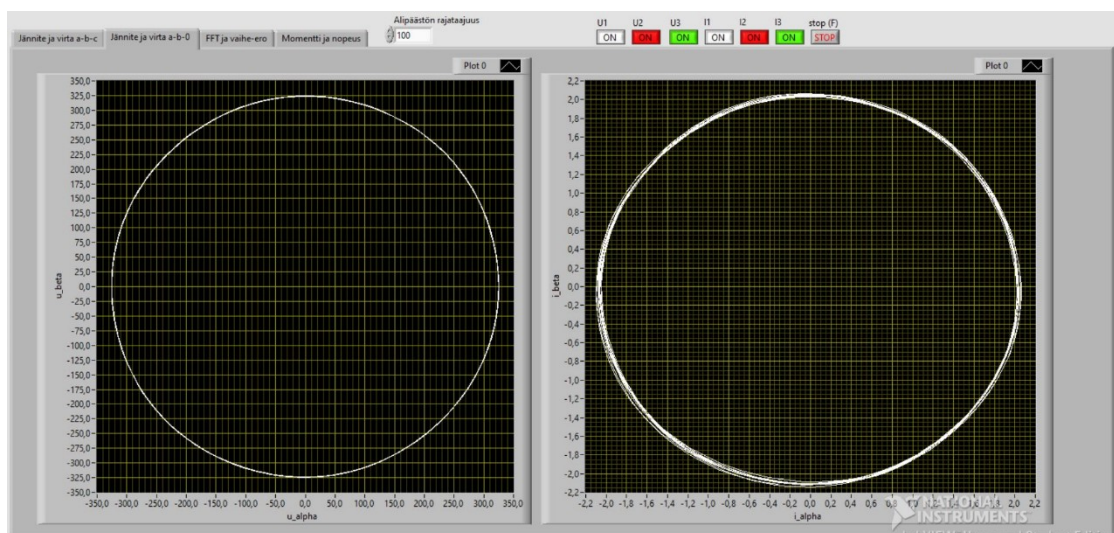
Kuvio 14. Mittauskotelo edestä ja takaa

4.7 LabVIEW-mittausohjelma

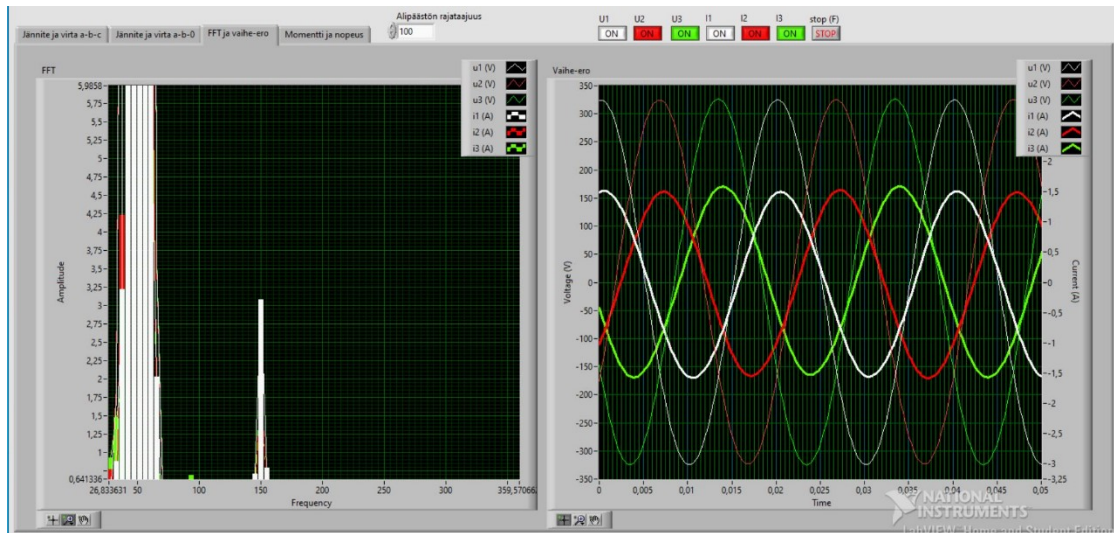
Mittausohjelma kerää mittauskortilta mittausdataa jännitteistä, virroista, momentista sekä pyörimisnopeudesta. Käyttäjä pystyy valitsemaan ohjelmasta mitkä jännitteet tai virrat ohjelmaan luetaan. Ensimmäiselle välilehdelle (ks. kuvio 15) tulostuvat valitut kolmivaiheiset jännitteet sekä virrat. Kuvaajien lisäksi ensimmäisellä välilehdellä esitetään oikosulkumoottorin sähkösuureet sekä mekaaninen teho. Toisella välilehdellä (ks. kuvio 16) esitetään virran ja jännitteen kuvaajat α - β -0-koordinaatissa. Kolmannella välilehdellä (ks. kuvio 17) on mahdollista tutkia virroista yliaalto- taajuuksia sekä jännitteiden ja virtojen välisiä vaihe-eroja. Neljännellä välilehdellä (ks. kuvio 18) vasempaan ruutuun tulostuu tehokertoimen, virran, momentin ja kierrosnopeuden kuvaajat ajan funktiona. Oikeaan ruutuun tulostuu pätö-, lois- ja näennäis- teho. Lisäksi välilehdelle tulostuu moottorin kierrosluku, absoluuttinen jättämä sekä suhteellinen jättämä.



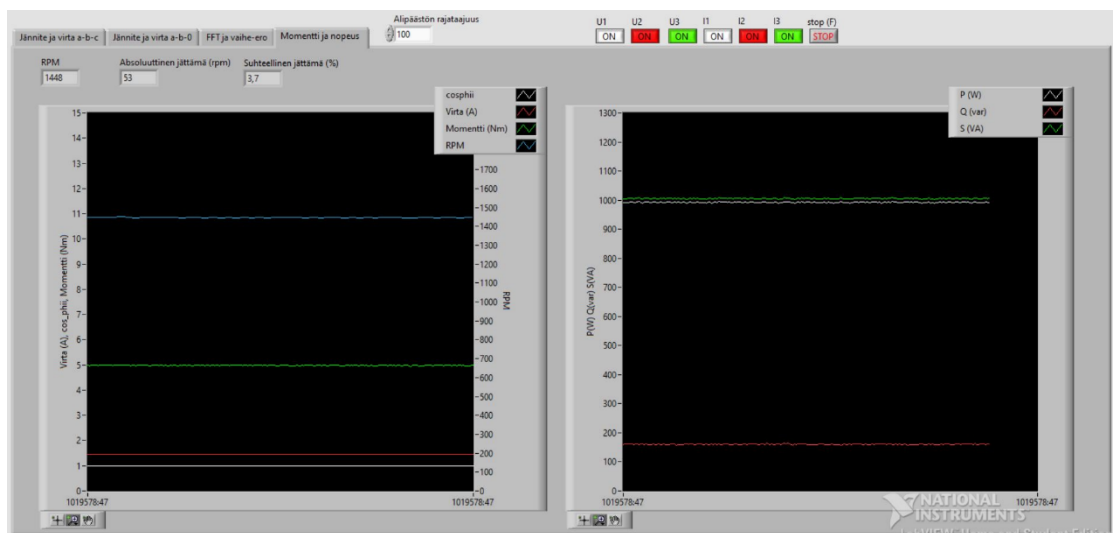
Kuvio 15. Näyttökaappaus kolmivaiheisista jännitteistä ja virroista



Kuvio 16. Näyttökaappaus virroista ja jännitteistä α - β -0-koordinaatistossa



Kuvio 17. Näyttökaappaus kolmannelta välilehdeltä



Kuvio 18. Näyttökaappaus neljänneltä välilehdeltä

5 Tutkimustulokset ja johtopäätökset

Tutkimuksen kannalta olennaiseksi näkökulmaksi nousi fyysisen mittaustalteen häiriösuojaus ja tarpeellisen mittaustarkkuuden saavuttaminen. Tutkimustulokset ovat jaoteltu tutkimuskysymysten mukaisesti. Luotettavuuden varmentamiseksi mit-

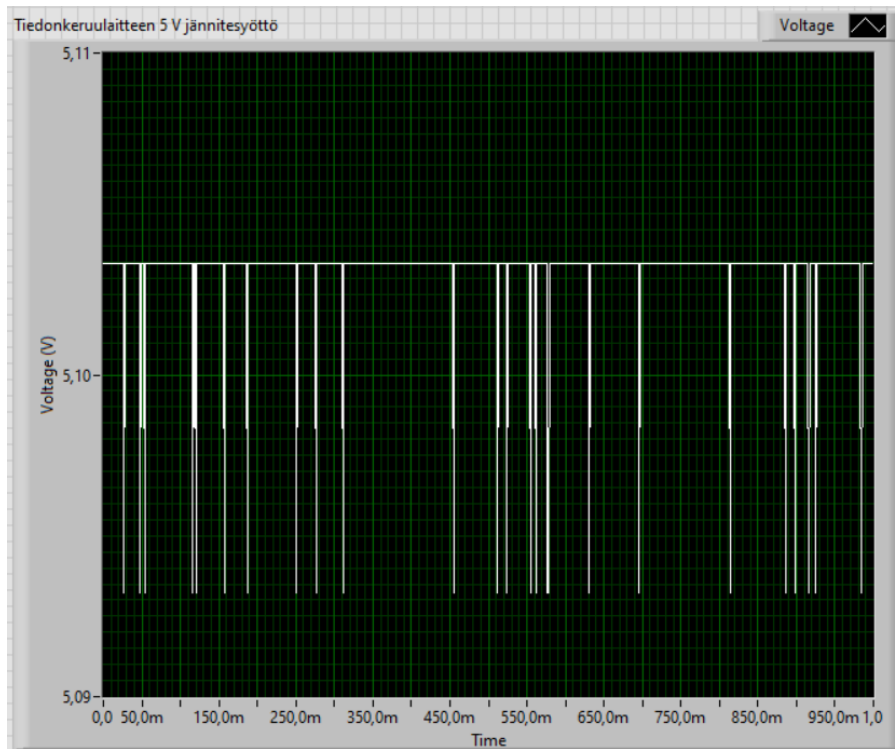
taukset aloitettiin testijännitteillä ja -virroilla, joiden arvot pystyttiin säätämään halutun suuruiseksi. Nämä mittaukset tehtiin aluksi yksivaiheisina jännite- ja virtamuuntajille. Näin varmistettiin mittamuuntajien luotettavat mittaustavat. Seuraavaksi mittausohjelmaa testattiin kolmivaiheisilla jännite- ja virta-arvoilla. Tällöin oli mahdollista lisätä LabVIEW-ohjelman laskennan tarkkuutta vertaamalla mitattuja arvoja syötettyihin arvoihin. Kolmas vaihe mittausasetelman testauksessa oli moottorin toiminta-arvojen mittaaminen ja LabVIEW-ohjelman toiminnan tarkentaminen.

5.1 Häiriöiden poistaminen

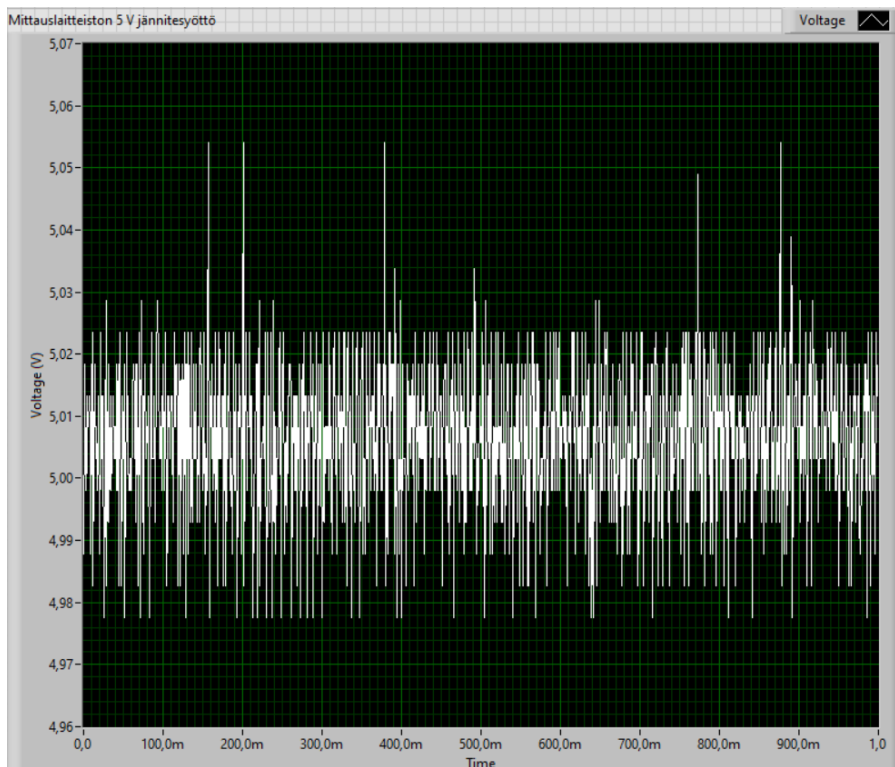
5.1.1 Jännitelähteiden häiriösisältö

Opinnäytetyössä tutkittiin jännitelähteiden tasajännitteen tasaisuutta. Tasajännitteen mukana oleva vaihtojännitekomponentti aiheuttaa virta- ja jännitemuuntajien antosignaaleihin häiriöitä. Opinnäytetyössä havaittiin, että tasajännitelähteiden jännitteen tasaisuudessa voi olla suuria eroja jännitelähteiden välillä. Tasajännitteiden mittausten avulla vaihtojännitekomponenttien aiheuttamat häiriöt saatiin minimoitua.

Virtamuuntajien 5 V jännitteensyöttö tapahtui tiedonkeruulaitteen 5 V syötöstä. Mittauslaitteiston erillisestä 5 V jännitelähteestä tuli virtamuuntajien mittasignaaliin mukaan huomattavaa häiriösignaalia. Käytettäessä tiedonkeruulaitetta 5 V jännitelähteenä oli häiriösignaali huomattavasti vähäisempi. Tiedonkeruulaitteen 5 V jännitesyöttö ajan funktiona on esitetty kuviossa 19 ja erillinen 5 V jännitesyöttö ajan funktiona on esitetty kuviossa 20. Mittauslaitteiston erillisen 5 V jännitesyötön vaihtojännitekomponentin amplitudi on kauttaaltaan noin 40 mV. Satunnaisesti on havaittavissa jopa amplitudiltaan 60 mV vaihtojännitepiikkejä. Mittauksissa käytetyn tiedonkeruulaitteen 5 V syötössä on havaittavissa vain satunnaisia 10 mV jännitepiikkejä.

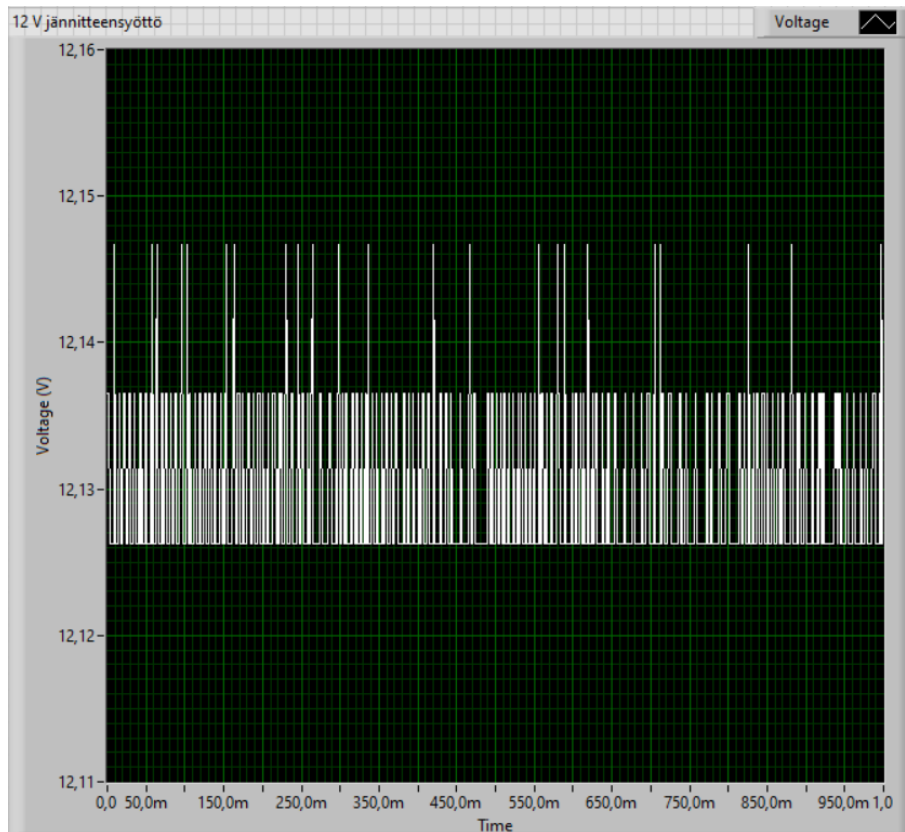


Kuvio 19. Tiedonkeruulaitteen 5 V jännitesyötön tasaisuus

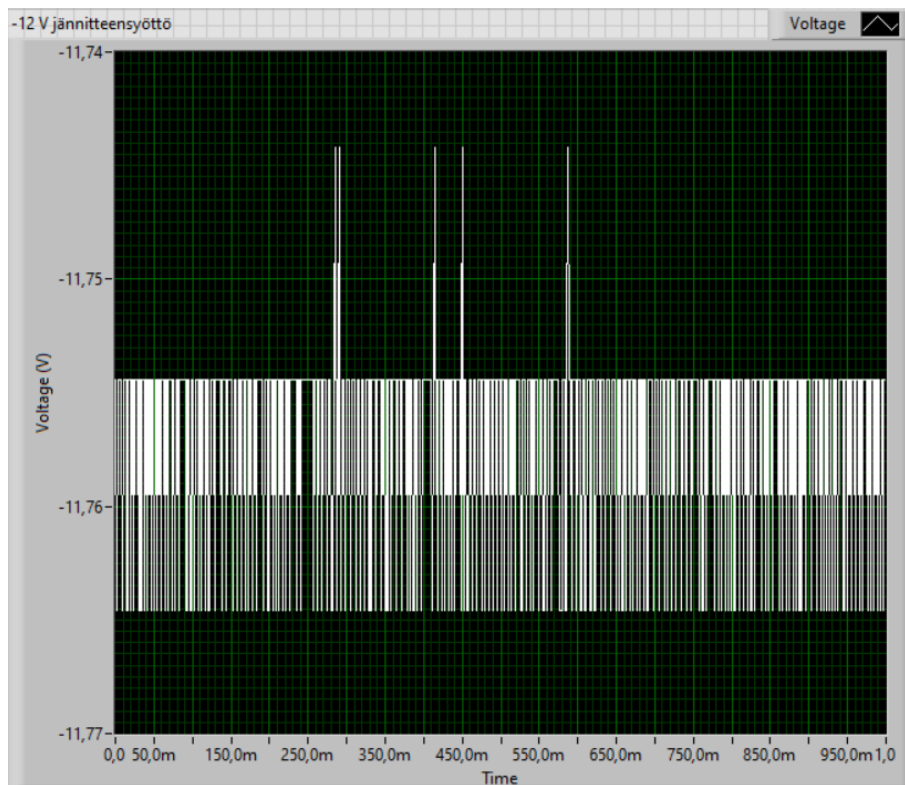


Kuvio 20. Mittauslaitteiston erillisen 5 V jännitesyötön tasaisuus

Kuvioissa 21 ja 22 on esitetty jännitemuuntajien jännitesyöttöinä käytetyt 12 V ja -12 V jännitteet. Hakkuriteholähteen muodostamissa jännitetasoissa on havaittavissa kauttaaltaan 10 mV vaihtojännitekomponentti. Satunnaisesti esiintyy amplitudiltaan 20 mV jännitepiikkejä. Hakkuriteholähteen 5 V jännitesyöttöön käytettiin mittauslaitteiston erillistä 5 V jännitelähdettä, mutta hakkuriteholähde suodatti varsin hyvin 5 V syöttöjännitteestä vaihtojännitekomponentin pois.



Kuvio 21. Jännitemuuntajan 12 V jännitesyötön tasaisuus



Kuvio 22. Jännitemuuntajan -12 V jännitesyötön tasaisuus

5.1.2 Häiriöiden ohjelmallinen suodatus

Virtamuuntajien mittasignaaleissa oli havaittavissa korkeataajuinen häiriösignaali, joka aiheutui todennäköisesti primäärijohtimien keskinäisestä sijoittelusta. Häiriösignaali poistui käytettäessä ohjelmallista alipäästösuodatusta. Jännitemuuntajien mittasignaali ei sisältänyt häiriösignaalia. Mittaustulosten luotettavuuden kannalta myös jännitemuuntajien mittasignaaleille oli tehtävä sama alipäästösuodatus kuin virtamuuntajien mittasignaaleille. Tällöin kaikkien vaihtosähköttausten ohjelmallinen laskenta-aika pysyi samana. Näin varmistettiin, ettei virta- ja jännitemittausten vaihe-ero muuttunut ohjelman sisällä.

5.1.3 Virtasilmukoiden ehkäiseminen

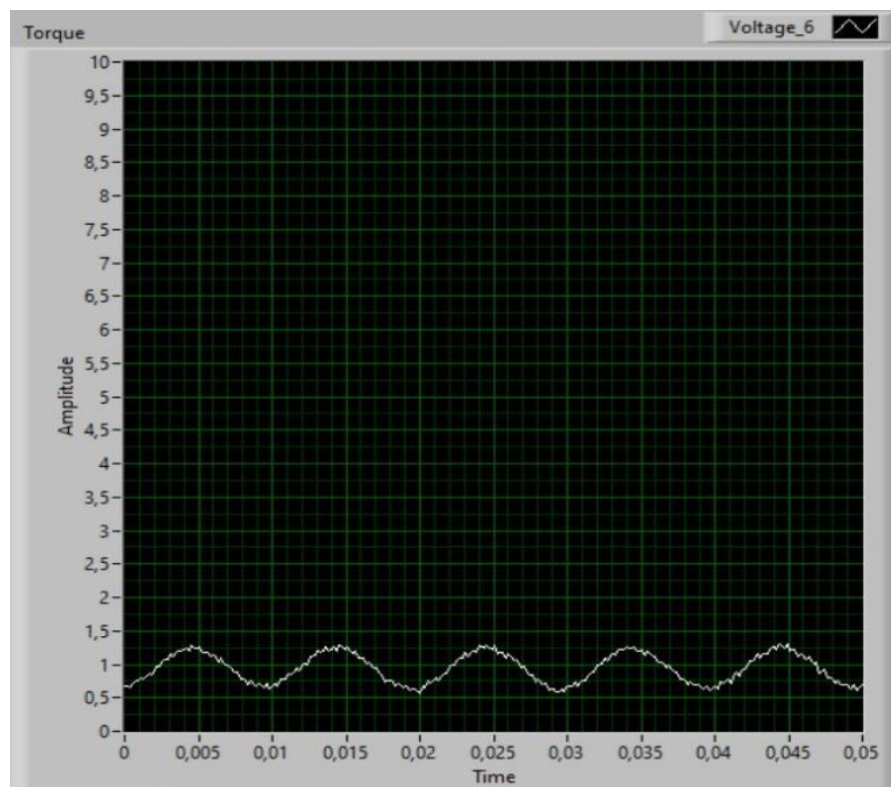
Mittauslaitteistossa oli käytössä LED-muuntajan, ± 12 V hakkuriteholähteen sekä tiedonkeruulaitteen maapotentiaalit. Hakkuriteholähteen 0 V lähtötaso kytkettiin mittalaitteen GND-tasoon, joka samalla toimii myös virtamuuntajien maapotentiaalina. Hakkuriteholähteen 0 V tulo- ja lähtötasojen väliseksi potentiaalieroksi mitattiin 0,06

mV. Sama potentiaaliero mitattiin hakkuriteholähteen ollessa virrallinen tai virraton. Näin varmistuttiin, että maapotentiaalin taso ei muuttunut merkittävästi hakkuriteholähteen vaikutuksesta. Tällöin ei myös päässyt syntymään häiriöitä aiheuttavaa maasilmukkavirtaa.

5.1.4 Momenttimittauksen häiriö

Akselin vääntömomentin mittauksissa ilmeni ylimääräinen 100 Hz häiriösignaali (ks. kuvio 23). Häiriösignaalin lähde oli todennäköisesti joko akselikytkentä tai syöttävä sähköverkko. Häiriösignaalin suuruus oli noin 0,6 V mittausvälillä 0 - 10 V eli 6 %. Häiriön vaikutus minimoitiin käyttämällä mittaustuloksena keskiarvostettua rms-arvoa.

Momentin ja kierrosnopeuden mittalaitteisto käytti erillistä 24 V tasajännitelähdettä, minkä takia momentin mittaus toteutettiin muista mittauksista poiketen käyttämällä differentiaalimittausta. Näin vältettiin mahdollisen maasilmukkavirran syntyminen. Maasilmukkavirta olisi voinut syntyä, jos 24 V tasajännitelähteen maapotentiaalin ja mittauslaitteiston maapotentiaalin välillä olisi ollut eroa.



Kuvio 23. Momenttiin syntynyt häiriö

5.2 Mittaustulosten luotettavuus

Mittausjärjestelmää testattiin kuormittamalla moottoria kahdella eri suuruisella kuormituksella. Tyhjäkäyntiä vastaavalla kuormituksella moottorin akselille oli kytketty ilman kuormaa pyörivä kuormamoottori. Toisessa mittaustilanteessa moottorin kuormitus vastasi noin 68,5 % kuormitusta. Kuormitus tapahtui kuormamoottorilla, jonka ohjaus tapahtui ABB:n DriveStudio-ohjelmalla. Mitattujen jännitteiden ja virtojen luotettavuus tarkistettiin Metrel PowerQ4 MI 2592 sähkön laadun analysaattorilla. Myös jännitteiden ja virtojen avulla laskettuja pätö-, lois- ja näennäistehoa verrattiin analysaattorin mittaustuloksiin. Molemmilla kuormituksilla sähkösuureiden arvot tallennettiin samoilla 10 ajankohdalla LabVIEW-ohjelmalla ja Metrelillä. LabVIEW-ohjelmalla ja Metrelillä mitatut arvot sekä arvoista lasketut keskiarvot \bar{x} ja keskihajonnat σ on esitetty taulukoissa 1 - 4. Taulukoissa 1 ja 2 on tulokset tyhjäkäyntiajasta. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty tulokset kuormitusajasta.

LabVIEW-ohjelman mittaamat jännitteet ja virrat esitettiin ohjelmassa RMS-arvoina, jotka keskiarvostettiin käyttämällä 25 näytteen liukuvaa keskiarvoa. Liukuvan keskiarvon käytöllä mittaustulokset tulostuivat käyttäjälle ilman jatkuvaa vaihtelua. 25 näytteen käyttäminen ei kuitenkaan estänyt muutosten näkymistä mittaustuloksissa. Metrel esitti mittaustulokset 1024 näytteen rms-arvoja (PowerQ4 MI 2592..., 75-78).

Taulukoiden 1 - 4 mittaustuloksista selviää, että LabVIEW-ohjelman antamat tulokset ovat hyvin vertailukelpoista Metrelin antamiin tuloksiin. LabVIEW-ohjelman antamat jännitearvot ovat noin 1 % pienempiä kuin Metrelin tulokset. LabVIEW-ohjelman virta-arvot ovat noin 1 % suurempia kuin Metrelin antamat arvot. Tehoarvojen vaihtelu LabVIEW-ohjelman ja Metrelin tulosten välillä on enimmillään noin 5 %.

Taulukko 4. Metrelin mittaustulokset 10 ajankohdalla kuormitusajossa

	n = 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}	σ
$U_1(V)$	230,8	230,7	230,7	230,7	230,6	230,6	230,5	230,7	230,7	230,7	230,7	0,1
$U_2(V)$	230,5	230,5	230,4	230,4	230,4	230,5	230,4	230,5	230,3	230,3	230,4	0,1
$U_3(V)$	231,5	231,5	231,6	231,5	231,5	231,5	231,5	231,6	231,4	231,4	231,5	0,1
$I_1(A)$	1,446	1,441	1,446	1,446	1,446	1,445	1,446	1,445	1,445	1,445	1,445	0,0
$I_2(A)$	1,443	1,437	1,444	1,444	1,446	1,442	1,444	1,443	1,442	1,442	1,443	0,0
$I_3(A)$	1,464	1,459	1,465	1,465	1,464	1,463	1,468	1,465	1,464	1,464	1,464	0,0
PF	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,0
P(W)	996	992	995	996	996	995	997	995	995	995	995	1,3
Q(var)	138	138	142	138	138	138	138	142	138	138	139	1,7
S(VA)	1005	1002	1005	1005	1005	1004	1006	1005	1004	1004	1004	1,1

5.2.1 Jännite

Jännitemuuntajien mitattu toisiojännite skaalattiin LabVIEW-ohjelmassa sopivalla kertoimella. Jännitemuuntajien syöttämä virtasignaali muutettiin toisiojännitteeksi 150 Ω vastuksien yli. Toisiojännite mitattiin LabVIEW-ohjelmalla ja muutettiin rms-jännitteeksi. Jännitemuuntajien muuntosuhde oli 400 V (rms): 25 mA (rms) (liite 3). Muuntosuhteen ja mitatun rms-jännitteen avulla saatiin toisiojännitteen skaalauskerroimeksi 106,67.

5.2.2 Virta

Virtamuuntajien ulostulojännite oli kaavan 18 mukainen. LabVIEW-ohjelmassa ulostulojännitteestä vähennettiin 2,5 V, jolloin jäljelle jäävä ulostulojännite oli kaavan 19 mukaisesti

$$V_{out} = \pm 0,625 \cdot \frac{I_p}{I_{pn}} \quad (19)$$

LabVIEW-ohjelmaa varten määritettiin skaalauskerroin mitatun ulostulojännitteen ja laskettavan ensiövirran välille. Kaavasta 19 määritettiin skaalauskerroimeksi ulostulojännitteen ja ensiövirran välinen suhde, kun nimellisvirta I_{pn} on 25 A. Skaalauskerroimeksi saatiin 40,0.

5.2.3 Tehot

Taulukoissa 1 - 4 esitetyt pätöteho $P(W)$, loisteho $Q(\text{var})$, näennäisteho $S(\text{VA})$ ja tehokerroin PF laskettiin LabVIEW-ohjelmassa kaavojen 20 - 23 mukaisesti. Kaavat ovat opinnäytetyön toimeksiantajan toimittamien kaavojen mukaiset (liite 1).

$$p = u_a \cdot i_a + u_b \cdot i_b + u_c \cdot i_c \quad (20)$$

$$q = \frac{3}{2}(u_\beta i_\alpha - u_\alpha i_\beta) \quad (21)$$

$$s = \sqrt{p^2 + q^2} \quad (22)$$

$$\cos \varphi = \frac{p}{s} \quad (23)$$

5.2.4 Vääntömomentti

Momenttianturilta mitattu jännitearvo muutettiin LabVIEW-ohjelman momentiksi DriveStudiosta saadun momenttiarvon avulla. DriveStudion kuormitusajossa momentti oli 5 Nm. Momenttiarvon avulla LabVIEW-ohjelmaa varten pystyttiin laskemaan sopiva skaalauskerroin.

5.2.5 Pyörimisnopeus

Pyörimisnopeuden laskemista varten käytetyssä tiedonkeruulaitteessa ei ollut sisäänrakennettua laitteistotukea. Tämän takia ohjelmaan ei pystytty ohjelmoimaan reaaliaikaista kierrosnopeuslaskuria. Kulma-anturin signaali syötettiin tiedonkeruulaitteen laskurille, joka summaa pulseja ohjelman muistiin. Pulssien määrä muutettiin LabVIEW-ohjelmassa kierrosnopeudeksi. Laskenta-aikana käytettiin ajanjaksoa 1000 ms. Tällöin laskenta pysyi tarpeeksi tarkkana ja toisaalta näytöllä näkyvässä kierrosnopeudessa oli mahdollisimman vähän viivettä.

Lasketun pyörimisnopeuden tarkkuutta arvioitiin laskemalla pyörimisnopeus 10 s ajalta pulssit, joiden perusteella saatiin pyörimisnopeudelle arvo 1442 rpm. Vertailuarvona käytettiin DriveStudio-ohjelman laskemia pyörimisnopeuden arvoja samalla 10 s aikajaksolla. DriveStudio laski pyörimisnopeuden arvon 10 ms välein moottorin sähkösuureista. DriveStudion arvoista saatiin pyörimisnopeuden keskiarvoksi 1435 rpm. Ero pyörimisnopeuksien välillä oli 0,5 %.

5.2.6 Tiedonkeruulaitteen mittaustarkkuus

Tiedonkeruulaitteena käytetty NI 6009 USB DAQ oli riittävä perustason mittauksiin. ADC-muuntimen resoluutio RSE-mittauksissa on 13 bittiä ja mittausalue ± 10 V. ADC-muuntimen tarkkuus jännitteenä lasketaan jakamalla mittausalue arvolla 2^n , missä n on ADC-muuntimen resoluutio (Taylor F 1994, 8). Tällöin käytetyn tiedonkeruulaitteen pienin jännitteen erotuskyky on

$$\frac{20 \text{ V}}{2^{13}} = 2,44 \text{ mV}$$

Mittauskytkentää testattiin myös NI 6008 USB DAQ tiedonkeruulaitteella, jonka resoluutio RSE-mittauksessa on vain 11 bittiä. Testivirtana käytettiin n. 1,5 A virtaa. Tällöin mittasignaalista erottui selvästi AD-muuntimen liian pieni resoluutio siniaallon askelmaisuuksena. 6008 mallin jänniteresoluutio on 9,77 mV.

6 Pohdinta

Opinnäytetyössä asetettiin tavoitteeksi mittausasetelman sähköisten häiriöiden vähentäminen ja luotettavien mittaustulosten mittaaminen. Molempien tavoitteiden saavuttaminen vaati syvällistä teoriaan tutustumista ja kattavia testimittauksia. Sähköisten häiriöiden poistaminen vaati mittauslaitteistoon rakenteisiin ratkaisuja, joilla vähennettiin mittausjohtimien toisilleen aiheuttamia häiriöitä. Rakennerratkaisuilla saatiin vähennettyä häiriöitä tarpeeksi pieniksi, jolloin voitiin luottaa ohjelmallisen

häiriön poiston riittävyteen. Tehtyjen mittausten reliabiliteetti ja validiteetti varmentui testimittausten aikana. LabVIEW-ohjelmalla saadut mittaustulokset vastasivat toistuvasti mittauskohteen sähköisiä suureita, mikä tuli todistetuksi samanaikaisten Metrel-mittausten avulla.

Clarcken muunnoksen pohjalta lasketut α - β -0-akseliston jännitteet ja virrat tulostuivat ympyränmuotoisiksi, joiden säde oli huippujännitteen ja -virran suuruisia. Virran kuvaajassa oli havaittavissa pientä epäsymmetrisyyttä, joka aiheutui mitattujen virta-arvojen keskinäisistä eroista. Tämän pohjalta voidaan olettaa, että mittausjärjestelmää olisi mahdollista hyödyntää myös jännitekuoppien ja jännitenousujen havainnointiin ja tulkintaan menetelmillä, joita Ignatova ym. (2009) tutkimuksessaan esittivät.

Opinnäytetyön edetessä nousi jatkokehityskohteita, joiden avulla olisi mahdollista edelleen vähentää häiriöiden esiintyvyyttä ja toisaalta lisätä opetuksen sisältöä. Ensiövirtajohtimien ja virtamuuntajien keskinäinen asemointi olisi syytä muuttaa, jolloin virtamittausten häiriöt vähenisivät nykyisestä edelleen. Tämä yhdessä fyysisen alipäästösuodatuksen ja erillisen häiriöttömän 5 V jännitesyötön käyttämisellä mahdollistavat mittauslaitteiston käyttämisen oskilloskoopin kanssa. Kehittyneempi tiedonkeruulaite mahdollistaisi moottorin akselin kulmatiedon reaaliaikaisen mittaamisen. Se tekisi mahdolliseksi havainnollistaa taajuusmuuttajissa käytettävän Parkin koordinaatistonmuutoksen toteuttamista käytännössä.

Lähteet

Akagi, H., Kanazawa, Y., Fujita, K. & Nabae, A. 1983. Generalized Theory of Instantaneous Reactive Power and Its Application. *Electrical Engineering in Japan*, 103, 4, 58-66. Viitattu 3.11.2019. <https://www.academia.edu>.

Akagi, H., Kanazawa, Y. & Nabae, A. 1984, Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1A-20, 3, 625-630. Viitattu 25.4.2020. <https://www.academia.edu>.

Aura, L. & Tonteri, A. 2002. *Teoreettinen sähkötekniikka*. Helsinki: WSOY.

Hakan C. & Eyup C. 2014. LabVIEW Based Laboratory Typed Test Setup for the Determination of Induction Motor Performance Characteristics. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 9, 6, 1928-1934. Viitattu 24.2.2020. <http://dx.doi.org/10.5370/JEET.2014.9.6.1928>.

Hall Effect Sensing and Application. N.d. Hall-ilmiön hyödyntäminen antureissa. Honeywell. Viitattu 21.10.2019. <https://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf>.

Ignatova, V., Granjon, P. & Bacha, S. 2009. Space vector method for voltage dips and swells analysis. *IEEE Transaction on Power Delivery, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 24, 4, 2054-2061. Viitattu 24.4.2020. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00108164v1/document>.

João, L., Sepúlveda, F., Martins, J. 2003. p-q Theory Power Components Calculations. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 1, 385-390. Viitattu 18.11.2019. <https://janet.finna.fi>, IEEE Xplore Digital Library.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittajan käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja, 212. Jyväskylä, Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Milano, S. 2018. Achieving Closed-Loop Accuracy on Open-Loop Current Sensors. Allegro MicroSystems LLC. Viitattu 22.10.2019. <https://www.allegromicro.com/-/media/Files/Technical-Documents/AN296167-Open-Close-Loop-Accuracy-ACS720.ashx?la=en&hash=6D4CF8125C2C63FC0E58DE41E0E1E65A71F92B36>.

NI USB-6008/6009 User Guide. 2015. NI USB-6008/6009 mittauskortin käyttöohje. National Instruments. Viitattu 28.10.2019. <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>.

Operating Manual Torque transducer T20WN Terminal box VK20. N.d. Momentianturin käyttöohje. HBM. Viitattu 25.3.2020. <http://static.e-xina.com/products/oldx/files20166617194678405300.pdf>.

PowerQ4 MI 2592 Instruction manual. 2009. Metrel käyttöohje. Metrel. Viitattu 1.5.2020. https://www.toleka.se/dokument/kategorier/442/toleka%20eng%20mi2592_powerq4_ver_1.2_20_751_551.pdf.

Taylor, F. 1994. Principles of Signals and Systems. New York: McGraw-Hill, Inc.

Yanuarsyah, H. & Slamet, R. 2005. Analysis of Instantaneous Representative Active Power Equality based Control Method for Three Phase Shunt Active Power Filter. International Conference on Power Electronics and Drives Systems, 1. Viitattu 18.11.2019. <https://janet.finna.fi>, IEEE Xplore Digital Library.

Liitteet

Liite 1. Toimeksiantajan toimittama lähdeaineisto

INPUT
 $u_1, u_2, u_3, i_1, i_2, i_3, \omega_n, \omega_t$

momenttiin verrannollinen jännite $\rightarrow \omega_n$

pyörimisnopeus tulee pulsseina/s $\rightarrow \omega_t$

LASKETAAN

$$u_{12} = u_1 - u_2$$

$$u_{23} = u_2 - u_3$$

$$u_{31} = u_3 - u_1$$

$$u_\alpha = \frac{2}{3} \cdot u_1 - \frac{1}{3} u_2 - \frac{1}{3} u_3$$

$$u_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_2 - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_3$$

$$u_0 = \frac{1}{3} \cdot (u_1 + u_2 + u_3)$$

$$n = k_1 \cdot u_n \quad k_1 \text{ ilon. myöhemmin}$$

$$T = k_2 \cdot u_t \quad k_2 \text{ — — — — —}$$

$$P_M = \frac{T \cdot n}{9550}$$

~~...~~

~~...~~

$$i_\alpha = \frac{2}{3} \cdot i_1 - \frac{1}{3} \cdot i_2 - \frac{1}{3} \cdot i_3 \quad i_0 = \frac{1}{3} \cdot (i_1 + i_2 + i_3)$$

$$i_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot i_2 - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot i_3$$

~~Q2~~

$$P = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3$$

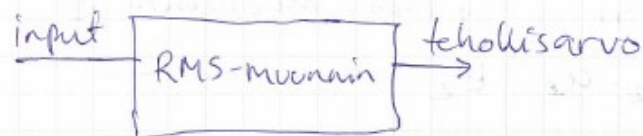
$$Q = \frac{3}{2} (I_\alpha \cdot U_\beta - I_\beta \cdot U_\alpha)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Mitattujen signaalien alipäästömodaalis,
"säädettävä suodatus"

Tehollisarvon laskenta



1. välilehti

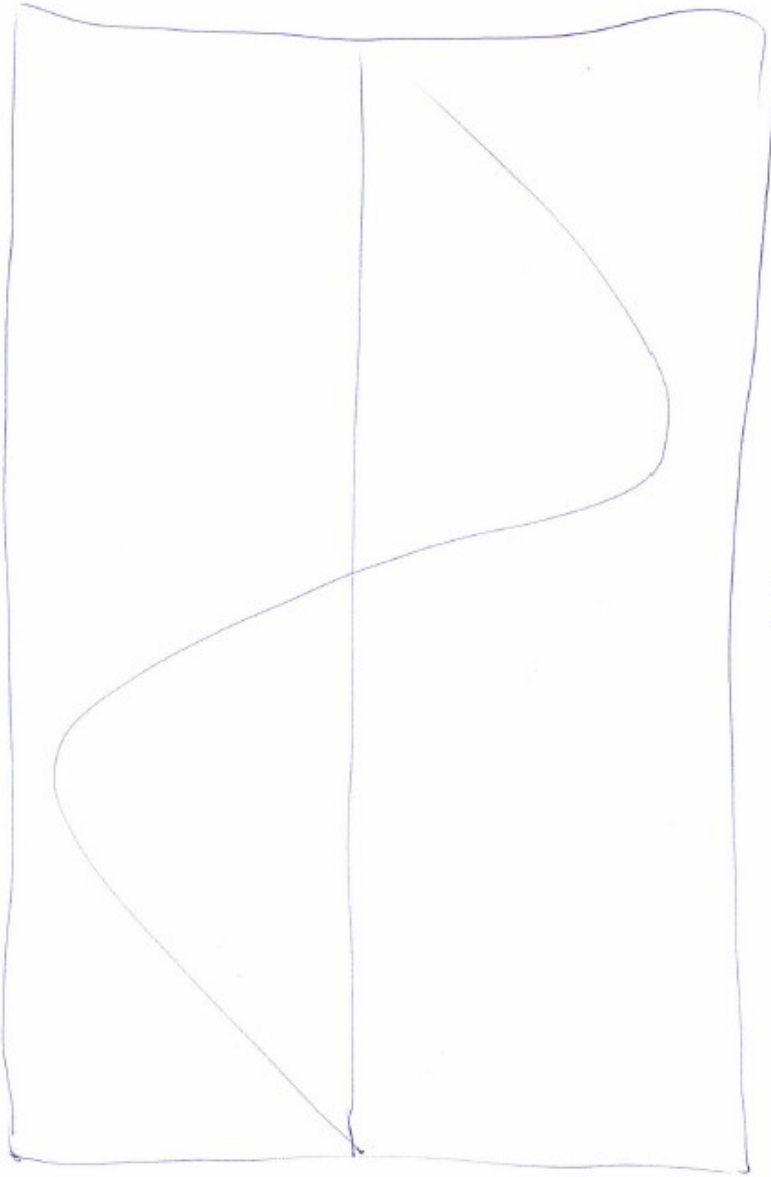
Volitarvut signaalid

□ u_1

□ u_2

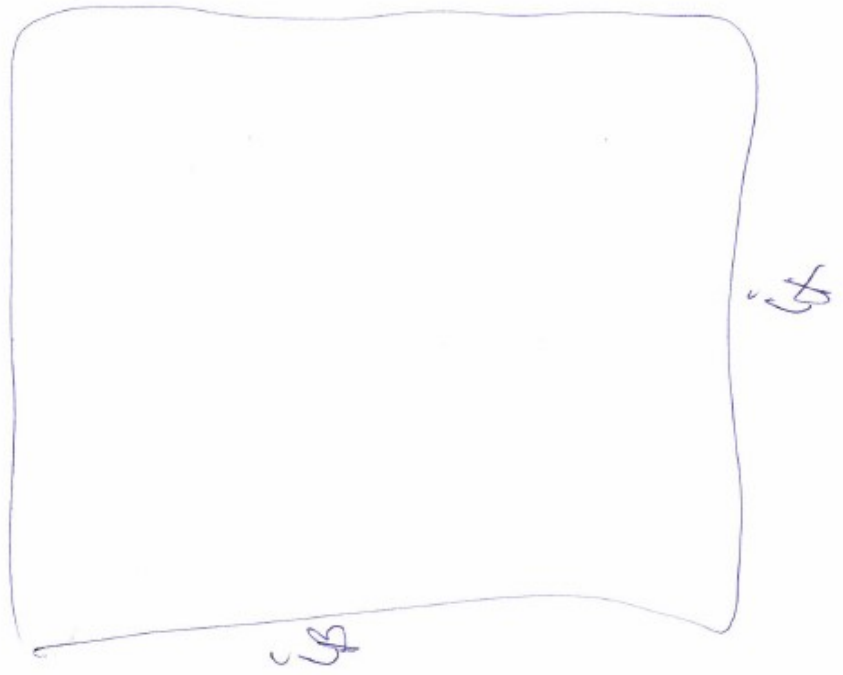
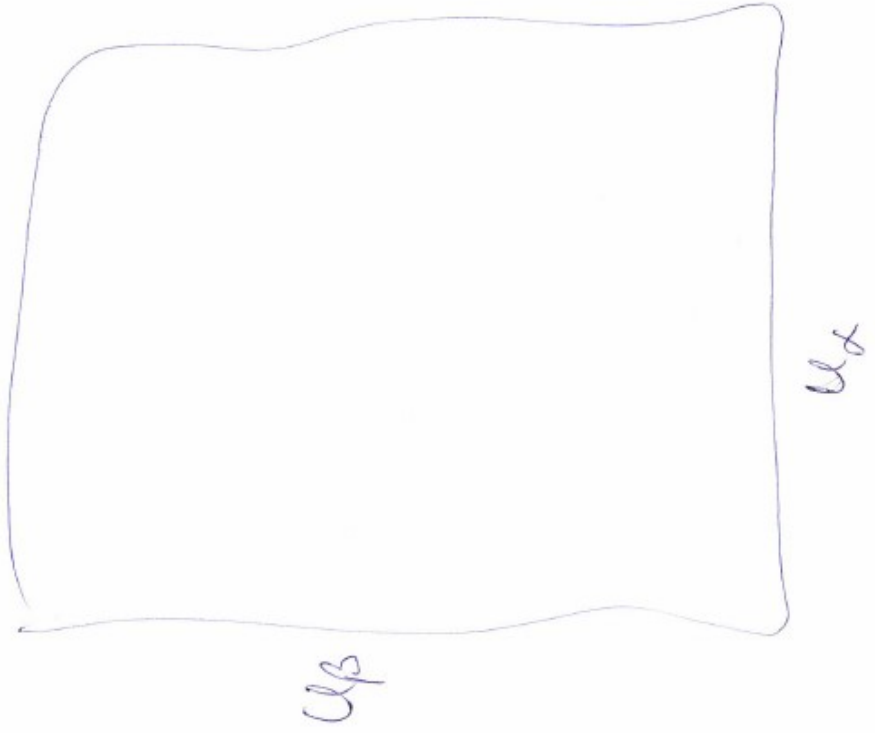
□ u_3

⋮

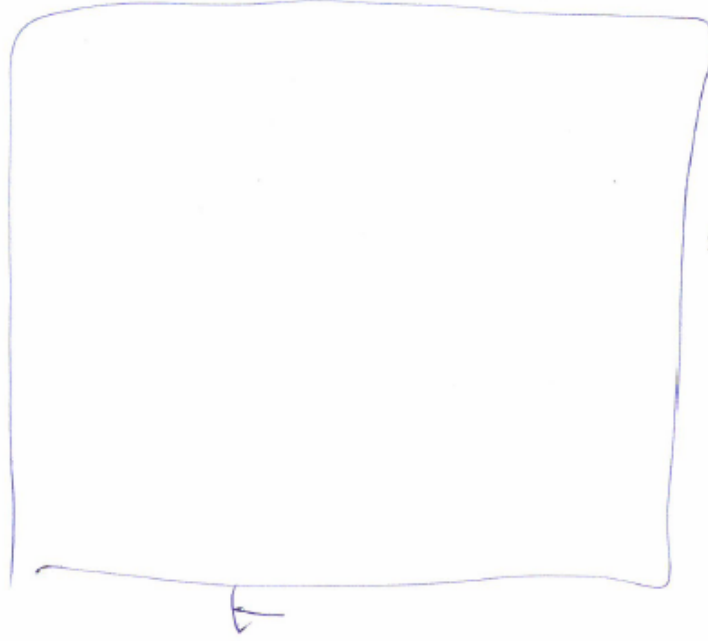
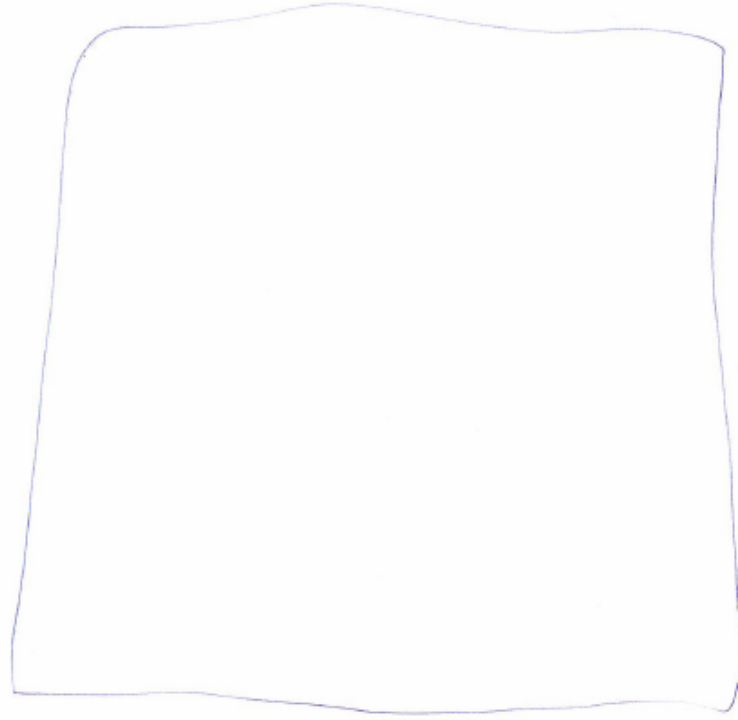


Ara

2. Västlichehuti



3. väitekehä



Liite 2. LTS 25-NP -datalehti



Current Transducer LTS 25-NP

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.



UL US RoHS

Electrical data

I_{PN}	Primary nominal RMS current	25	At
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 ... ±80	At
V_{out}	Output voltage (analog) @ I_p @ $I_p = 0$	2.5 ±(0.625 × I_p / I_{PN}) V 2.5 ¹⁾	V
G	Sensitivity	25	mV/A
N_s	Number of secondary turns (±0.1 %)	2000	
R_L	Load resistance	≥ 2	kΩ
R_{IM}	Internal measuring resistance (±0.5 %)	50	Ω
TCR_{IM}	Temperature coefficient of R_{IM}	< 50	ppm/K
U_c	Supply voltage (±5 %)	5	V
I_c	Current consumption @ $U_c = 5$ V	Typical 28 + I_s ²⁾ (V_{out} / R_L)	mA

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25$ °C	±0.2	%
	Accuracy with R_{IM} , @ I_{PN} , $T_A = 25$ °C	±0.7	%
ϵ_L	Linearity error	< 0.1	%
TCV_{out}	Temperature coefficient of V_{out} @ $I_p = 0$		
	-10 ... +85 °C	Typ 50	Max 100
	-40 ... -10 °C		150
TCG	Temperature coefficient of G		50 ³⁾
V_{OM}	Magnetic offset voltage @ $I_p = 0$,		
	after an overload of 3 × I_{PN}	±0.5	mV
	after an overload of 5 × I_{PN}	±2.0	mV
	after an overload of 10 × I_{PN}	±2.0	mV
t_{ra}	Reaction time @ 10 % of I_{PN}	< 100	ns
t_r	Step response time to 90 % of I_{PN} ⁴⁾	< 400	ns
BW	Frequency bandwidth (0 ... -0.5 dB)	DC ... 100	kHz
	(-0.5 ... 1 dB)	DC ... 200	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	-40 ... +85	°C
T_S	Ambient storage temperature	-40 ... +100	°C
m	Mass	10	g
	Standards	EN 50178: 1997 IEC 60950-1: 2001	

Notes: ¹⁾ Absolute value @ $T_A = 25$ °C, 2.475 < V_{out} < 2.525

²⁾ $I_s = I_p / N_s$

³⁾ Only due to TCR_{IM}

⁴⁾ For a $di/dt = 60$ A/μs.

$$I_{PN} = 25 \text{ At}$$



Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Unipolar supply voltage
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0
- Compact design for PCB mounting
- Incorporated measuring resistance
- Extended measuring resistance.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.



UL 508: Ratings and assumptions of certification

File # E189713 Volume: 2 Section: 1

Standards

- CSA C22.2 NO. 14-10 INDUSTRIAL CONTROL EQUIPMENT - Edition 11
- UL 508 STANDARD FOR INDUSTRIAL CONTROL EQUIPMENT - Edition 17

Ratings

Parameter	Symbol	Unit	Value
Primary involved potential		V AC/DC	600
Max surrounding air temperature	T_A	°C	85
Primary current	I_p	A	According to series primary currents
Output voltage	V_{out}	V	0 to 5

Conditions of acceptability

When installed in the end-use equipment, consideration shall be given to the following:

- 1 - These devices must be mounted in a suitable end-use enclosure.
- 2 - The terminals have not been evaluated for field wiring.
- 3 - The LTS, LTSR, LTSP Series are intended to be mounted on the printed wiring board of the end-use equipment (with a minimum CTI of 100).
- 4 - The LTS, LTSR, LTSP Series shall be used in a pollution degree 2 environment.
- 5 - Low voltage circuits are intended to be powered by a circuit derived from an isolating source (such as a transformer, optical isolator, limiting impedance or electro-mechanical relay) and having no direct connection back to the primary circuit (other than through the grounding means).
- 6 - The LTS, LTSR, LTSP Series: based on results of temperature tests, in the end-use application, a maximum of 100°C cannot be exceeded at soldering point between primary coil pin and soldering point or on primary bus bar (corrected to the appropriate evaluated max, surrounding air).
- 7 - For LTS, LTSR, LTSP Series, the secondary sensing circuit was evaluated as the circuit intended to be supplied from a Limited Voltage/Current circuit defined in UL 508 standard.

Marking

Only those products bearing the UL or UR Mark should be considered to be Listed or Recognized and covered under UL's Follow-Up Service. Always look for the Mark on the product.

Current Transducer LTS 25-NP

Insulation coordination			
U_d	RMS voltage for AC insulation test, 50 Hz, 1 min	3	kV
U_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	> 8	kV
U_a	Partial discharge extinction RMS voltage @ 10 pC	3	kV
		Min	
d_{cp}	Creepage distance ¹⁾	15.5	mm
d_{ci}	Clearance ²⁾	6.35	mm
CTI	Comparative tracking index (group IIIa)	175	

Notes: ¹⁾ On housing

²⁾ On PCB with soldering pattern UTEC93-703.

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
d_{cp} , d_{ci} , U_w	Rated insulation voltage	Nominal voltage
Basic insulation	600 V	600 V
Reinforced insulation	300 V	300 V

Safety

This transducer must be used in limited-energy secondary circuits according to IEC 61010-1.



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



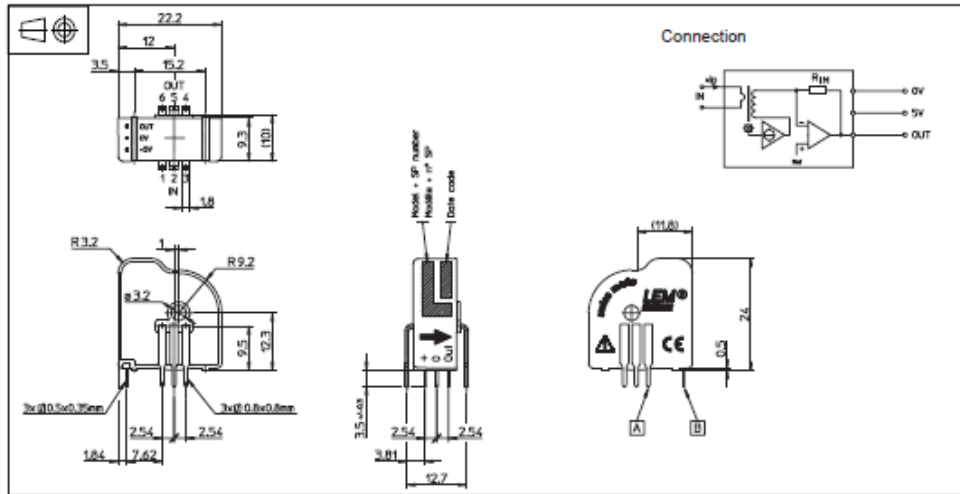
Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (e.g. primary busbar, power supply). Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation. A protective housing or additional shield could be used. Main supply must be able to be disconnected.



Dimensions LTS 25-NP (in mm)



Number of primary turns	Primary nominal RMS current	Nominal output voltage V_{out}	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [μH]	Recommended connections
1	±25	2.5 ± 0.625	0.18	0.013	
2	±12	2.5 ± 0.600	0.81	0.05	
3	±8	2.5 ± 0.600	1.62	0.12	

Mechanical characteristics

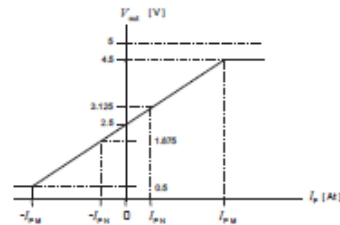
- General tolerance: ±0.2 mm
- Transducer fastening of primary: 6 pins 0.8 × 0.8 mm
Recommended PCB hole: 1.3 mm
- Transducer fastening of secondary: 3 pins 0.5 × 0.35 mm
Recommended PCB hole: 0.8 mm
- Primary through-hole: ∅ 3.2 mm

Remarks

- V_{out} swings above 2.5 V when I_p flows from terminals 1, 2, 3 to terminals 6, 5, 4 (with the arrow).
- Temperature of the primary conductor should not exceed 100 °C.
- Installation of the transducer must be done unless otherwise specified on the datasheet, according to LEM Transducer Generic Mounting Rules. Please refer to LEM document N°ANE120504 available on our Web site: Products/Product Documentation.

- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

Output voltage - Primary current



Liite 3. LV 25-400 -datalehti



Voltage Transducer LV 25-400

For the electronic measurement of voltages: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit (high voltage) and the secondary circuit (electronic circuit).

 $V_{PN} = 400 \text{ V}$


0627

Electrical data

V_{PN}	Primary nominal voltage rms	400	V			
V_{PM}	Primary voltage, measuring range	0 .. ± 600	V			
I_{PN}	Primary nominal current rms	10	mA			
R_M	Measuring resistance	R_{Mmin}	R_{Mmax}			
				with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 400 \text{ V}_{max}$	30
			@ $\pm 600 \text{ V}_{max}$	30	100	Ω
		with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 400 \text{ V}_{max}$	100	320	Ω
			@ $\pm 600 \text{ V}_{max}$	100	180	Ω
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA			
K_N	Conversion ratio	400 V : 25 mA				
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V			
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_S	mA			

Accuracy - Dynamic performance data

X_D	Overall accuracy @ V_{PM} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.8	%		
ϵ_L	Linearity error	< 0.2	%		
I_O	Offset current @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max		
I_{OT}	Temperature variation of I_O	-25°C .. +25°C	± 0.1	± 0.15	mA
		+25°C .. +70°C	± 0.1	± 0.35	mA
t_r	Response time to 90 % of V_{PN} step	15	μs		

General data

T_A	Ambient operating temperature	-25 .. +70	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	-40 .. +85	$^\circ\text{C}$
N_p	Turns ratio	2500 : 1000	
P	Total primary power loss	4	W
R_1	Primary resistance @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	40	k Ω
R_S	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	60	g
	Standards	EN 50178: 1997	

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer using Hall effect
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0
- Primary resistor R_1 and transducer mounted on printed circuit board 128 x 60 mm.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- High immunity to external interference.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Application domain

- Industrial.

Voltage Transducer LV 25-400

Isolation characteristics

V_s	Rms voltage for AC isolation test ¹⁾ , 50 Hz, 1 min	4.1	kV
\hat{V}_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	12	kV
		Min	
dCp	Creepage distance	13.8	mm
dCI	Clearance distance	13.8	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group III b)	< 175	

Note: ¹⁾ Between primary and secondary.

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCI, \hat{V}_w	Rated isolation voltage	Nominal voltage
Single isolation	1500 V	2500 V
Reinforced isolation	600 V	600 V

Safety



This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply).

Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.

This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.

A protective housing or additional shield could be used.

Main supply must be able to be disconnected.

Liite 4. Yhteydenotto National Instrumentsin tekniseen tukeen

(Reference#3258389) [URGENT] technical question regarding USB 6009

NI Technical Support <technical.support@ni.com>

pe 2.8.2019 15.38

Vastaanottaja:

- Latvala Ari <K8424@student.jamk.fi>

Hi Ari,

My name is Marcus and I am a technical support engineer at National Instruments. I will be your point of contact for this Service Request.

As you have the USB-6009 and would like to measure 8 AI channels, the only available terminal configuration is referenced single ended (RSE), as you point out.

How significant is the risk of picking up ground loop errors using RSE measurements?

A ground loop can only occur if there is more than one ground reference point in the system. As long as the signal sources don't have a separate ground to that of the DAQ device, there is no risk of picking up ground loops from the RSE measurements.

These articles describe well this topic:

"Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals"

<http://www.ni.com/product-documentation/3344/en/>

"Grounding Considerations for Improved Measurements":

<https://www.ni.com/en-us/innovations/white-papers/10/grounding-considerations-for-improved-measurements.html>

Will the computing speed of the 6009 DAQ be enough to measure three phase electrical signals?

In RSE mode, the USB-6009 can sample up to 48 kS/s/channel. Typically, as long as the signal frequency is less than a tenth of the sampling frequency, you should be able to properly acquire the shape of the signal.

However, running in RSE mode comes with a few caveats, that is that the AI resolution gets reduced from 14 bits to 13 bits, compared to differential mode. And the input range gets limited to ± 10 V.

Furthermore, referring to the USB-6009 itself, the AI channels are multiplexed and share one single ADC. This means that there will inevitably be a small phase delay between the measurement channels as the multiplexer switches from channel to channel to pass on the voltage level to the ADC. This is typically in the order of ~ 1 μ s.

"NI USB-6008/6009 User Guide - National Instruments"

<http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>

"Phase shift due to multiplexing/interchannel delay"

<https://forums.ni.com/t5/LabVIEW/Phase-shift-due-to-multiplexing-interchannel-delay/td-p/3759406?profile.language=en>

The shape of the three phase signals will be observable with a 13-bit resolution at a +/- 10 V range, but the samples of the three signals will be taken with some microseconds apart. This is at the limit of what the USB-6009 can do.

If these specs suffice, you are good to go, but if you need better synchronization, higher resolution, or wider range, you would need another hardware, with more channels and more than one ADC. If you want to, I can direct you to one of our sales development engineers who can help you discuss what alternatives there are.

Do let me know if this answered your question, or if there is anything else I can help you with.

To contact me directly, you can reply to this email, or call your local NI office on +358 9 725 725 11 quoting your Service Request number 3258389. I look forward to hearing from you.

Best regards,
Marcus Bengths
Technical Support Engineer
National Instruments

The attached Code is provided As Is. It has not been tested or validated as a product, for use in a deployed application or system, or for use in hazardous environments. You assume all risks for use of the Code and use of the Code is subject to the Sample Code License Terms which can be found at: <https://ni.com/samplecodeLICENSE>.

ref:_00Di0jTAB._5000Z1EtXSe:ref