



AALTOENERGIALAITTEISTON KÄYTTÖNOTTO

Janne Kivelä

Opinnäytetyö
Lokakuu 2015
Sähkötekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutus
Sähkövoimatekniikka

KIVELÄ, JANNE:
Aaltoenergialaitteiston käyttöönotto

Opinnäytetyö 35 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Lokakuu 2015

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella laboratorio-olosuhteisiin sopiva ohjausjärjestelmä servomootorikäytölle, jossa moottoria ohjataan aaltomaisesti. Moottorin akselille kuormalaitteistoksi on kiinnitetty alennusvaihteen välityksellä toimiva vaijerikelain, jonka avulla liikutetaan hissitasoa. Tämän hissitaso esittää muuttuvaa veden pinnan tasoa ja siihen tullaan asentamaan aaltovoimageneraattori. Tämä opinnäytetyö käsittelee kuitenkin pääosin itse servomootorinkäytön ohjaamista ja aaltovoimageneraattorilaitteisto on oma toiseen opinnäytetyöhön liittyvä kokonaisuus.

Käytössä olevaa servomootoria ohjataan taajuusmuuttajalla, johon on tehty muutoksia sekä taajuusmuuttajan kytkentään että parametrintiin. Taajuusmuuttajaan kuuluu ohjauspaneeli, josta tehdasasetuksilla annetaan nopeusohje potentiometriltä jänniteviestinä. Työssä potentiometrin syöttämä nopeusohje ohitettiin kytkennällisesti ja tilalle asennettiin NI myDAQ -laitteisto, joka on LabVIEW-ohjelmointiympäristöön perustuva PC-avusteinen työkalu. Tämän työkalun avulla taajuusmuuttajalle saadaan syötettyä esimerkiksi sinimuotoista jänniteviestiä nopeusohjeena.

Lisäksi työssä käsitellään laitteiston suojaukseen liittyviä ratkaisuja, kuten optisia antureita ja niiden liittymistä osaksi järjestelmää. Ohjauksen kannalta mietittiin myös aaltojen luonnetta ja tutustuttiin niiden mallintamiseen fysikaalisessa mielessä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

KIVELÄ, JANNE:
Implementation of Wave Energy Hardware

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 1 pages
October 2015

The purpose of this thesis was to design a motor control system where a servomotor is driven in a wave-like manner in a laboratory environment. The motor's axle was connected to reduction gear where it was linked to a rope wire that is used as a tool for moving the water surface level resembling plateau. The wave generator would later be mounted on this plateau but it is outside of the scope of this study as this thesis is more about the motor control system on the servomotor.

The speed and torque of servomotor was controlled by a frequency changer. External speed indication control was added to the frequency changer and also the built-in parameters were modified to make generating waveforms possible. The frequency changer comes with a control panel where as in factory condition the speed indication comes as voltage signal from a potentiometer. The potentiometer was replaced by data acquisition device. MyDAQ is a tool that utilizes LabVIEW programming language and can be used with a PC. The purpose of using this data acquisition device is to generate for example sine wave voltage signal that is used as speed indication.

Safety features needed such as optical sensors and how they can be integrated as part of the system were also dealt with in this thesis. To make motor control really resemble surface waves it also was necessary to familiarize oneself with physical models of waveforms.

Key words: wave energy, control system, servomotor

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	AALTOENERGIALAITTEISTON TOIMINTAPERIAATE	6
3	MALLINNETTAVAT AALLOT	9
4	AALTOENERGIAN MALLINTAMINEN LABORATORIOSSA	11
	4.1 Taajuusmuuttaja.....	11
	4.1.1 Parametrointi	11
	4.1.2 Kytkenälliset muutokset.....	13
	4.2 NI myDAQ	15
	4.3 Servomoottori	17
	4.4 Kuormalaitteisto.....	18
	4.5 Turvallisuus	18
5	OHJAUSSIGNAALIN JÄNNITE JA TAAJUUS	21
6	LAITTEISTON TESTAAMINEN.....	26
	6.1 Mittaustulokset.....	26
	6.2 Häiriöt	28
7	POHDINTA.....	31
	7.1 Opinnäytetyön onnistuminen	31
	7.2 Kehitysmahdollisuudet	31
	7.3 Oppiminen ja opinnäytetyö.....	32
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	35

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on suunnitella ja toteuttaa servomoottorikäytölle ohjausjärjestelmä, jota tarvitaan aaltoenergialaitteiston käyttöönotossa. Työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoululle. Opinnäytetyön aihe on rajattu kelluketyyppiseen laitteistoon, joka saa energiansa pinta-aalloista. Aihealueen rajausta perustuu käytössä olevaan TAMK:n laboratoriolaitteistoon.

Ohjausjärjestelmä tavoitteena on suunnitella toimiva ohjaus, jonka avulla voidaan mallintaa aaltoenergiaa merenkäyntiä mukailevasti. Tämä vaatii perehtymistä sekä aaltojen fysiikan teoriaan että taajuusmuuttajakäyttöiseen servomoottoriohjaukseen.

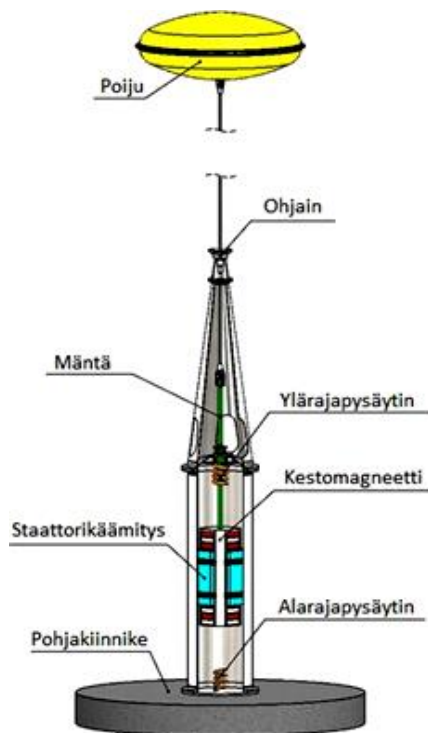
Aaltoenergialaitteistoa tutkittaessa tärkeimpänä lähteenä voidaan mainita Fortumin ja laitevalmistaja Seabased Industryn yhteistyössä käyttämä Seabased-laitteisto ja siihen liittyvät aaltopuistoprojektit. Seabased edustaa TAMK:n laboratoriota vastaavaa kelluketyyppistä laitteistoa. Seabased-laitteiston kehitystyö on mennyt niin pitkälle, että esimerkiksi Ruotsin länsirannikolla Sotenäsissä aaltoenergiapuisto on tarkoitus kytkeä verkkoon kesällä 2015. (Fortum, Aaltovoima, 2015)

EU:n vuonna 2009 antama lainsäädäntöpaketti on merkittävä energiapolitiikan linjaus, joka antaa oman perusteensa aaltovoiman jatkotutkimuksille. Tavoitteena on vuoteen 2020 mennessä saada EU:n energiankulutuksesta viidesosa uusiutuvista lähteistä ja vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20 %. Suomen osalta vuoteen 2020 mennessä tavoite on, että uusiutuvan energian käyttöprosentti olisi 38 %. Aaltovoimasta voisi hyvinkin olla täyttämään tämä energiavaje päästöttömällä energiamuodolla, kun esimerkiksi Uppsalan yliopiston on arvioinut, että aaltovoimalla voitaisiin kattaa jopa 10 % maailman sähkön tarpeesta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, EU:n energiayhteistyö, 2015)

Tämä opinnäytetyö liittyy osaltaan toisiin TAMK:ssa tehtyihin opinnäytetöihin. Tällä hetkellä tekeillä oleva aaltovoimageneraattoria tullaan käyttämään tämän opinnäytetyön laitteiston kanssa yhdessä. Lisäksi aiemmin LabVIEW-ohjelmistolla on luotu PC:n avulla käytettävä ohjausjärjestelmä taajuusmuuttajalta servomoottorille. Tätä valmista ohjausjärjestelmää ei ohjelmallisten rajoitusten vuoksi kuitenkaan tässä opinnäytetyössä päädytty käyttämään.

2 AALTOENERGIALAITTEISTON TOIMINTAPERIAATE

Kuvassa 1 on esitelty Seabased-laitteiston rakenne. Tämän kyseisen ratkaisun toimintaperiaate perustuu lineaarigeneraattorin toimintaan. Lineaarigeneraattorin roottorisauvassa on vuorotellen kestmagneetteja ja epämagneettista väliainetta. Roottorisauva kulkee staattorikäämityksen läpi ilmapälissä, jolloin tapahtuu sähkömagneettinen induktio. (Seabased AB, kelluketyyppinen aaltoenergiaratkaisu, 2015)



KUVA 1. Seabased-laitteiston läpileikkauskuva (Seabased AB, muokattu, 2015)

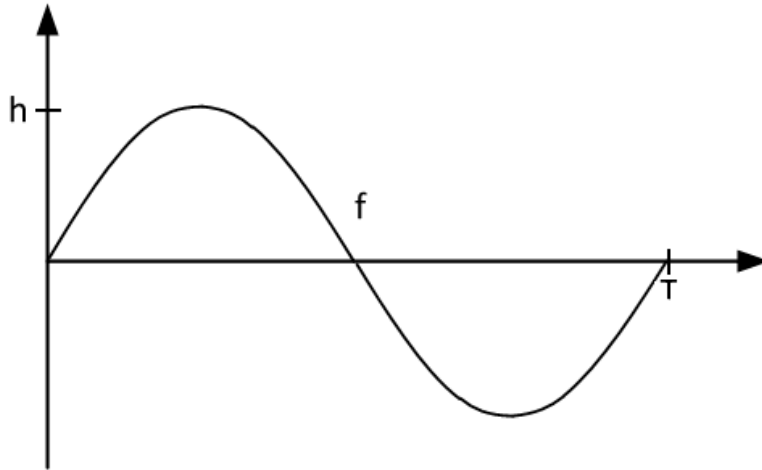
Poiju on laitteiston ainoa veden pinnalla tai pinnan tuntumassa oleva osa, joka liikkuu veden pinnankorkeuden muutoksien mukaan. Ohjaimen avulla poijun liikerata ei ole rajoitettu ainoastaan pysty akselille vaan voi liikkua myös sivuttaissuunnassa. Ylä- ja alarajapysäyttimen tarkoitus taas on rajoittaa liian kovasta merenkäynnistä johtuvaa laitteistolle syntyvää mekaanista rasitusta ja asettaa kellukelaitteistolle toimintarajat. Pohjakiinnikkeellä laitteisto ankkuroidaan merenpohjaan. (Seabased AB, 2015)

Laboratoriossa erityisesti poijun liikkeen mallintaminen pystyakselilla on oleellinen osa työtä. Kuvassa 2 on esitelty laboratoriossa aaltoja mallintavan hissitaso.



KUVA 2. Hissitason rakenne

Hissitason vaakasuora, liikkuva osa, vastaa todellisen aallokon pinnankorkeutta. Laitteiston yläpuolelle kattoon on kiinnitetty vaijeripyörä, joka servomoottorin voimavaikutuksesta kuljettaa tasoa pystysuunnassa. Koska hissitaso on tarkoitus mukailla poijun liikkeitä, voidaan poijun sijainti pystyakselilla esittää xy-koordinaatistossa ajan suhteen kuvan 3 mukaisesti.



KUVA 3. Poijun amplitudi ajan funktiona

Kuvassa 3 on esillä kolme suuretta: amplitudi h , taajuus f ja jaksonaika T . Amplitudi vastaa poijun sijaintia korkeussuunnassa, missä ensimmäisen puolijakson aikana hissitaso nousee paikan huippuarvoon ja sen jälkeen palaa lähtökorkeudelleen. Vastaavasti negatiivisen puolijakson aikana hissitaso liikkuu lähtökorkeuttaan alempana. Koska jaksonaika on taajuuden käänteisarvo, voidaan aaltojen toistuvuus ajan suhteen esittää yhtäläillä niin jaksonajan kuin taajuuden suhteen.

Kuvassa esitetty siniaalto on vain yksi tapa mallintaa aaltoja, joka on valittu tähän esimerkiksi selkeytensä ja havainnollisuuden vuoksi. Seuraavassa kappaleessa 3, ”Mallinnettavat aallot”, käydään tarkemmin läpi aaltojen mallinnusta teoriassa.

3 MALLINNETTAVAT AALLOT

Pinta-aallot, joiden jaksonaika on 3-25 sekuntia, muodostuvat pääasiassa tuulen vaikutuksesta. Tässä kappaleessa, ellei toisin ole sanottu, viitataan näihin pinta-aaltoihin, joiden jaksonaika on edellä mainitun mittainen.

Aallot voidaan matemaattisen mallinnuksen perusteella jakaa kahteen alakategoriaan: säännölliset ja epäsäännölliset aallot. Puhuttaessa säännöllisistä aalloista, aaltojen amplitudi ja taajuus ovat vakioita. Luonnollisesti epäsäännöllisillä aalloilla nämä suureet vaihtelevat. Koska todellinen aallokko on kolmeulotteinen kenttä, on aaltojen mallintamisen kannalta tehtävä tiettyjä yksinkertaistuksia, jotta aaltoja on mahdollista mallintaa laboratorio-olosuhteissa. (Coastal Engineerin Manual Part II, 2002)

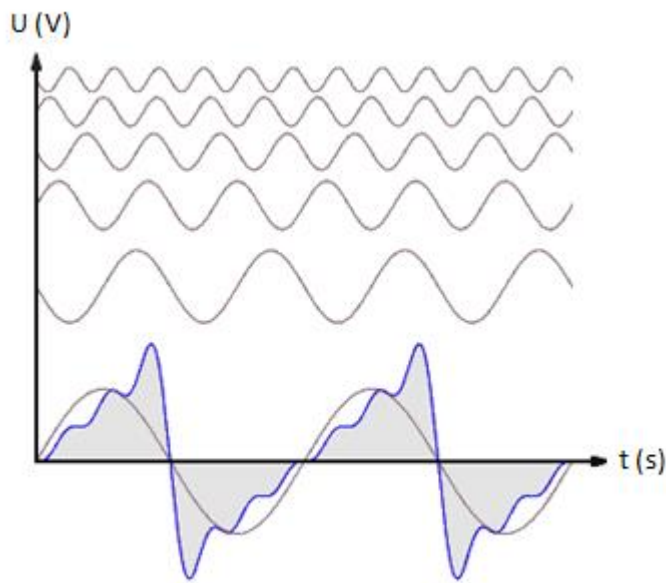
Puhuttaessa säännöllisistä aalloista, yksinkertaisen matemaattisen esitystapa on olettaa aallot kaksiulotteiseksi siniaalloksi, jolla on pieni amplitudi ja säännöllinen taajuus. Aaltojen kasvaessa tämä malli ei välttämättä ole yhtä havainnollinen kuin epäsinimuotoiset mallit, jossa tyypillisesti esimerkiksi aaltojen harjat ovat terävämpiä ja aaltojen pohjat taas tasaisempia. (Coastal Engineerin Manual Part II, 2002)

Koska tässä opinnäytetyössä aaltoja mallinnetaan tasolla, joka liikkuu ainoastaan pystysuunnassa, ei ole hyödyllistä tässä yhteydessä puhua kolmiulotteisista malleista. Näin ollen aaltojen mallintamista tulee pohtia erilaisten kaksiulotteisten mallien kautta. Tästä esimerkkinä voidaan mainita esimerkiksi Fourier-sarjakehitelmä, jonka avulla sini- ja kosiniaaltojen sarjakehitelmänä voidaan esittää erilaisia jaksollisia funktiota, joiden profiili poikkeaa merkittävästi siniaallosta. Toinen vaihtoehto on tilastollisiin keinoihin perustuva aaltojen mallinnus, jossa aallot eivät välttämättä ole identtisiä toistensa kanssa. (Coastal Engineerin Manual Part II, 2002)

Mihin sitten erilaisia matemaattisia malleja tarvitaan? Epäsäännöllisten aaltojen mallintamisella voidaan määrittää aaltojen toimintarajat eli vaihtelevat aalto-olosuhteet, joihin vaikuttaa laitteiston merellinen sijoituspaikka. Epäsäännöllisellä mallilla voidaan suorittaa vertailua, että voiko laitteistoa esimerkiksi pitää vakavasti verrannollisena Itämeren aallokossa vaikuttaviin olosuhteisiin. (Coastal Engineerin Manual Part II, 2002)

Aaltojen kinemaattiseen ja dynaamiseen mallinnukseen käytetään säännöllisten aaltojen matemaattisia malleja. Näistä yksinkertaisin malli on sinimuotoinen aalto. Kun aalloista tulee isompia tai aallot ovat rannikon tuntumassa, käytetään tyypillisesti malleja, missä aallon profiilissa poiketaan siniaallosta. (Coastal Engineerin Manual Part II, 2002)

Puhuttaessa epäsinimuotoisesta mallinnuksesta, oletettavasti helpoin toteutettava ratkaisu on Fourierin sarjakehitelmän käyttäminen. Fourierin sarjan periaatekuva on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Fourier-aalto (IntMath, muokattu, 2015)

Kuten kuvasta voi ymmärtää, Fourierin sarjakehitelmä on siis sini- tai kosiniaaltojen summa-aalto. Summa-aalto koostuu osa-aalloista, jolla on toisiinsa nähden vaihtelevan suuruinen amplitudi ja vaihesiirtokulma. (Wolfram MathWorld, 2015)

Tässä opinnäytetyössä ohjaukseen liittyvät testaukset laboratoriossa on tehty käyttäen sinimuotoista ohjausta. Tämä kuitenkin asettaa omat rajoituksensa millaisia merellisiä ominaisuuksia laitteistolla voidaan tutkia.

4 AALTOENERGIAN MALLINTAMINEN LABORATORIOSSA

4.1 Taajuusmuuttaja

Käytössä oleva taajuusmuuttaja on Control Techniquesin valmistama malli Unidrive 2402. Taajuusmuuttajan tarkoitus on ohjata kuormakonetta, ja ulkoinen nopeusohje tuodaan servomoottorille taajuusmuuttajan kautta.

Jotta taajuusmuuttajaa voidaan käyttää aaltomaisen, edestakaisen liikkeen tuottamiseen on tehdasasetuksiin tehtävä parametrimuutoksia. Myöskään alkuperäisasetuksilla ulkoiselle nopeusohjeelle ei ole paikkaa, mistä jänniteviestiä voidaan syöttää, vaan tämä vaatii kytkentämuutoksia.

4.1.1 Parametrointi

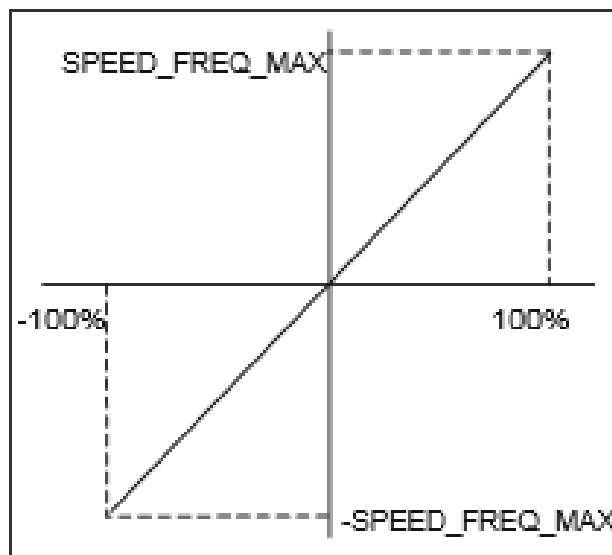
Parametrirakenne koostuu eri tasojen parametreista, jossa käyttö on rajoitettu siten, että laitteen peruskäytössä ainoastaan menu 0 -tason parametreihin pääsee käsiksi ilman suojauksen purkamista. Menu 0 on kokoelma suoraan toisista valikoista löytyviä parametreja. Suojauksen purkamisen jälkeen käyttäjä pystyy lukemaan ja muokkaamaan kaikkia taajuusmuuttajan parametreja sillä rajoituksella, että osassa parametreista on sallittu ainoastaan parametrien arvon lukeminen. (Unidrive – Advanced User Guide, 2015, 6)

Parametrit ovat muotoa X.YY, jossa X on valikon numero ja YY on parametrin luku. Parametrit voidaan asettaa joko manuaalisesti käyttäen taajuusmuuttajan käyttöpaneelia tai käyttöpaneelistä valitsemalla valmiiksi parametroiduin makron. Koska taajuusmuuttajaa on ennenkin käytetty laboratoriossa servomoottorin ohjaamiseen, taajuusmuuttajaan tehdyt parametrimuutokset ja tarkistukset ovat koskeneet ainoastaan ohjausteknisiä parametreja. Liitteessä 1 on esitelty parametriasetukset menu 0 osalta kokonaan, mutta tässä kappaleessa on ainoastaan poimintoja muutetuista parametreista.

Parametreilla 0.24 ja 0.25 on valittu analogisten sisääntulojen signaalille asetus ”VOLT” Tällä valinnalla määritetään, että momentti- ja nopeusohje tulevat taajuusmuuttajalle 0-10 V jännitetietona, jossa signaalia ei lasketa nolllaksi vaikka ohjausjänniteen virta olisi alle 3 mA. (Unidrive – User Guide, 2015, liite D-14)

Parametrilla 0.49 on muutettu access level asetukseen ”L2”. Muuttamalla tätä parametria käyttäjä pystyy hallinnoimaan parametreja menu 0 ulkopuolella. Kuitenkin ennen kuin muut parametrit tulevat käyttäjälle näkyviin, tulee parametriin 0.34 syöttää luku ”149”, jonka on tehdasasetuksien mukainen turvallisuuskoodi. (Unidrive – User Guide, 2015, liitteet D-6 ja D-9)

Ohjauksen kannalta oleellisimpia parametrimuutoksia ovat kohdan 1.05–1.10 parametrit. Parametrien 1.05 ja 1.06 avulla määritetään moottorin suurin ja pienin pyörimisnopeus. Pienimmäksi pyörimisnopeudeksi on tässä tapauksessa määritetty negatiivinen arvo, jolloin -10 V ohjausviestillä moottori pyörii 3000 rpm nopeudella vastakkaiseen suuntaan positiiviseen ohjausarvoon verrattuna. Kuvassa 5 on esitelty parametrivalintojen 1.08 ja 1.10 vaikutus ohjaukseen. (Unidrive – Advanced User Guide, 2015, 33)



Pr 1.10=1 (bipolar mode)

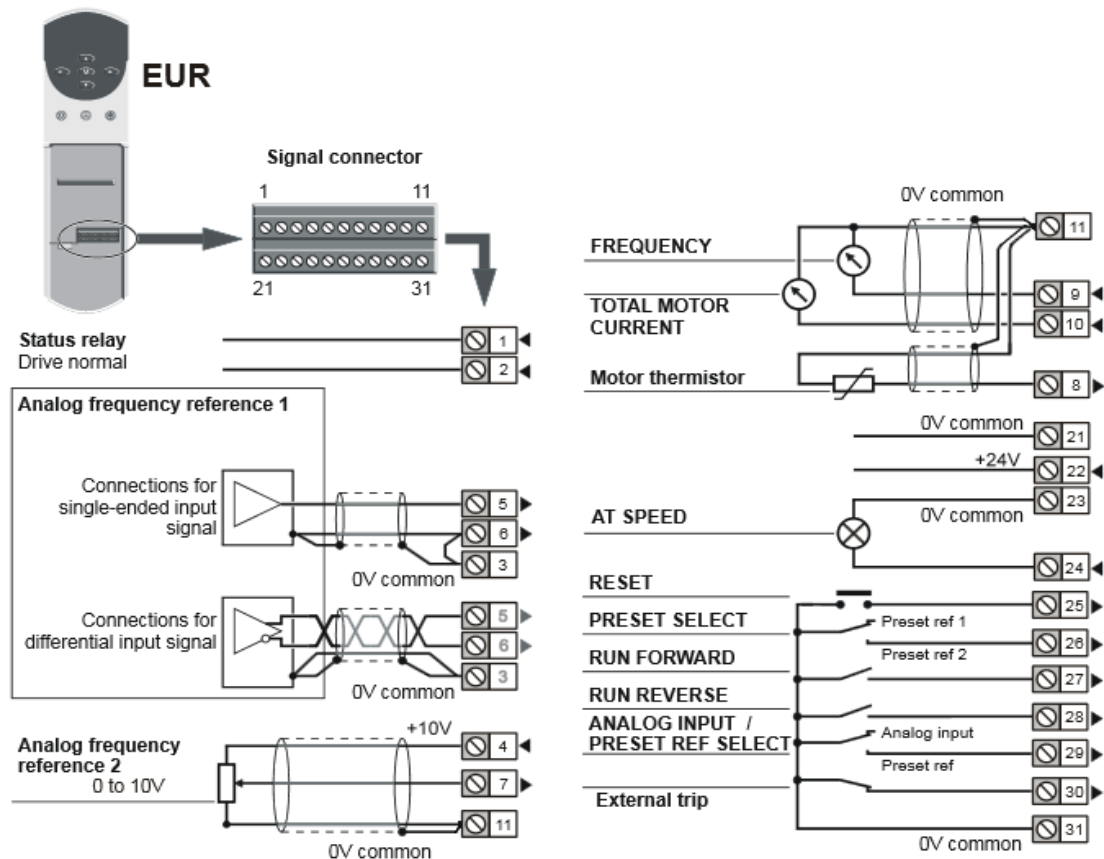
Pr 1.08=1 (neg min ref enabled)

KUVA 5. Ohjausparametrien 1.08 ja 1.10 vaikutus (Unidrive Advanced User Guide, 2015, 34)

Parametreilla 1.08 otetaan käyttöön minimipyörimisnopeuden negatiiviset arvot. Pr 1.10 taas ollessa ”1” sallitaan pyörimisnopeuden negatiiviset ohjausarvot. (Unidrive – Advanced User Guide, 2015, 33–35)

4.1.2 Kytkennälliset muutokset

Ulkoinen ohjaussignaali tulee taajuusmuuttajalle 0-10 V jänniteviestinä. Laitteistolle ei tehdasasetuksilla ole paikkaa jänniteviestille, joten taajuusmuuttajaan tarvitsee tehdä kytkentämuutoksia. Taajuusmuuttajan kytkentäkuva, minkä perusteella muutokset on tehty, on esitelty kuvassa 6.



KUVA 6. Unidrive 2402 signaaliyhteydet (Unidrive User Guide, muokattu, 1998, 2-5)

Kuvassa 6 riviliittimen paikkojen 9 ja 11 välille on kytketty potentiometri. Sääteövastuksen avulla taajuusmuuttajan ohjauspaneelista on pystynyt säätämään nopeusohjetta manuaalisesti välillä 0-100 %. Nopeusohjeen suuruus perustuu parametroidusta riippuen joko virran tai yli olevan jännitteen mittaamiseen sääteövastuksella.

Potentiometri poistettiin kytkennästä irrottamalla kytkentä kyseisiltä riviliittimiltä. Riviliittimiin kytkettiin tilalle paikat johtimille, johon liitettiin ulkoinen jännitelähde ja testattiin kytkennän toiminta. Testausta varten tehdystä kytkentämuutoksesta on otettu kuva 7.

Kuvassa riviliittimille menevät, muita johtoja paksummat, sininen ja punainen johto tulevat ulkoiselta jännitelähteeltä.



KUVA 7. Taajuusmuuttajan nopeuspotentiometrin ohituskytkentä

Testauksen jälkeen taajuusmuuttajan käyttöpaneeliin tehtiin kytkentäratkaisu, jossa aaltoenergian mallintamiseen liittyvät lisälaitteet voidaan ohittaa, jotta laboratoriolaitteistoa voidaan käyttää tarvittaessa myös muuhunkin tarkoitukseen kuin aaltoenergian tutkimiseen. Potentiometrin ja ulkoisen ohjausjännitteen valintaan käytetään vaihtokytkintä, ja ulkoinen ohjausjännite voidaan nyt liittää kiinteisiin banaaliliittimiin, jotka sijaitsevat käyttöpaneelissa. Käyttöpaneeli kytkentämuutoksineen on esitelty kuvassa. 8.

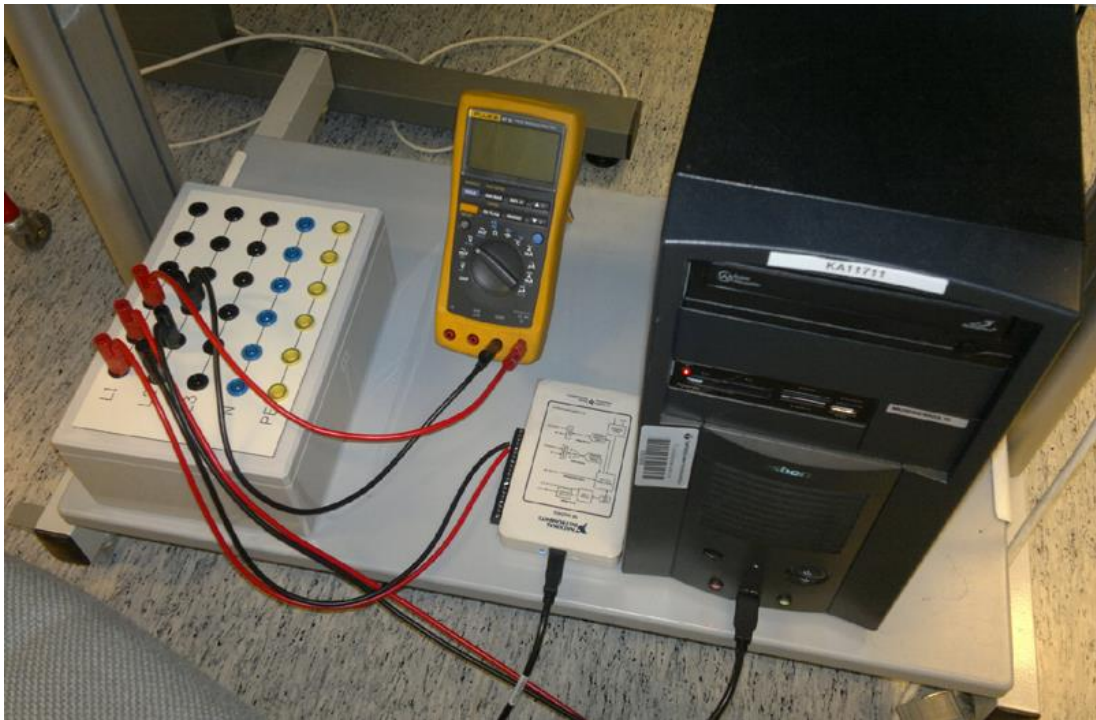


KUVA 8. Käyttöpaneeli kytkentämuutoksien jälkeen

Näiden aiemmin mainittujen kytkentämuutosten lisäksi suojauksen kannalta on pitänyt tehdä pieniä muutoksia kytkentään, mutta turvallisuuteen liittyviä asioita on käyty läpi luvussa 4.5 ”Turvallisuus”.

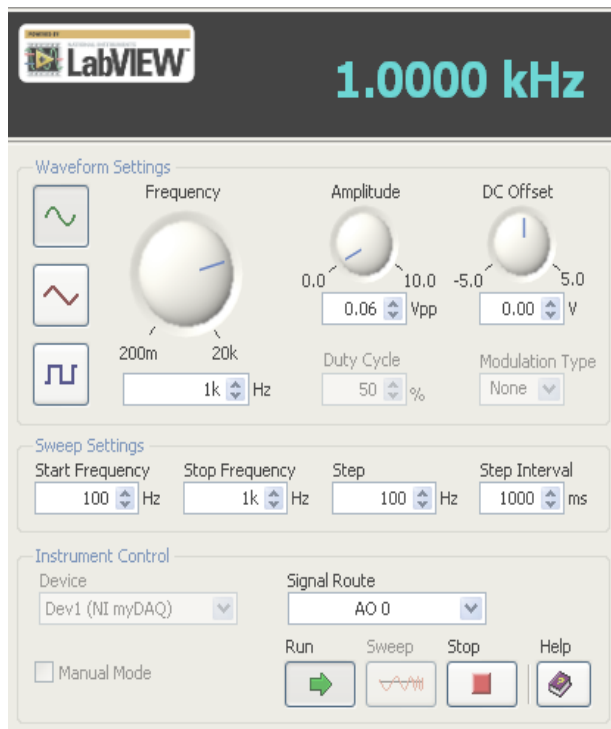
4.2 NI myDAQ

National Instrumentsin valmistama myDAQ (KUVA 9) on opiskelijoille suunnattu signaalien käsittelytyökalu, jolla voi mitata ja tuottaa erilaisia sähköisiä signaaleita. MyDAQ käyttää LabVIEW:n graafista ohjelmointikieltä. Laitteesta löytyy valmiiksi asennettuja ohjelmia ja LabVIEW:n avulla ohjelmia pystyy tietokoneen välityksellä muokata tai tekemään alusta loppuun itse. (National Instruments, myDAQ, 2015)



KUVA 9. NI myDAQ

Yksi myDAQ:n sisäänrakennettuja ominaisuuksia on analogisen jännitteen ± 10 VDC output, jonka kaksi analogilähtöä sijaitsevat riviliittimillä paikoissa AO 0 ja AO 1. Lisäksi laitteesta löytyy funktiogeneraattori NI ELVISmx, joka pystyy tuottamaan mm. sinimäisiä jännitteitä. Kuvassa 10 on esitelty NI ELVISmx:n käyttöliittymä.

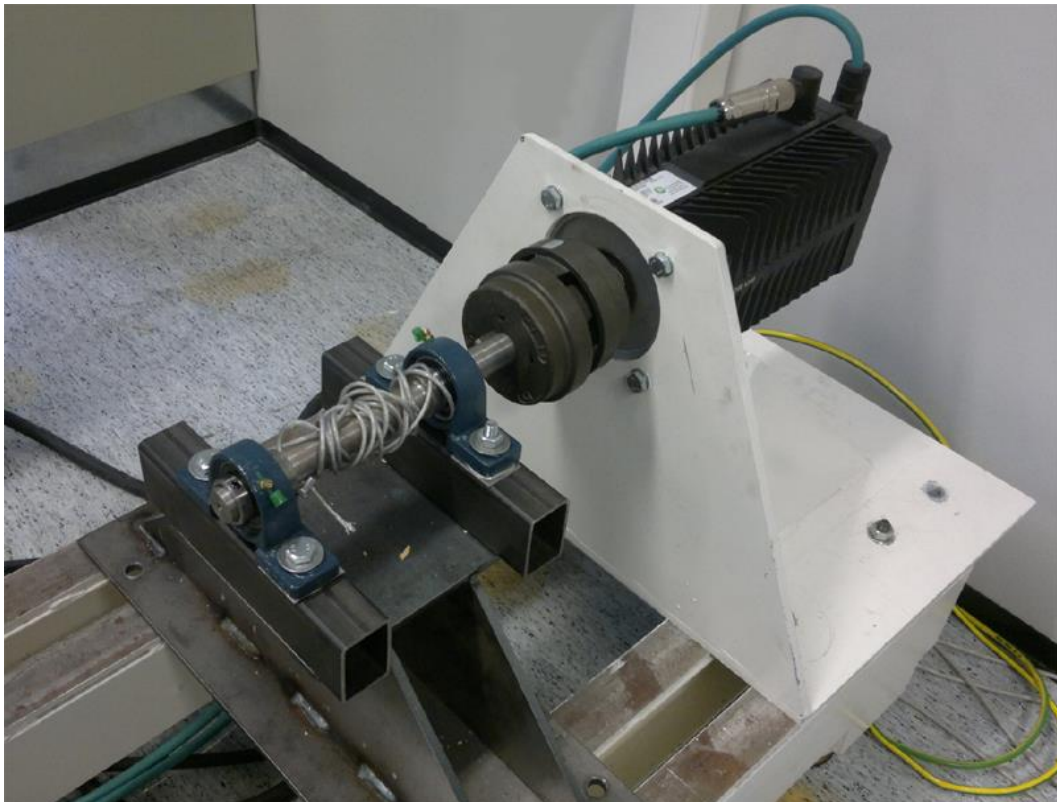


KUVA 10. NI ELVISmx

Opinnäytetyön kannalta oleellisia toimintoja funktiogeneraattorissa on mahdollisuus säätää siniaallon taajuutta ja jännitteen amplitudia. Rajoittavia tekijöitä taas on taajuuden minimiarvo 200 mHz, jolloin siniaallon jaksonajaksi saa korkeintaan 5 sekuntia. Lisäksi aaltoenergian kannalta ainoastaan alkuperäisistä kolmesta funktiotyypistä vain siniaalto on relevantti. Kappaleessa 5. ”Pohdinta” on selitetty laajemmin mahdollisuuksista kehittää ohjausta esimerkiksi Fourier-sarjakehitelmäksi.

4.3 Servomoottori

Käytössä oleva servomoottori on Control Techniquesin valmistama AC-servomoottori, joka näkyy kaapelikelaimen kanssa kuvassa 11. Jotta servomoottoria pystytään ohjaamaan taajuusmuuttajan avulla, tulee servomoottorin kilpiarvot syöttää taajuusmuuttajan parametreihin. Koska laitteisto on aiemmin ollut laboratoriokäytössä, tämä parametointi on hoidettu etukäteen.



KUVA 11. Servomoottori ja kaapelikelain

Servomoottorin ohjaaminen perustuu takaisinkytkentään, missä servomoottorille annetaan tässä tapauksessa analoginen nopeusohje, ja takaisinkytkentä mittaa moottorin todellista pyörintänopeutta. Tämän jälkeen moottorin pyörintänopeutta ja ohjearvoa verrataan toisiinsa ja taajuusmuuttaja tekee tarvittavat muutokset moottorin ohjaukselle. (Halme & Parikka, 2005, 6–8)

4.4 Kuormalaitteisto

Moottorin akselille kytketään, joko alennusvaihteen välityksellä tai ilman, kaapelikelain, jossa kelaimen akseliin on kiinnitetty vaijeri. Tämän vaijerin välityksellä nostetaan hissitäsoa, jolle generaattorilaitteisto tullaan asentamaan. Koska mekaaninen laitteisto vioittui testikäytössä, ei kuormalaitteistoa ole päästy sen suuremmin testaamaan.

Servomoottorin akselille on mahdollista kytkeä alennusvaihte, joka vaikuttaa nopeuksiin millä moottori tulee pyörittää halutun amplitudin saavuttamiseksi. Pyörimisnopeuksien kannalta alennusvaihte ei kuitenkaan välttämättä ole tarpeellinen: moottoria pystytään ajamaan halutulla nopeudella 0-3000 rpm. Kuitenkin manuaalisen ajon kannalta esimerkiksi vikatilanteissa saattaa olla hyödyllistä, että alennusvaihte on asennettu, jotta ohjaus voidaan tehdä mahdollisimman varovaisesti ja tarkasti. Opinnäytetyötä lukiessa tulee ottaa huomioon, että ohjaukseen liittyvässä laskennassa ei ole käytetty alennusvaihdetta.

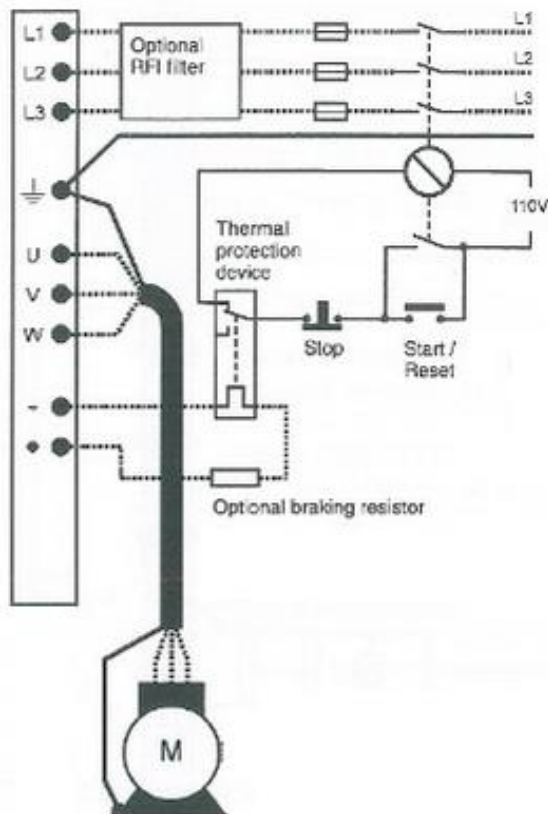
4.5 Turvallisuus

Laitteiston turvallisuuden kannalta on syytä asentaa liikkuvalla hissitäsolle toimintarajat. Koeajossa hissiä ajattaessa manuaalisesti vaijeri leikkaantui poikki, kun hissitäso nousi liian korkealle. Tässä kappaleessa otetaan ensisijaisesti kantaa ainoastaan sähköisen suojauksen kannalta laitesuunnittuun, mutta myös mekaanista suojauksen tarvetta on mietitty loppupäätelmissä.

Sähköisen suojauksen tulee toimia automaattisesti. Tämän toteuttamiseen on käytetty optisia antureita, joiden toiminta perustuu metalleille tyypilliseen valosähköiseen ilmiöön, jossa optinen anturi havahtuu kun anturin eteen tuodaan esine. Tarvittaessa laitteisto voidaan tämän lisäksi pysäyttää manuaalisesti taajuusmuuttajan käyttöpaneelistä tai sähkölaboratoriossa olevista Häätä seis -painikkeista.

Suojauksen toteuttamiseen on käytännössä kaksi mahdollista toteutustapaa, joko ulkoinen ohjaussignaali voidaan katkaista tai laitteisto pysäytetään taajuusmuuttajatasolla. Molemmilla ratkaisuilla on omat etunsa. Ulkoisen ohjaussignaalin katkaisemisen hyvä puoli on, että se voidaan toteuttaa NI myDAQ -työkalulla ohjelmallisesti. Ohjelmallisen toteutuksen hyötyjä ovat mahdollisuus käyttöliittymän suunnitteluun ja sitä kautta toteutuksen käytön helppous esimerkiksi käynnistettäessä ohjaus. Tämän ratkaisun ainoa todellinen ongelma on, että yhdessä koeajossa ohjaukseen liittyvään nollapiiriin jäi kelluva jännite, jonka takia moottori pyöri hiljaa tilanteessa, jossa moottorin olisi pitänyt olla pysähtynyt.

Turvallisuuden ollessa pääprioriteetti servomoottorin pysäyttäminen sähköisesti on kaikkein turvallisinta hoitaa taajuusmuuttajatasolla. Tämä on toteutettavissa hyödyntämällä taajuusmuuttajan stop-painiketta, jonka kanssa asentamalla sarjaan aukeavan releen moottori pysähtyy kun optiselta anturilta tulee jänniteviesti. Taajuusmuuttajan pysäytys- ja käynnistyspiirin piirikaavio on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Taajuusmuuttajan käynnistys- ja pysäytyspiiri (Control Techniques, User Guide 1998, 2-5, muokattu.)

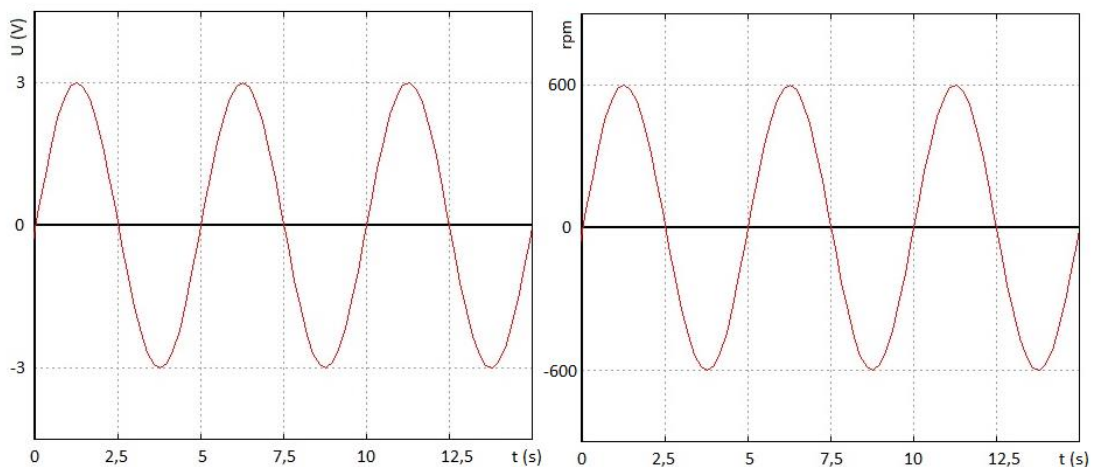
Piirikaaviosta voidaan huomata, että taajuusmuuttajan pysäytyspainike on osana pitopiiriä, joten moottori ei lähdä käyntiin ennen kuin vika kuitataan painamalla start-painiketta. Turvallisuuden kannalta tämä on hyvä ja toimiva ratkaisu, jonka haittana on tarve lisäkomponentin asentamiseen laitteiston kiinteäksi osaksi.

Näiden edellä mainittujen asioiden puolesta pohdittaessa mekaanista suojausta voidaan todeta, että mikäli suojaus toteutetaan ohjelmallisesti muokkaamalla funktiogeneraattorin ohjelmarakennetta, on erillissuojaus lähes pakollinen lisäys osaksi laitteistoa. Toisaalta turvallisuuden kannalta myös yhtä lailla on järkevää asettaa rajat myös käytettäessä rele-ratkaisua, koska esimerkiksi vaijeri voi leikkaantua, optinen anturi ei toimi tai sen jännitelähdettä ei ole kytketty päälle.

5 OHJAUSSIGNAALIN JÄNNITE JA TAAJUUS

Tässä kappaleessa on tarkoitus määrittää millaisilla jännitteillä ja taajuuksilla servomootoria ohjataan. Laskennassa ohjaussignaali on sinimuotoista vaihtojännitettä, jossa ohjaussignaalin taajuus määrittää aaltoliikkeen jaksonajan ja jännitteen aaltomuoto määrittää moottorin pyörimän matkan ja sitä kautta aaltoliikkeen amplitudin. Laskenta pätee yhtä lailla myös epäsinimuotoisilla ohjausjännitteillä.

Kuvassa 13 on esitetty syötetyn nopeusohjeen ja moottorin pyörimisnopeuden välinen korrelaatio kun ohjaussignaalin jaksonaika on 5 sekuntia ja jännitteen huippuarvo 2 V. Taajuusmuuttajan parametroidin mukaisesti servomootorin pyörimisnopeuden minimiarvo n_{\min} on -3000 rpm ja huippukierrosnopeus n_{\max} on 3000 rpm. Servomootoria voidaan ohjata jännitteillä välillä [-10,10] V. Esimerkissä laskenta on suoritettu nopeusohjeen huippuarvolla U_p 2 V, jolloin pyörintänopeuden huippuarvo n_{ohje_p} on kuvan 13 mukaisesti 600 rpm.



KUVA 13. Ohjausjännitteen ja pyörimisnopeuden suhde

Koska moottorin akselille on kiinnitetty kaapelikelain, jonka ympärille vaijeria pyöritetään, vaikuttaa kaapelikelaimen akselin kehän pituus hissitason kulkemaan matkaan. Mittaamalla akselin halkaisijan voidaan ratkaista akselin kehän pituus kaavalla 1 seuraavasti:

$$p = \pi \cdot d, \quad (1)$$

jossa p on ympyrän kehän pituus
 d on ympyrän halkaisija.

Kelaimen akselin halkaisijaksi saatiin työntömitalla mitaten 1,50 cm. Akselin kehän pituus määritettiin kaavalla 1.

$$p = \pi \cdot 2,50 \text{ cm} = 7,85 \text{ cm}$$

Kun kelaimen akselin kehän pituus ja moottorin akselin pyörimisnopeus tunnetaan, päästään kiinni liikkuvan hissitason nopeuteen. Koska moottorin pyörimisnopeudet on ilmoitettu kierroksina minuutissa r/min, tarvitsee pyörimisnopeudet muuttaa SI-järjestelmän mukaiseen muotoon kierroksia sekunnissa. Muutos tapahtuu jakamalla pyörimisnopeudet 60:llä, näin ollen 600 rpm vastaava arvo on 10 r/s. Nopeus voidaan laskea kaavalla 2:

$$v = p \cdot \frac{r}{s}, \quad (2)$$

jossa p on ympyrän kehän pituus
 $\frac{r}{s}$ on kierroksia sekunnissa.

Vastaavasti siis kaavalla 2 voidaan laskea 5cm halkaisijalla ja 10 r/s pyörimisnopeudella:

$$v = 0,0785 \text{ m} \cdot (10 \text{ r/s}) = 0,785 \text{ m/s}$$

Jotta nopeus voidaan esittää kuvaajassa ajan funktiona, tulee ohjaussignaalin taajuuden avulla ratkaista ohjausjännitteen jaksonaika. Jaksonaika on laskettavissa kaavasta 3.

$$T = \frac{1}{f}, \quad (3)$$

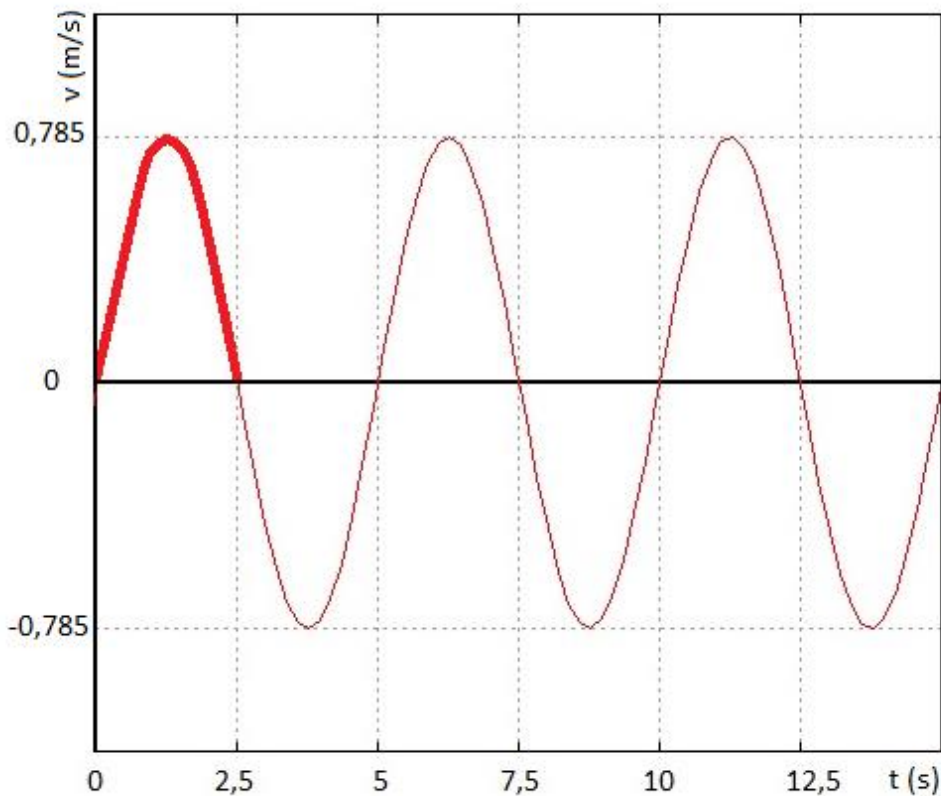
jossa T on jaksonaika
 f on taajuus.

Kuten aikaisemmin aaltojen mallinnukseen liittyen on todettu, aaltojen jaksonajat vaihtelevat tyypillisesti välillä 3-25 s. Tässä esimerkissä laskenta on suoritettu taajuudella

200 mHz, joka on tuotettavissa käytössä olevalla laitteistolla. Jaksonaika siis määrittyy seuraavasti:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{200 \text{ mHz}} = 5 \text{ s}$$

Nopeuden kuvaaja ajan funktiona on esitetty kuvassa 14, missä syötetty ohjausjännite on sinimuotoista, ohjausjännitteen huippuarvo on 2 V ja ohjausjännitteen taajuus on 200 mHz. Kuten kuvasta näkee, moottori tekee suunnanvaihdoksia ja positiiviset ja negatiiviset puolijaksot ovat peilikuvia toisistaan x-akselin suhteen. Koska kokonaisen 5 sekunnin jakson aikana keskinopeus on nolla, tulee nopeutta tarkistella ainoastaan yhden puolijakson ajan, hissitason kulkiessa alhaalta ylös tai ylhäältä alas. Nopeuden ja matkan välistä suhdetta voidaan kaavan 4 mukaisesti kuvata määrättyllä integraalilla. Kuvassa 14 määrätyn integraalin integrointiväli on korostettu paksummalla viivalla 0-2,5 s. (Tampereen teknillinen korkeakoulu: Määrätty integraali, 1996.)



KUVA 14. Nopeuden kuvaaja ajan funktiona

$$s(t) = \int_a^b v(t) dt, \quad (4)$$

jossa $s(t)$ on matka ajan funktiona
 $v(t)$ on nopeus ajan funktiona
 a on määrätyn integraalin alaraja
 b on määrätyn integraalin yläraja.

Määrätyn integraalin käyttämiseksi tarvitsee nopeudenkuvaajan (KUVA 14) mukainen siniaalto esittää funktiona kaavan 5 mukaisesti:

$$y(t) = A \cdot \sin(2\pi\omega t + \varphi), \quad (5)$$

jossa A on amplitudi
 ω on kulmataajuus
 t on aika
 φ on vaihesiirtokulma.

Kaavassa 5 käytettävä kulmataajuus voidaan määrittää kaavalla 6.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (6)$$

jossa f on taajuus.

Kulmataajuuden yksikkö on radiaania sekunnissa. Kaavalla 6 laskettuna kulmataajuus on 200 mHz taajuudella:

$$\begin{aligned} \omega &= 2 \cdot \pi \cdot f \\ \omega &= 2 \cdot \pi \cdot 0,2 \text{ Hz} = 0,4\pi \text{ (rad/s)} \end{aligned}$$

Kun kaavaan 5 sijoitetaan kuvaajan 8 mukainen aalto, saadaan seuraava funktio:

$$y(t) = 0,785 \sin(0,4 \cdot \pi \cdot t),$$

koska amplitudin huippuarvo on 0,785 m/s ja vaihesiirtokulmaa ei ole. Tämän jälkeen hissitason kulkema matka yhden puolijakson aikana voidaan ratkaista kaavasta 4 käyttämällä integroinnin alarajana arvoa 0 sekuntia ja ylärajana 2,5 sekuntia:

$$s(t) = \int_a^b v(t) dt,$$

$$s(2,5 \text{ s}) = \int_0^{2,5} (0,785 \sin(0,4 \cdot \pi \cdot t) dt,$$

$$s(2,5 \text{ s}) = 1,25 \text{ m}$$

Vastaavasti laskemalla ohjausjännitteen erilaisilla huippuarvoilla laadittiin taulukko 1. Myös jaksonajat laskettiin kaavaan 3 mukaisesti 40-400 mHz taajuuksilla ja taulukoitiin taulukkoon 2. Näitä laskennallisia arvoja voidaan käyttää ohjauksen viitearvoina.

TAULUKKO 1. Ohjausjännitteet ja hissitason kulkema matka puolijakson aikana

Ohjausjännite	Amplitudi
U _p (V)	s (m)
0,5	0,3
1,0	0,6
1,5	0,9
2,0	1,3
2,5	1,6
3,0	1,9
3,5	2,2
4,0	2,5
4,5	2,8
5,0	3,1

TAULUKKO 2. Ohjausjännitteen taajuus ja hissitason jaksonaika

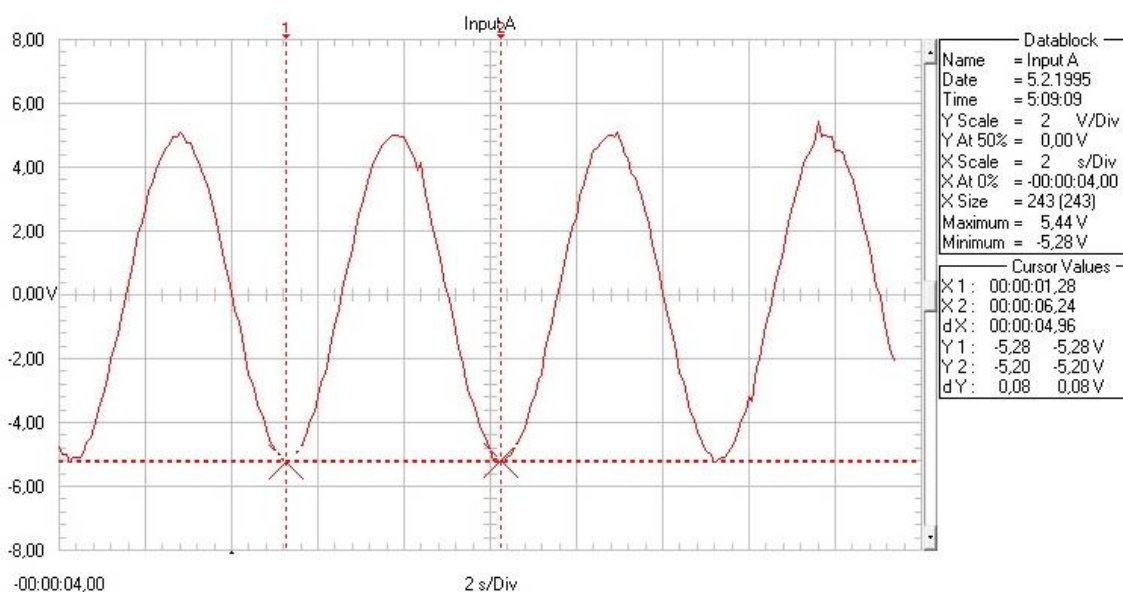
Ohjausjännite	Jaksonaika
f (mHz)	T (s)
40	25,0
80	12,5
120	8,3
160	6,3
200	5,0
240	4,2
280	5,6
320	3,1
360	2,8
400	2,5

6 LAITTEISTON TESTAAMINEN

6.1 Mittaustulokset

Laitteiston testaamiseksi on muutamia tapoja mitata moottorin todellista pyörimisnopeutta, joista sinimuotoisen nopeusohjauksen kannalta kaikkein havainnollisin tapa on käyttää hyväksi servomoottorin takaisinkytkennän jännitetietoa. Jännitetieto saadaan taajuusmuuttajan käyttöpaneelista (Kuva 8). Nopeustieto n_{act} toimii samalla tavalla kuin taajuusmuuttajalle menevä nopeusohje: 0-10 V jännitteellä ilmaistaan nopeudet välillä 0-3000 rpm. Negatiiviset jännitteenarvot viittaavat moottorin käänteiseen pyörintäsuuntaan positiivisiin jännitteisiin nähden.

Nopeustietoa mitattiin Fluke 123 -oskilloskoopilla käyttöpaneelista kytkentäpaikasta n_{act} . Mittauksista talteen otetut oskilloskoopin näyttökaappaukset on esitelty kuvissa 15-17.



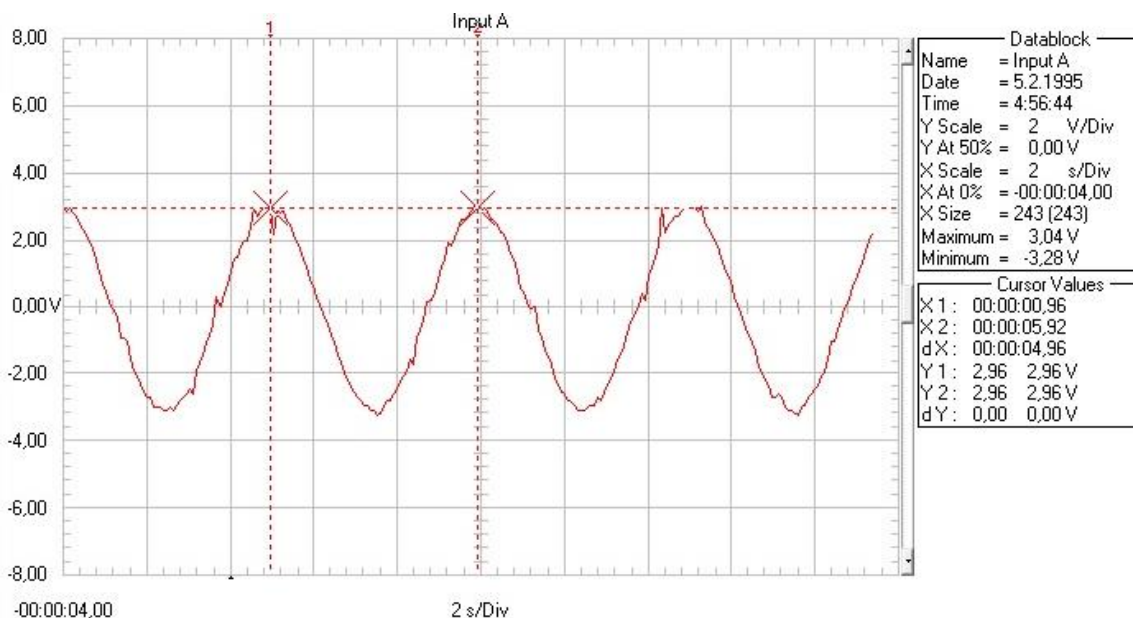
KUVA 15. n_{act} ohjausjännitteellä 10 V_{pp}, 200 mHz

Kuvasta 15 näkee, että moottorin nopeus muuttuu ajan suhteen siniaaltomaisesti, jos ei oteta huomioon esimerkiksi viimeisessä aallonhuipussa tapahtuvaa noin 0,2 V poikkeamista sinimuodosta. Häiriötä, häiriöiden vaikutusta ja niiden syytä pohditaan yhdistetysti kaikista mittauksista omana kappaleenaan tämän kappaleen lopussa.

Jaksonaikaa tarkastellessa voidaan todeta, että sen puolesta ohjaus toimii hyvin. Ohjauksessa käytetty taajuus on 200 mHz eli jaksonaika on 5 sekuntia, kun mittaamalla saatu jaksonaika on 4,96 s. Jaksonaika näkyy kuvaajan oikealla puolella kohdassa ”dX”, missä ensimmäinen mittauspiste on 1,28 sekunnin kohdalta ja jälkimmäinen mittauspiste on 6,24 s. Jaksonaika saadaan näiden kahden mittauspisteen erotuksena.

Ohjauksen kannalta jännitteen stabiliteetti on kaikkein tärkein tekijä. Mikäli yhden kokonaisen jakson nopeuden keskiarvo ei ole nolla, hissitaso ei pysy paikallaan vaan liikkuu ylös- tai alaspäin. Kuvaajasta positiivisia ja negatiivisia huippuarvoja tarkastelemalla voi huomata, että jännitteen huiput ovat keskimäärin hyvin lähellä 5 V ja -5 V, joten hissitaso ei pitäisi ainakaan äkisti siirtyä kumpaankaan suuntaan alkuperäisestä sijainnista. Suurimmat poikkeamat ovat noin 200 mV suuruisia.

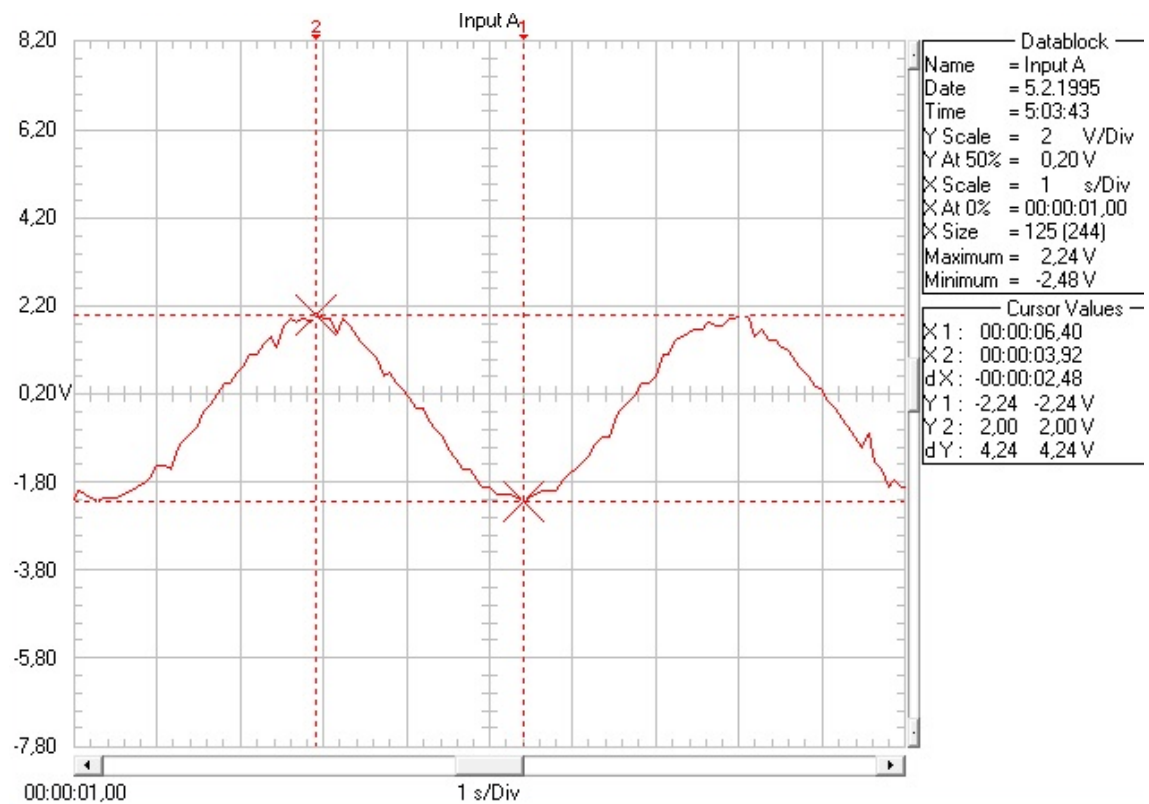
Seuraavana kuvassa 16 on nopeuden jännitetieto kun ohjausjännite oli 6 V_{pp}. Yhtäläillä tässäkin tapauksessa jaksonaika on 4,96 s, kuten myös kaikissa myöhemmissäkin mittaauksissa, joten jaksonajan suhteen mittaustulokset vaikuttavat luotettavilta. Jännitteiden suhteen positiiviset huiput ovat molemmissa mittauspisteissä Y1 ja Y2 yhtä suuret eli 2,96 V. Tältä osin aallot ovat hyvin samankaltaisia toistensa kanssa.



KUVA 16. n_{act} ohjausjännitteellä 6 V_{pp}, 200 mHz

Kuvassa 17 mittauspisteet on asetettu siten, että saadaan erityisesti tietoa positiivisen ja negatiivisen huippuarvon eroista. Mittauspisteissä Y1 jännite on -2,24 V ja Y2 jännite vastaavasti 2 V. Tässä tapauksessa huippuarvojen ero on huomattava, jos ero ei johdu

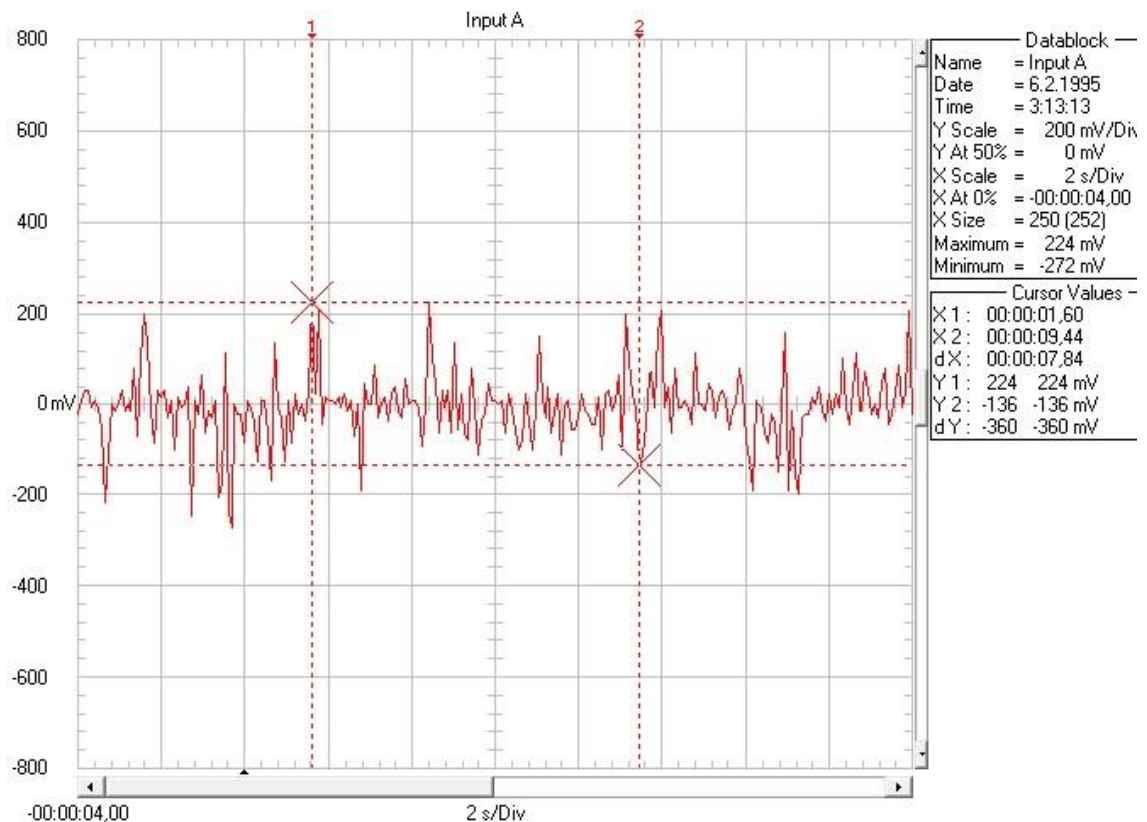
ainoastaan mittaushäiriöistä. Tarvittaessa ohjaussignaaliin pystytään asettamaan myDAQ-laitteistolla DC-offset, jolla siniaaltoon voidaan lisätä tämän eron tasoittava tasajännitekomponentti.



KUVA 17. n_{act} ohjausjännitteellä 4 V_{pp}, 200 mHz

6.2 Häiriöt

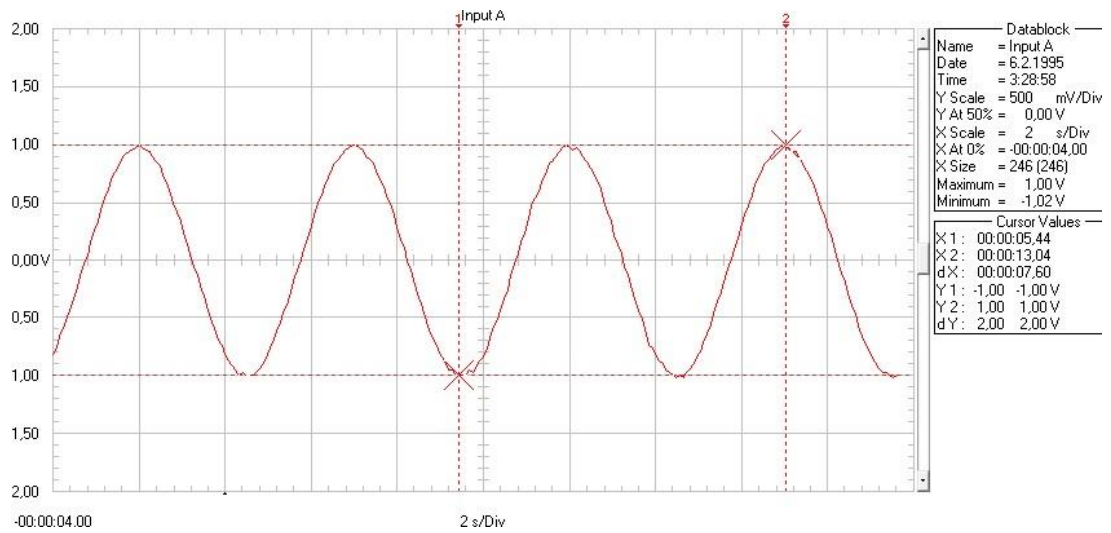
Kuten aiemmista mittauksiin liittyvistä siniaaltomuodoista voi huomata, poikkeavat mitaustulokset siniaallostta jonkun verran varsinkin pienillä ohjausjännitteillä. Aistinvaraisesti tarkasteltuna servomoottorin pyörimisessä ei voi nähdä tai kuulla mitaustuloksissa näkyvää sahalaitaisuutta. Häiriöiden mittaamiseksi servomoottori kytkettiin generaattorikäytölle eikä moottoria pyöritetty. Tilanteesta mitattiin oskilloskoopilla samaisesta nopeustietopaikasta n_{act} :sta tuleva jänniteviesti, joka on esitelty kuvassa 18.



KUVA 18. n_{act} häiriöt moottorin seistessä paikallaan generaattorikäytössä

Kuvasta voidaan huomata, että häiriöiden huiput ovat positiivisella puolella noin 200 mV luokkaa ja negatiivisella puolella hieman pienempiä. Aiemmissa mittaustuloksissa voi huomata samaa kokoluokkaa olevia poikkeamia siniaallon muodosta. Häiriöt johtuvat todennäköisesti lähellä olevista sähkölaitteista, joista indusoituu häiriöitä mittausjohtoihin. Häiriöitä voi indusoitua myös taajuusmuuttajan sisäisesti.

Jotta voidaan vielä todeta, ettei ohjauslaitteen ohjaussignaali ole häiriöitä, mitattiin vielä ohjaussignaali oskilloskoopilla. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 19 kun ohjausjännitteen arvoksi oli asetettu 2 V_{pp}. Jännite on sinimuotoista ja huippuarvot odotetun suuruisia. Hyvin pientä poikkeamaa sinimuodosta voi nähdä jännitteen huipuissa, mutta kokoluokka on satunnaisesti korkeintaan 20 mV kokoluokkaa eikä siten aiheuta merkittävää vaikutusta ohjaukseen.



KUVA 19. Ohjaussignaali 2 V_{pp}, 200 mHz

Häiriöiden tutkimisen jälkeen voidaan olettaa, että servomoottorin ohjaus toimii halutulla tavalla. Tästä eteenpäin laitteistoa on havainnollisinta testata konkreettisesti käyttäen hissitäsoa.

7 POHDINTA

7.1 Opinnäytetyön onnistuminen

Opinnäytetyössä on onnistuttu suunnittelemaan ja toteuttamaan opinnäytetyön tutkimusongelman mukainen aaltoliikettä mukaileva ohjausjärjestelmä TAMKin käytössä olevalla laitteistolla. Testauksen perusteella laitteisto on käyttökelpoinen ottamatta kantaa mekaaniseen laitteistoon kuten vaijerikelaimeen ja hissitasoon. Lisäksi opinnäytetyössä on tutkittu riittävällä laajuudella taajuusmuuttajan kytkentää ja parametointia, jotta opinnäytetyön pohjalta pystytään kehittämään ohjausta edelleen jatkossa ilman muuta perehtymistä taajuusmuuttajakäyttöön.

Opinnäytetyössä parannettavaa jäi ohjauslaitteiston joustavuuteen. Ohjauslaitteistolla pystytään tuottamaan aaltojen mallinnuksessa määritetyn mukainen siniaalto, mutta tämän hetkisillä asetuksilla pisimmillään 5 sekunnin mittainen jaksonaika rajoittaa aaltovoimalaitteiston käyttöä melko runsaasti. Ohjaukseen liittyviä ongelmia ja mahdollisia kehitystekijöitä on käyty laajemmin läpi seuraavassa kappaleessa 7.2 ”Kehitysmahdollisuudet”.

Kokonaisuutena voidaan sanoa, että opinnäytetyö on onnistunut. Aaltoenergialaitteistolle on suoritettu käyttöönotto siltä osin mitä laitteistoa on ollut käytettävissä, ja ohjaus on aaltojen mallintamisen kannalta uskottava. Ohjaukseen liittyen hissitasolle on tehty riittävä laskenta, jossa ohjaukselle on määritetty ohjausjännitteiden ja -taajuuksien viitearvot. Sähköteknisesti laitteisto on käyty läpi sillä tasolla, että sähköalan ammattilainen, joka ei ole aiemmin ollut laitteiston kanssa tekemisissä, pystyy käyttämään aaltoenergialaitteistoa pienellä tutustumisella.

7.2 Kehitysmahdollisuudet

Kuten aiemmin aaltojen mallintamiseen liittyvässä kappaleessa mainittiin, ohjauksessa voidaan käyttää sinimäistä mallia tapauksessa, jossa oletetaan, että merenpohjaan kiinnitettävä kelluketyyppinen laitteisto on asetettu mereen niin syväälle, ettei merenpohja vaikuta aaltojen profiiliin. Tämä osaltaan rajoittaa aaltojen tutkimisen melko rajalliseen osaan maailman meristä, lisäksi aaltoenergialaitteistot tyypillisesti asennetaan rannikolle.

Fourierin sarjakehitelmän lisääminen vaihtoehdoksi sinimäisen ohjauksen rinnalle poistaisi tämän ongelman.

Fourierin sarjakehitelmän mukainen ohjaus voidaan varmastikin toteuttaa käytössä olevalla NI myDAQ -laitteistolla, mutta se vaatii melko kattavaa osaamista LabVIEW-ohjelmoinnista. Tutkiessani ELVISmx -funktiogeneraattorin ohjelmarakennetta totesin, että kokonaisuus on varsin haastava ja tämän toteuttaminen ei ilman LabVIEW-ohjelmointitaustaa olisi ollut vaikeaa käytössä olevien aikarajojen puitteissa. Fourier-sarjakehitelmä ei kuitenkaan varsinkaan laitteiston käyttöönottovaiheessa ole välttämättömyys, eikä myöhemmässäkään vaiheessa mikäli ottaa huomioon millaista käyttöä sinimäisellä ohjauksella voidaan simuloida, mutta tässä on selkeä mahdollisuus laitteiston kehittämisen kannalta.

Laitteiston ohjaukseen liittyvän suojauksen muuttaminen myös toimimaan tiedonkeruulaitteiston NI myDAQ avulla on mahdollista, mutta muutos ei sinänsä tuo juurikaan merkittävästi uutta laitteiston toimintaan. Kuten turvallisuuteen liittyvässä kappaleessa mainittiin, tämä kannattaa toteuttaa ainoastaan siinä tapauksessa, että mekaaniset pysäyttimet niin ylä- kuin alarajallekin on asennettu. Tällä hetkellä laitteisto on tältä osin puutteellinen ja voidaankin sanoa, että ainakin siihen asti ohjaus on parasta pysäyttää suoraan taajuusmuuttajalta.

Muita mahdollisia kehityskohteita on NI myDAQ -laitteiston korvaaminen jollain toisella logiikkalaitteistolla kuten Siemensin S7:llä. Tämä on tarpeen, jos aaltojen mallintamiseen halutaan käyttää aaltoja, joiden jaksonaika on yli 5 sekuntia. Tämä rajoitus johtuu tiedonkeruulaitteiston minimitaajuudesta 200 mHz. Mahdollisesti tämä on ohitettavissa käyttämällä jotain toista sovellusta kuin ELVISmx -funktiogeneraattoria, mutta asian muuttaminen saattaa osoittautua hyvinkin hankalaksi, varsinkin siniaaltoa monimutkaisemmilla malleilla.

7.3 Oppiminen ja opinnäytetyö

Opinnäytetyö on ollut opettava kokonaisuus sähköteknisesti varsinkin taajuusmuuttajien ja moottorin ohjaamisen perspektiivistä. Esimerkiksi taajuusmuuttajan parametointi ja taajuusmuuttajaan liittyvät fyysiset kytkennät ovat tulleet varsin tutuksi työn kuluessa.

Työ on ollut sinänsä hyvin käytännönläheinen, että tutkimustyö on ollut pitkälti ongelmanratkaisua, ei niinkään esimerkiksi sähkötekniikkaan teoriaan tutustumista. Laitteisto on loppujen lopuksi kohtuullisen yksinkertainen, mutta mitään toimivaa ja valmista mallia moottorin ohjaamiseen ei valmiiksi ollut, joten ratkaisut piti löytää itse. Voidaan hyvin sanoa, että suuri osa työhön kuluneesta ajasta kului laboratoriossa tutkien taajuusmuuttajan käyttöohjeita ja pohtien erilaisia mahdollisia ratkaisuja ohjauksen kannalta. Tämä osa työstä ei välttämättä välity itse opinnäytetyötä lukemalla.

Laitteistosta voidaan sanoa, ettei sen ohjauspuolen tekniikka ole ihan tuoreinta tekniikkaa mitä tulee taajuusmuuttajiin ja se osaltaan tekee ohjaamisen hieman hankalaksi. Esimerkiksi Internetistä tai kirjallisista lähteistä on todella vaikeaa löytää materiaalia, joka auttaa ohjaamisen suunnitteluun tässä tapauksessa. Toisaalta opinnäytetyön kannalta voidaan ajatella, että tämäkin on hyvä asia: esimerkiksi ohjaussignaalin viemistä ohittaen laitteiston potentiometrin joutui oikeasti pohtimaan niin pitkään, että ymmärtää kytkennän toimintaperiaatteen. Ohjauksen saamista toimimaan voidaankin pitää opinnäytetyön suurimpana saavutuksena - kehityskohteistaan huolimatta.

Lisäksi opinnäytetyön voidaan pitää opettaneen jotain ajankäytöstä ja asioiden aikataulutuksesta, tässä suhteessa olisi ollut parannettavaa aika runsaastikin. Opinnäytetyö lähti käyntiin hyvällä vauhdilla, mutta pian työ jämähti pidemmäksi aikaa, suurelta osin ohjauksratkaisun puutteen takia. Tässä vaiheessa olisi pitänyt pyrkiä ymmärtämään, että mitä työssä on tehtävä missäkin järjestyksessä, että asiat edistyvät. Haastavaksi tämän teki, että ohjauksen suunnittelu on hyvin pitkälti sekä opinnäytetyön määrittävä tekijä että työn vaikein asia. Kyllä tästä kuitenkin lopulta selvittiin.

LÄHTEET

Coastal Engineering Manual EM 1110-2-1100. 2002. Aaltojen mallintaminen.

Control Techniques, Unidrive User Guide (Model sizes 1 to 5). 1998. Signaalikytkennät ja parametointi.

Control Techniques, Unidrive Advanced User Guide. 1998. Parametointi.

Fortum. Aaltovoima. Päivitetty 30.6.2015. Luettu 1.7.2015.
<https://www.fortum.fi/fi/energiantuotanto/aaltovoima/pages/default.aspx>

Halme, J & Parikka, R. 2005. AC-servomoottori - rakenne, vikaantuminen, havainnointimenetelmät. VTT. Luettu 6.10.2015.
http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf

IntMath Blog. Fourier'n sarjakehitelmä. Luettu 1.10.2015.
<http://www.intmath.com/blog/mathematics/fourier-series-interactive-graph-7719>

Matematiikan laitos, Tampereen teknillinen korkeakoulu. Määrätty integraali. Päivitetty 4.12.1996. Luettu 1.10.2015.
<http://matwww.ee.tut.fi/jkkm/integraa/integ08.htm>

National Instruments. MyDAQ-laitteisto. Luettu 30.8.2015.
<http://www.ni.com/mydaq/what-is/>

Seabased AB. Teollisuuden kelluketyyppinen aaltoenergiaratkaisu. Luettu 1.7.2015.
<http://www.seabased.com/en/technology/seabased-wave-energy>

Työ- ja elinkeinoministeriö. EU:n energiayhteistyö. Päivitetty 2.3.2015. Luettu 2.6.2015.
https://www.tem.fi/energia/eu_n_energiayhteistyö

Wolfram Mathworld. Fourier-sarjakehitelmät. Päivitetty 5.10.2015. Luettu 5.10.2015.
<http://mathworld.wolfram.com/FourierSeries.html>

LIITTEET

Liite 1. Taajuusmuuttajan parametrit, menu 0

Taajuusmuuttajan parametrit				
Pr	Value		Pr	Value
0.00	0		0.26	19.11
0.01	-3000		0.27	bit 0
0.02	3000		0.28	130
0.03	0.200		0.29	1200
0.04	0.200		0.30	bit 0
0.05	3		0.31	0
0.06	175		0.32	ansi 4
0.07	200		0.33	16.00
0.08	1000		0.34	149
0.09	0		0.35	863
0.10	0		0.36	19200
0.11	0		0.37	1.1
0.12	0		0.38	0.10
0.13	0		0.39	bit 1
0.14	50		0.40	bit 0
0.15	fast		0.41	3
0.16	no.rP		0.42	6 pole
0.17	0		0.43	1.000
0.18	bit 0		0.44	0
0.19	0.030		0.45	0
0.20	0		0.46	14.63
0.21	5		0.47	0.0
0.22	0		0.48	Servo
0.23	5		0.49	1
0.24	volt		0.50	3.01
0.25	volt			