

Kalevi Holmström

MEMS Fabry-Pérot-interferometriaan perustuvan lähi-infrapuna-alueen detektorin tärinätestauslait- teisto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

13.3.2016

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Kalevi Holmström MEMS Fabry-Pérot-interferometriaan perustuvan lähi-infrapuna-alueen detektorin värinätestauslaitteisto 26 sivua 13.3.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	-
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Kari Vierinen Lead Engineer Risto Mourujärvi
<p>Työssä haluttiin toteuttaa värinätestauslaitteisto MEMS Fabry-Pérot-interferometriaan perustuvan lähi-infrapuna-alueen detektorin testausta varten. Lisäksi tavoitteena oli suorittaa mittauksia tuotteelle. MOEMS-elementin värinätestaus oli tarkoitus suorittaa osana sen tutkimusprojektia. Laitteiston osalta työ koostui vaaditun mittauselektronikan suunnittelusta ja tilaamisesta, värinätestauslaitteiston sekä tarvittavien mittalaitteiden integroinnista yhteiseksi kokonaisuudeksi sekä tarvittavien ohjelmien konfiguroinnista ja valmistelusta.</p> <p>Työn aikana perehdyttiin erityisesti piirilevyn suunnitteluprosessiin sekä monimutkaisen mittalaitteiston käyttöön ja kokonaisuuden hallintaan. Teorian osalta työssä syvennyttiin Fabry-Pérot-interferometriaan, värinätestaukseen sekä ohuen laatan resonansseihin.</p> <p>Mittalaitteisto koostui pohjimmiltaan kahdesta osuudesta: värinän tuottamiseen tarvittavista laitteista sekä signaalin mittaukseen vaadittavista laitteista. Mittauselektronikka kuului näistä jälkimmäiseen, ja sen suunnittelu oli työn ensimmäinen ja lopulta aikaa vievin vaihe. Mittauselektronikka suunniteltiin soveltuvaksi värinälaitteistoon ja sen suunnittelussa ja piirtämisessä otettiin huomioon detektorin herkän signaalin vaatimukset.</p> <p>Koska mittalaitteisto koostui monista eri laitteista, tuli laitteistoa kyetä ohjaamaan hallitusti ja tämä tapahtui tietokoneella. Mittalaitteiston ohjausta varten oli valmiiksi käyttöliittymä, jonka kautta pystyttiin rakentamaan mittausekvenssejä, jotka automatisoivat mittauksia.</p> <p>Työssä rakennettiin mittalaitteisto, jolla voidaan tutkia ja mitata tuotteen signaalia korkean taajuuden värinälle altistettuna. Toteutetun mittauselektronikan toiminta varmistettiin myös osana laitteiston testausta. Aikataulusyistä ei itse mittauksia saatu suoritettua vaan niitä tullaan vielä jatkamaan tämän insinööriyön valmistuttua.</p>	
Avainsanat	MOEMS, värinätestaus, Fabry-Pérot-interferometri

Author(s) Title	Kalevi Holmström Vibration testing -system for MEMS Fabry-Pérot-interferometry based NIR-detector
Number of Pages Date	25 pages 13 th March 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation technology
Specialisation option	-
Instructor(s)	Principal Lecturer Kari Vierinen Lead Engineer Risto Mourujärvi
<p>Objective of this thesis was to build vibration testing system for MEMS Fabry-Pérot-interferometry based NIR-detector and after that perform some vibration testing for it. Vibration testing was part of an ongoing research project. Considering the measurement setup, the work was divided to designing and ordering measurement electronics (PCB), integrating vibration system to work in conjunction with measurement system and configuration and preparation of the software used.</p> <p>In the process I learned about basic design guidelines of circuit boards and design and usage of complex measurement system. In the theory part of the thesis I looked into Fabry-Pérot-interferometers, vibration testing in general and thin plate resonances.</p> <p>The setup was basically divided into two sections: the devices needed for producing the vibration and the devices that measured the detectors signal and provided the light and optics. Measurement electronics was part of the latter and it turned out to be the most time-consuming part to design the PCB. Measurement electronics was designed to fit the vibration system and to be able to deliver detectors noise-sensitive signal to the Lock-In-amplifier.</p> <p>Because of the multiple devices used, operating of the measurement system was done by a computer. There was a ready-made user interface that provided possibility to create measurement sequences that automated functions needed when doing measurements with the setup.</p> <p>The finished measurement system can be used to analyse and measure the signal under high frequency vibration. The new measurement electronics were verified to be functional. Because of the delays in the PCB ordering process and limitations of the schedule, measurements of the products performance are still to be made.</p>	
Keywords	MOEMS, vibration testing, Fabry-Pérot-interferometer

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Yritys	1
1.2	Työn taustat	1
1.3	Työn tavoitteet	2
2	Perusteita	3
2.1	Tärinätestaus	3
2.1.1	Tärinätestauksen tyypit	4
2.1.2	Tärinä	4
2.2	Fabry-Pérot-interferometri	4
2.2.1	Historia	4
2.2.2	Rakenne ja toiminta	5
2.2.3	FPI:n tehokkuus ja puoliarvoveveys	6
2.2.4	Detektorin FPI-elementin kalvon ominaisvärähtelytaajuuden laskenta	8
2.2.5	Fabry-Pérot-interferometri spektrometrissä	10
3	Testaus- ja mittauslaitteisto sekä ohjelmistot	11
3.1	Laitteiston toiminta	11
3.2	Asetelma	12
3.3	Mittauselektroniikka	13
3.3.1	Lähtökohdat	13
3.3.2	PADS ja piirilevyt	13
3.3.3	Työn kulku	14
3.3.4	Signaalin laadun varmistaminen piirilevyn suunnittelussa	15
3.4	Tärinätestauslaite, -ohjain sekä vahvistin	17
3.5	Optiset komponentit	18
3.6	Lock-In-vahvistin	18
3.7	Monokromaattori	19
3.8	Testauksessa käytettävät ohjelmistot	20
3.8.1	LabView	20
3.8.2	VibrationView	21

3.8.3	Testisekvenssit	22
3.8.4	Laitteiden käyttö yhtenä mittaussysteeminä	23
4	Mittaukset	24
4.1	Signaalin luotettavuuden varmistus	24
4.2	Mittausten suorittaminen	25
5	Lopuksi	26
	Lähteet	27

Lyhenteet

FPI	Fabry-Pérot interferometri
MOEMS	Mikro-opto-elektro-mekaaninen-systeemi
FWHM	<i>Full Width at Half Maximum</i> . Puoliarvoleveys.
USB	<i>Universal Serial Bus</i> . Yleisesti käytetty sarjaväylä-arkkitehtuuri.
PCIe	<i>Peripheral Component Interconnect Express</i> . Suurinopeuksinen väylä-tyyppi tietokoneille sarjamuotoiseen tiedonsiirtoon.
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> . Tietokoneavusteinen valmistus.
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> . Piirilevy.
NIR	<i>Near Infra Red</i> . Lähi-infrapuna.
GPIB	<i>General Purpose Interface Bus</i> . Usein mittalaitteissa käytettävä väylä-tyyppi.

1 Johdanto

1.1 Yritys

Murata Electronics Oy on MEMS-tekniikkaan keskittyvä yritys, jonka pääasiallisia markkina-alueita tuotteille ovat autoteollisuus, terveysteknologia ja teolliset sovellukset. Yrityksellä on jo yli kahdenkymmenen vuoden kokemus alalta, ja tänä aikana Murata Electronics Oy onkin kehittänyt omaa 3D-MEMS teknologiaansa, käyttäen puolijohdeteollisuudesta tuttuja valmistusmenetelmiä. Yritys työllistää Suomessa yli 800 henkeä ja on osa suurta japanilaista Murata-pörssiyritystä, jonka alaisuudessa se on toiminut vuodesta 2012 lähtien. Suomessa Murata valmistaa erilaisia kapasitiivisia kiihtyvyyssantureita, gyroskooppeja ja paine-anturielementtejä, sekä kehittää uusia MEMS-tekniikkaan perustuvia tuotteita ja sovelluksia. [1.]

Yrityksen idea on lähtöisin Vaisalan anturikehityksestä 1990-luvun alkupuolelta ja alun perin VTI Hamlin -nimellä toiminut yritys toimikin Vaisalan tiloissa, ennen kuin vuonna 1998 Martinlaaksoon valmistuivat tehtaan omat tilat, jotka amerikkalainen omistaja Breed Technologies Inc. oli laittanut alulle [2]. Myöhemmin silloisen emoyhtiön ajaututtua talousvaikeuksiin päätyi VTI Hamlin pohjoismaisen pääomasijoitusyhtiön EQT:n omistukseen ja sen nimi vaihtui VTI Technologiesiksi. Vuosina 2002–2012 EQT muun muassa päätti investoida tuotannon kasvattamiseen sekä panosti tuotekehitykseen VTI Technologiesilla. Nämä toimet mahdollistivat yrityksen kasvun kansainvälisesti merkittäväksi autoteollisuuden komponenttitoimittajaksi. [3.]

1.2 Työn taustat

Työ tehtiin Murata Electronics Oy:lle osana tutkimusprojektia ja toteutettiin Murata Electronics Oy:n tiloissa Martinlaaksossa. Työssä oli tarkoituksena rakentaa toimiva mittauslaitteisto, jolla voidaan suorittaa yrityksessä kehitteillä olevan MOEMS-elementin tärinätestausta. Osana mittauksen valmistelua tuli suunnitella soveltuva mittauselektronikka eli piirtää mittauksia varten käytettävä piirilevy. Laboratoriossa on aiemmin tehty tärinätestausta muun muassa kiihtyvyyssantureille ja gyroskoopeille, joten tärinä-laitteisto sekä sen vaatimat ohjelmistot olivat valmiina.

1.3 Työn tavoitteet

Työssä asetettiin tavoitteeksi:

- suunnitella ja toteuttaa uusi kooltaan pienempi mittauselektroniikka
- integroida värinän tuottamiseen käytettävä laitteisto ja tarvittavat ohjelmistot käytettäväksi mittalaitteiston kanssa
- suorittaa värinätestaus ja analysoida työn tuloksia vaatimusmäärittelyjen mukaisesti.

Tämän lisäksi työn aikana mahdollisesti ilmenevät ongelmakohdat tulisi ratkaista siten, että mittaukset päästään suorittamaan ja mittausten tulosten tulisi olla luotettavia. Työssä oli tarkoitus keskittyä mittalaitteistoon ja sen toimivuuteen, eikä niinkään mitattavaan tuotteeseen ja siltä saataviin mittaustuloksiin, sen ollessa vasta tutkimusvaiheessa.

2 Perusteita

2.1 Tärinätestaus

Tärinätestausta suoritetaan useimmiten osana laajempaa tuotteen tai valmistusmenetelmän validointia, joka sisältää useita erilaisia testejä, joilla pyritään simuloimaan tuotteen kokemaa rasitusta sen käyttöympäristössä sekä ympäristön vaikutusta tuotteeseen sen elinkaaren aikana ja näin todeta tuotteen luotettavuus ja valmius tuotantoon. Lisäksi halutaan varmistaa tuotteen toimivuus ja suorituskyky koko oletetun eliniän ajan, koko toiminta-alueella, myös ääriolosuhteissa. Kuitenkin tärinätestausta tulisi tehdä jo komponentin tuotekehitysvaiheessa. Mikäli vasta valmiin tuotteen validoinnissa huomataan, ettei se läpäise sille asetettuja vaatimuksia, voivat muutokset valmiiseen suunnitelmaan tulla kalliiksi.

Tärinätestauksella saadaan myös tietoa mahdollisista tuotteen tai tuotteen kotelon resonansseista, jotka voivat aiheuttaa häiriöitä tuotteen toimintaan. Tärinätestausta suoritetaan erilaisilla taajuusalueilla ja tärinän voimakkuutta voidaan kontrolloida kolmella eri arvolla: kiihtyvyydellä (m/s^2 tai g), nopeudella (m/s) tai liikkeen amplitudilla (mm). Eniten käytetyt laitteet tuottavat värähtelyä samaan tapaan kuin kaiutin tuottaa ääntä, eli ne perustuvat magneettiin ja sähkövirran aiheuttamaan muuttuvaan magneettikenttään, joka aiheuttaa magneetin välityksellä edestakaisen liikkeen. [4, s. 1-2; 5.]

Tärinätestaus on käytössä muun muassa autoteollisuudessa, elektroniikkateollisuudessa sekä lentokoneteollisuudessa, sillä esimerkiksi tiellä ajavaan autoon kohdistuu paljon värähtelyä. Lentokoneissa taas muun muassa ilmapirran aiheuttamat turbulenssit altistavat lentokoneen tärinälle, jolloin on syytä olla varma kaikkien laitteiden sekä niiden osien toimivuudesta kaikissa olosuhteissa. Jotta voitaisiin luoda pohja luotettavalle tärinätestaukselle, on testausta varten luotu standardeja, jotka määrittelevät eri testaustapoja. Tärinätestausta käsittelevät esimerkiksi Yhdysvaltain puolustusministeriön standardi MIL-810G sekä JEDEC:n eli mikroelektroniikan teollisuudelle avoimia standardeja kehittävä organisaation standardin nro 22-B103B. [6.]

2.1.1 Tärinätestauksen tyypit

Tärinätestausta on karkeasti jaoteltuna kolmea eri tyyppiä. Tuote voidaan altistaa tärinälle laajallakin taajuusalueella systemaattisesti, ajamalla niin sanottu taajuuspyyhkäisy halutulla nopeudella ja voimakkuudella. Tuotteelta saatavassa signaalissa ei tulisi esiintyä häiriöitä taajuusalueen missään kohdassa. Vaihtoehtoisesti voidaan pitää tärinän taajuus ja voimakkuus vakiona ja näin selvittää, aiheuttaako tärinä tuotteessa esimerkiksi väsymismurtumia eli tutkitaan aiheuttaako tärinä rakenteellisia vaurioita tuotteeseen, jotka vaikuttavat tuotteen toimintaan. Näiden lisäksi tärinätestauslaitteistolla voidaan suorittaa tärinätestauksen kanssa hyvin samankaltaista Bump- eli shokkitausta, jossa tuote altistetaan useille (jopa kymmeniä tuhansia) iskuille halutulla voimakkuudella. Tällöin tutkitaan, aiheutuuko tärinästä rakenteellisia vaurioita tuotteeseen. Tärinätestaus määritellään JEDEC:n standardissa niin sanotuksi destruktiiviseksi testiksi eli tuotteen ei tarvitse enää olla täysin uudenveroinen testauksen jälkeen, mutta sen tulee olla toimiva sille asetettujen spesifikaatioiden puitteissa. [7.]

2.1.2 Tärinä

Tärinä, jolle tuote testauksessa altistetaan, voi olla joko sinimuotoista, kompleksista, jolloin tärinä koostuu useammasta sinimuotoisesta aallonpituudesta, tai täysin satunnaista, jolloin tärinä ei koostu toistuvista samanlaisista jaksoista vaan muuttuu jatkuvasti. Erilaiset tärinän muodot altistavat komponentin rakenteet stressille, joka voi aiheuttaa rakenteiden väsymistä, hiushalkeamia tai jopa murtumia ja sitä kautta komponentin hajoamisen [7, s. 1].

2.2 Fabry-Pérot-interferometri

2.2.1 Historia

Ranskalaiset Alfred Pérot ja Charles Fabry keksivät Fabry-Pérot-interferometrin (FPI) toimintaperiaatteen 1800-luvun lopulla. He pohjasivat tutkimuksensa tästä 1800-luvulla teoreettista tutkimusta tehneen brittiläisen astronomin George Airyn työhön. Fabry ja Pérot kehittivät yksinkertaisen laitteen, joka sisälsi kaksi lasilevyä päällystettynä hopealla. Interferometrin potentiaalin he ymmärsivät pian, ja he kehittivätkin useita eri sovelluksia tälle toimintaperiaatteelle seuraavien vuosikymmenten aikana. Interferometrin käyttökohteita voivat olla esimerkiksi tarkat pituusmittaukset, astronomiset mittaukset tai

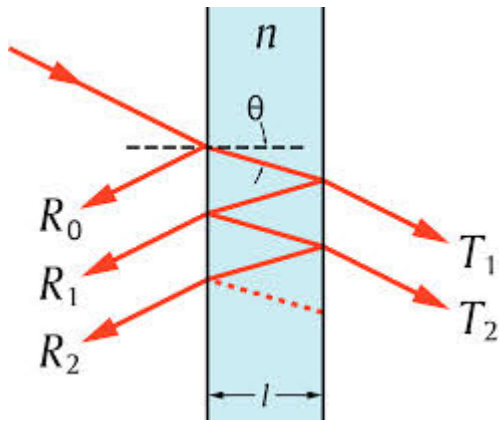
spektrometria [8, s. 1-2]. 1900-luvulla optiset mittaukset ovat kehittyneet yhä eteenpäin. Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana tapahtunut mikro-elektro-mekaanisten rakenteiden kehittyminen on mahdollistanut uudenlaisten todella pienikokoisten FPI-elementtien rakentamisen [9, s. 184]. Fotoniikan ja optiikan sovellukset, kuten optiset anturit, ovat viime aikoina kasvattaneet suosiotaan, ja niihin liittyvä tekniikka onkin kehittynyt kovaa vauhtia muun muassa optisten tietoliikenneyhteyksien suosion myötä.

2.2.2 Rakenne ja toiminta

FPI, jota saatetaan kutsua myös termillä ”etalon” (erityisesti kun heijastuspinnat ovat kiinteällä etäisyydellä toisistaan), muodostuu kahdesta yhdensuuntaisesta heijastavasta pinnasta, joiden sisällä valo kulkee edestakaisin useita kertoja. Yksinkertaisessa toteutuksessa FPI voi olla pelkkä lasilevy, jonka kummallakin pinnalla on heijastava pinnoite. Valo kulkee FPI:n sisällä joko ilmassa tai väliaineessa. Määräviä tekijöitä rakenteelle ovat pintojen yhdensuuntaisuus, pintojen etäisyys toisistaan sekä pintojen heijastavuus. Nämä tekijät vaikuttavat FPI:n ”tehokkuuteen” eli siihen, kuinka tarkasti elementti pystyy halutun aallonpituuden erottelemaan.

Kun valo kulkee edestakaisin heijastavien pintojen välissä, aaltojen superposition takia niihin vaikuttavat konstruktivinen ja destruktivinen interferenssi johtavat tilanteeseen, jossa tietty aallonpituus erottuu muista. Tämä aallonpituus määrittyy heijastavien pintojen etäisyyden perusteella. [10, s. 29] Jos FPI:n suodattamaa aallonpituutta halutaan muuttaa, tulee rakenteen mahdollistaa heijastavien pintojen etäisyyden muuttaminen. Toisaalta samalla täytyy säilyttää pintojen yhdensuuntaisuus, jotta herkkyys säilyy. Mikäli pinnat eivät ole täysin yhdensuuntaisia, erottuvan aallonpituuden kaista eli leveys kasvaa sekä samalla valon maksimi-intensiteetti laskee ja siirtyy. Sama vaikutus on myös heijastavien pintojen epätasaisuuksilla sekä pintojen heijastavuudella. MEMS-valmistustekniikalla toteutettujen FPI-elementtien heijastavuus on usein melko hyvä, joten niiden erottelukyky on myös erinomainen. [9.]

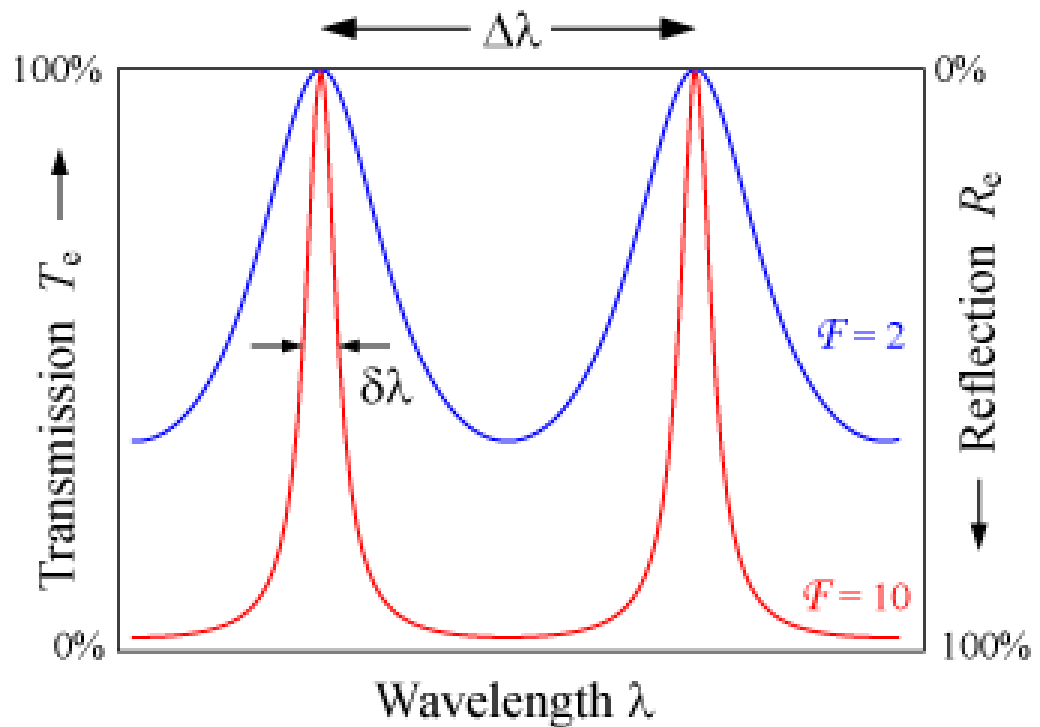
Alla olevassa kuvassa 1 näkyy valon kulku FPI-elementin sisällä.



Kuva 1. Valon kulku FPI-elementin läpi [11]

2.2.3 FPI:n tehokkuus ja puoliarvoveveys

FPI:n suorituskykyä voidaan helposti havainnollistaa kuvaajalla, jossa sen antaman signaalin intensiteetti on kuvattu aallonpituuden funktiona. Tästä saadaan selville, miten tarkasti elementti pystyy erottelemaan tietyn aallonpituuden. Tämä voidaan esittää myös puoliarvovevyytenä (FWHM, Full Width at Half Maximum) eli tässä tapauksessa aallonpituusvälinä, jolla läpäisyteho on enemmän kuin puolet maksimiarvosta. Puoliarvovevyyttä voi olla aluksi hankalaa hahmottaa, mutta sen näkeminen kuvassa helpottaa. Kuvassa 2, $\delta\lambda$ on puoliarvoveveys.



Kuva 2. Heijastavuus sekä signaalin voimakkuus aallonpituuden suhteen [11]

Elementin suorituskykyä kuvaava suure F , (englanniksi "finesse"), voidaan laskea seuraavalla tavalla, kun heijastavat pinnat ovat identtisiä:

$$F = \frac{4R}{(1-R)^2} \quad (1)$$

, jossa

R =heijastavan pinnan reflektanssi eli heijastavuus

Tästä voidaan todeta, että elementin suorituskykyyn vaikuttaa erityisen paljon elementin pintojen heijastavuus. Kuten aiemmin mainittiin, on MEMS-tyyppisillä elementeillä usein hyvä heijastavuus. Heijastavuutta voidaan kuitenkin vielä tarvittaessa parantaa erityyppisillä pinnoitteilla. [12 s. 96 - 99]

2.2.4 Detektorin FPI-elementin kalvon ominaisvärähtelytaajuuden laskenta

FPI-elementin kalvon suorituskykyä haluttiin tutkia jo ennen tärinätestauksen mittausten suorittamista. Näin päädyttiin laskemaan FPI-elementin kalvon ominaisvärähtelytaajuus, jotta voitiin varmistua sen toiminnasta korkean taajuuden tärinässä. Tähän laskentaan käytettiin apuna mekaanisen värähtelyn matemaattista mallintamista, jonka avulla voidaan tutkia nelikulmaisen tai pyöreän tasorakenteen tai kalvon värähtelyä, kun kyseessä on kalvo, joka on reunoiltaan kiinni sekä ylä- että alapuolelta [13]. Kalvolla voi olla loputon määrä erilaisia ominaisvärähtelyn moodeja, jotka aiheuttavat kalvon taipumisen eri kohdista. Ominaisvärähtelyn eri moodeja voidaan suuremmalla kalvolla havainnollistaa helposti sirottelemalla värisevälle kalvolle vaikkapa hienoa hiekkaa. Värähtelykuvion takia hiekka asettuu kalvon niin sanottuihin solmukohtiin, joissa kalvo pysyy paikallaan värähtelyn suunnassa.

Kalvon ominaisvärähtelyyn vaikuttavat sen koko, tiheys, Poissonin suhde sekä kimmokerroin. Mallinnettaessa kalvon värähtelyä tarvitaan ensin kalvon jäykkyyttä kuvaavan suureen D kaavaa:

$$D = \frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \mu^2)} \quad (2)$$

, jossa

- h = kalvon paksuus
- E = kimmokerroin
- μ = Poissonin suhde

Tämä sijoitetaan kaavaan, josta saadaan kalvon ominaisvärähtelyn taajuus:

$$f_n = \frac{\alpha_1}{2\pi a^2} * \left[\frac{gD}{hw} \right]^{1/2} \quad (3)$$

, jossa

- α = vakio, ominaisvärähtelyn moodin mukaan

- a = kalvon säde
- g = gravitaatiovakio
- h = kalvon paksuus
- w = kalvomateriaalin tiheys

Kun yhtälöön sijoitetaan ensimmäisen ominaisvärähtelyn moodin mukainen vakio $\alpha = 10,21$ voidaan kaava vielä muuntaa muotoon:

$$f_n = 9.22 * \frac{h}{a^2} * \left[\frac{E}{w(1-\mu^2)} \right]^{1/2} \quad (4)$$

Sijoitetaan kaavaan arvot:

- $h = 625 \text{ nm}$
- $a = 1,25 \text{ mm}$
- $E = 350 \text{ GPa}$
- $w = 3990 \text{ kg/m}^3$
- $\mu = 0,165$

Näin tulokseksi saadaan ominaisvärähtelyn ensimmäisen moodin taajuudeksi kyseessä olevalle elementille $\sim 35\,020 \text{ Hz}$. Koska järjestyksessä korkeampien ominaisvärähtelyn moodien taajuudet olisivat arvoltaan ainoastaan tätä suurempia, ne voidaan jättää huomiotta tässä tapauksessa. Näin voidaan tehdä, koska testauksessa käytettävistä taajuuksista korkein on 25 kHz , joka on vähemmän kuin juuri laskettu, kyseisen elementin kalvon ominaisvärähtelyn ensimmäisen moodin taajuus. Siten ainakaan kalvon resonanssitaajuuksien ei pitäisi aiheuttaa ongelmia detektoria testatessa.

Lisähuomiona voidaan todeta, että esimerkiksi Jomehzadeh ym. ovat analysoineet mikrometriä kokoluokan tasojen värähtelyjä, sillä näiden mekaanisissa analyyseissä vaaditaan usein korjauksia normaalisti käytettäviin matemaattisiin malleihin [14]. Mikrotasolla rakenteet saattavat käyttäytyä eri tavalla kuin makrotasolla. Artikkelissa todetaan, että mikrotasolla kalvon paksuuden kasvaessa kasvavat myös kalvon jäykkyys sekä sitä kautta sen ominaisvärähtelyn taajuudet. Toisin sanoen riippuen myös kalvon materiaalin ominaisuuksista, etenkin kalvon ollessa ohut verrattuna laskennassa käytettyyn paksuus-pituus-skaalaukseen makrotason kalvojen laskennassa käytetyt kaavat pitävät paikkansa riittävässä määrin. Tästä voidaan päätellä, että myös tässä luvussa esitetty laskenta on riittävästi perusteltu, ja määritetyn ominaisvärähtelyn taajuuden tulisi olla ainakin sen minimiarvo. [14]

2.2.5 Fabry-Pérot-interferometri spektrometrissä

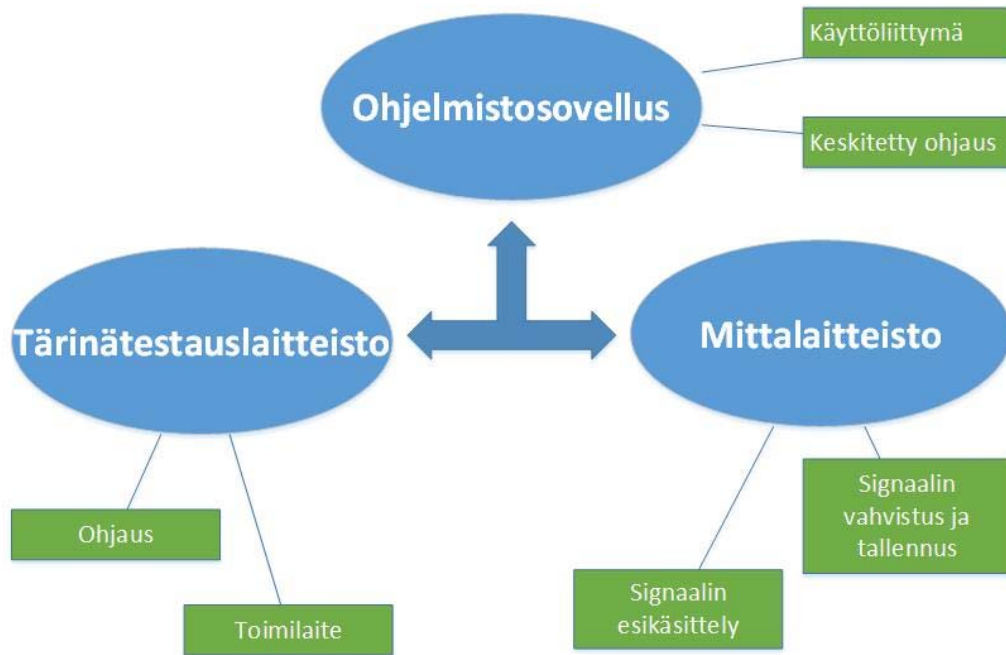
Jotta interferometriä voidaan käyttää spektrometrissä suodattimena, on sen läpäisemän valon aallonpituuden kaistaa voitava säätää. Säätö toteutetaan siten, että interferometrin peilien etäisyyttä voidaan muuttaa, jolloin myös sen erottelema aallonpituus muuttuu. Säädön tulee toimia siten, että heijastuspinnat pysyvät yhdensuuntaisina toisiinsa nähden, jotta interferometrin ominaisuudet säilyvät muutoin. Säätö toteutetaan piistä valmistetuissa interferometreissä johtamalla heijastuspintojen välille tasajännite (tyypillisesti 0–30 V), jonka avulla saadaan toinen kalvoista taipumaan ja siten heijastuspintojen välimatka muuttuu [9 s. 187]. Välimatkaa voidaan muuttaa jopa noin 30 % itse heijastuspintojen normaalista välimatkasta [9 s. 185].

3 Testaus- ja mittauslaitteisto sekä ohjelmistot

Jotta mittalaitteistolla saadaan luotettavia ja toistettavia tuloksia, vaaditaan siltä tarkkuutta. Yrityksessä oli jo kehitelty mittalaitteisto detektorin signaalin mittaukseen, ja tässä työssä tarkoituksena oli sovittaa tämä käytettäväksi myös tärinätestauksessa. Tehävä vaati melko paljon työtä, sillä mittauselektronikka tuli suunnitella uudelleen soveltuvaksi tärinätestauksessa käytettävään metalliseen kehykseen eli metalliseen (alumiini) kiinnitysalustaan, joka voidaan ruuvata kiinni tärinätestauslaitteeseen. Kehyksen pieni koko rajoitti mittauselektronikan asettelua ja vaikeutti piirilevyn suunnittelua.

3.1 Laitteiston toiminta

Järjestelmä, jolla mittaukset suoritetaan, koostuu oikeastaan kahdesta eri laitteistosta, joita käytetään samanaikaisesti. Ensimmäiseksi tarvitaan laitteisto, joka tuottaa tarvittavan liikkeen eli tärinän. Toinen järjestelmä taas suorittaa tarvittavat mittaukset sekä signaalin käsittelyn. Tätä kokonaisuutta ohjataan tietokoneella käyttäen hyväksi erilaisia ohjelmia. Tietokone toimii siis linkkinä näiden kahden laitteiston välillä sekä käyttöliittymänä. Vaihtoehtoisesti mittauksia voitaisiin suorittaa siten, että kaikkia laitteita ohjattaisiin manuaalisesti, mutta ottaen huomioon, että käytössä on jopa yli kymmenen yksittäistä laitetta, jotka sisältävät useita säädettäviä parametreja, kuluisi tähän liian paljon aikaa.

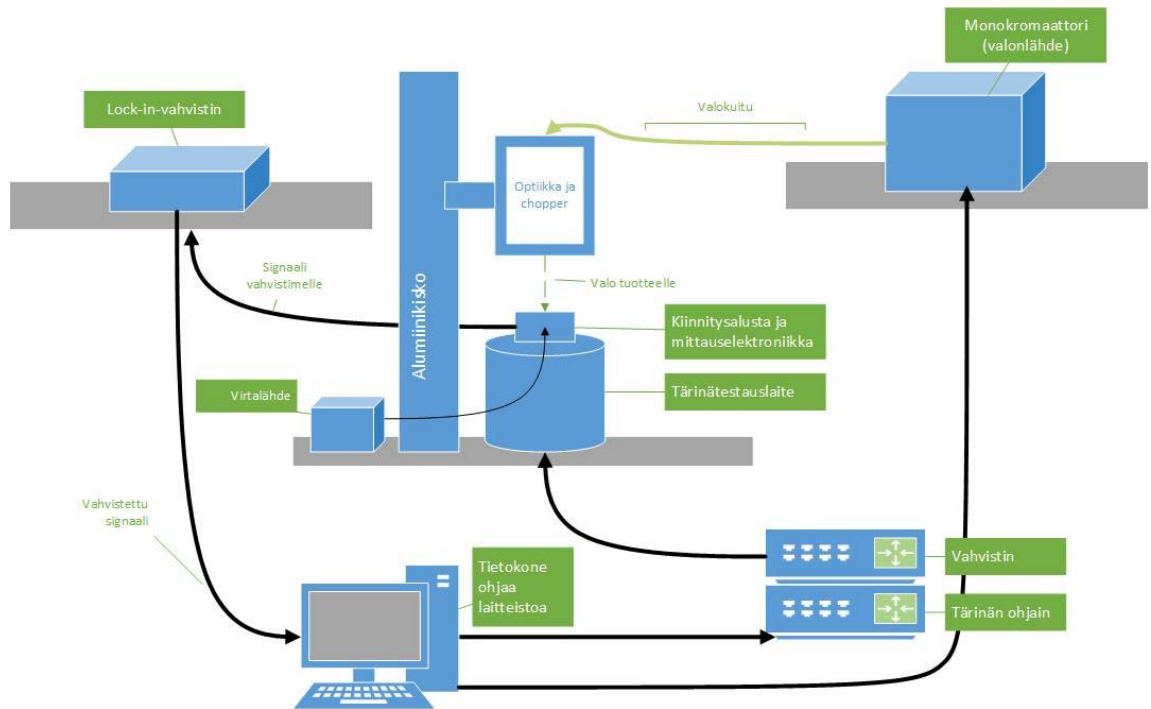


Kuva 3. Laitteiston toimintaperiaate

3.2 Asetelma

Tärinän tuottava toimilaite, jota mittauksissa käytetään tuottamaan korkean taajuuden värähtelyä, sijaitsee laboratoriossa kivipöydällä. Kivipöytä luo vakaan alustan toimilaitteelle, jolloin tulokset ovat luotettavampia, eivätkä niin alttiita ympäristön häiriötekijöille. Tärinätestauslaitteen päälle asetetaan alumiininen kiinnitysalusta, johon itse mitattava tuote kiinnitetään. Kiinnitysalustaan tulee kiinni myös osa mittauselektroniikasta, jotta mitattava signaali saadaan ulos esivahvistettuna ja hyvälaatuisena. Ensisijaisesti mitaukset suoritetaan pystysuunnassa, jolloin valo tulee tuotteelle ylhäältä. Tätä varten optiikka eli kollimatori, valoa pilkkova ”chopper”, linssi ja iiris asennetaan vertikaaliin kiskoon, jolloin ne ovat suoraan MOEMS-elementin yläpuolella. Kisko kiinnitetään alumiiniseen reikälevyyn, joka tulee myös kivipöydälle tärinätestauslaitteen viereen.

Tilaa vievät laitteet, joiden sijainti aivan tärinätestauslaitteen vieressä ei ole välttämätöntä, asetetaan viereiselle pöydälle. Näihin kuuluvat monokromaattori, lock-in-vahvistin ja virtalähteet. Lisäksi mittauksia varten tarvitaan toimilaitteen ohjaukseen käytettävät vahvistimet, referenssianturi ja tietokone. Nämä on sijoitettu laitekaappiin kivipöydän vasemmalla puolella.



Kuva 4. Laitteiston kokonaiskuva

3.3 Mittauselektronikka

3.3.1 Lähtökohdat

Mitattava anturi vaatii toimiakseen mittauselektronikan, joka sisältää tarvittavat vahvistimet ja suodattimet signaalille sekä suodatetut käyttöjännitteet syötöt. Aiemmin muissa mittauksissa käytetty mittauselektronikka oli kuitenkin kooltaan liian suuri sovitettavaksi tärinätestauksessa käytettävään kiinnitysalustaan, joten mittauselektronikan piirilevy tuli suunnitella uudestaan. Kiinnitysalustan muodosta johtuen voidaan siihen kiinnittää ainoastaan 2 x 3,1 cm:n kokoinen piirilevy, joten päädyttiin ratkaisuun tehdä mittauselektronikasta kaksiosainen piirilevy. Näin tärkeimmät vahvistimet sijaitsivat aivan sensorin vieressä, ja loput mittauselektronikasta voitiin sijoittaa hiukan kauemmaksi tärinätestauslaitteesta ja yhdistää johtimilla kehyksessä kiinni olevaan osuuteen.

3.3.2 PADS ja piirilevyt

PADS-ohjelmistolla piirrettiin piirilevystä malli, jonka avulla piirilevyvalmistaja voi valmistaa kyseistä piirilevyä. Mentor Graphicsin valmistama ohjelma on kaupallisista ohjelmista suosittu vaihtoehto ja koska se oli valmiiksi käytössä yrityksessä, se valikoitui myös tässä

työssä käytettäväksi piirilevyn piirtämiseen. Piirilevyn suunnitteluohjelmistoja on eri valmistajilla, sekä myös ilmaisia open source -vaihtoehtoja löytyy. Kuitenkin kaikki nämä tuottavat samat piirilevyn valmistuksessa käytettävät CAM-tiedostot. PADS-ohjelmistolla luodaan nämä tiedostot, jotka on tapana pakata yhdeksi tiedostoksi, joka toimitetaan piirilevyvalmistajalle piirilevyä tilatessa.

Piirilevyn valmistamiseksi tarvitaan seuraavia tietoja:

- Piirilevyn mitat
- piirilevyn kuparikerrokset (muoto ja paksuus)
- komponenttien sijoittelu
- silkkipainatus
- juotteenestopinnoitteen malli
- piirilevyn paksuus
- piirilevyn materiaali
- porattavien reikien sijainnit ja läpiviennit.

Nämä tiedot sisältyvät CAM-tiedostoihin tai määritellään erillisessä dokumentissa tilauksen yhteydessä. CAM-tiedostoista käytetään myös nimitystä gerber-tiedostot. Tarvittavien tiedostojen määrä riippuu piirilevyn kerroksien määrästä ja muista ominaisuuksista. Jokainen kuparikerros vaatii omat tiedostonsa, joissa kuvataan kuparilla täytettävät alueet. Lisäksi tarvitaan tiedostot porattavien reikien sijainneista ("Drill Drawing"), silkkipainatusten kuvaus (tarvittaessa levyn ylä- ja alapuolesta) ja sekä kuvaus juotteenestopinnoitteesta ("Solder Mask", myös levyn ylä- ja alapinnasta).

3.3.3 Työn kulku

Ohjelmana piirilevyn suunnittelussa käytettiin PADS-ohjelmistoa. Pohjana mittauselektronikalle käytettiin aiemmin käytössä ollutta piirilevyä, jonka piirikaaviota voitiin käyttää

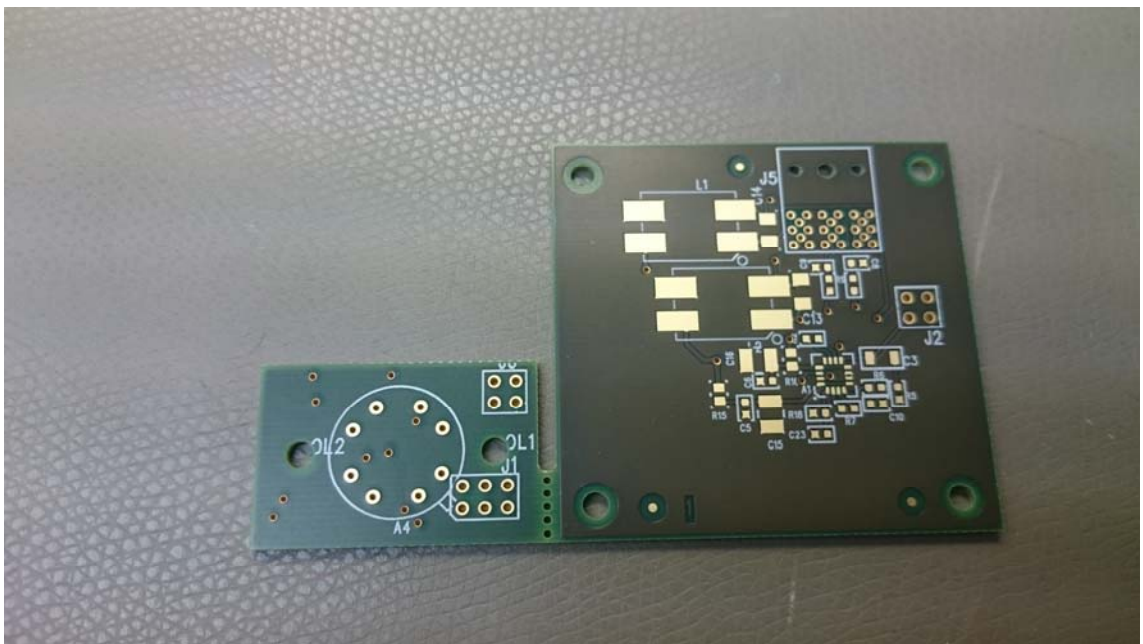
hyödyksi joiltakin osin. Muutoksia piirikaavioon tuli kuitenkin tehdä, jotta saatiin karsittua tilaa vieviä ylimääräisiä liittimiä, lisättyä jako kahden piirilevyosuuden välille sekä säästettyä tilaa tekemällä muutoksia piirilevyn vastuksissa. Kun piirikaavio oli valmis, alkoi itse piirilevyn suunnittelu. Ensiksi tuli mitoittaa piirilevyn pienempi osuus oikean kokoiseksi, jotta se saadaan kiinnitettyä mittauksissa käytettävään kehykseen. Piirilevyn suuremmalla osuudella ei ollut kokoa rajoittavia tekijöitä, joten siltä osin komponenttien asettelu oli helpompaa. Piirilevyn osuudet suunniteltiin siten, että ne ovat kiinni toisissaan noin puolen sentin matkalta, jolloin vältytään kahden erillisen piirilevyn tilausprosessilta ja piirilevyä piirtäessä piirilevyn hahmottaminen on helpompaa. Nämä osat voidaan sitten piirilevyjen valmistuksen jälkeen irrottaa toisistaan helposti.

Piirilevy tehtiin monikerroksiseksi, jotta kaikki johtimet saatiin mahdutettua pienelle alueelle. Kerroksia piirilevyssä oli kuusi. Alun perin suunnitelmana oli yhdistää piirilevyn kaksi erillistä osaa niin sanotulla taipuisalla piirillä, jossa piirilevyn kerroksien välinen kuparikerros jatkuu piirilevyn osasta toiseen taipuisan polymeerimuovin ympäröimänä. Tästä luovuttiin, kun huomattiin, että monimutkaisemmasta valmistustavasta johtuen piirilevyn toimitusaika olisi kasvanut liian pitkäksi, sillä mittauksien tekoon oli käytettävissä rajoitettu aika. Tästä johtuen kuitenkin piirilevyyn jäi nimenomaan tarvittava parillinen määrä kerroksia. Tämä muutos johti myös siihen, että piirilevyn suunnittelusta osa (komponenttien sijoittelu) jouduttiin tekemään käytännössä alusta lähtien uudestaan, mikä vei ylimääräistä aikaa.

3.3.4 Signaalin laadun varmistaminen piirilevyn suunnittelussa

Komponenttien sijoittelussa tuli ottaa huomioon tilarajoitteiden lisäksi myös signaalin laadun säilyttäminen. Tämä näkyi erityisesti ratkaisussa, jossa ensimmäinen signaalin vahvistin sijoitettiin tuotteen kotelon liitäntäpinnien keskelle (alempana kuvassa 5 kotelo on komponentti A4 ja vahvistin tulee vastakkaiselle puolelle piirilevyä), jolloin etäisyys, jonka signaali kulkee vahvistamattomana, jäi mahdollisimman pieneksi. Myös muutama tarvittava vastus sijoitettiin aivan liitäntäpinnien viereen, jotta pieni tila saatiin käytettyä maksimaalisesti. PADS-ohjelman asetuksiin voitiin asettaa vaadittavat rajoitukset, siten että komponentteja ei voi sijoittaa liian lähelle toisiaan vahingossa, jotta komponenttien sijoittelua oli helpompaa työstää.

Komponenttien sijoittelun lisäksi myös piirilevyn vetoja tehdessä otettiin huomioon signaalin laatu. Signaalien laatua ajatellen maataso haluttiin lähes kaikkiin piirilevyn kerrokseen niin sanottuna ”kaatona”. Vetoja tehdessä tulikin siis pitää mielessä, missä piirilevyn kerroksessa mikäkin veto kulkee, ja huomioida, että vetojen väliin jäisi mieluiten aina vähintään yksi maadoitettu kerros. Tämän lisäksi vetojen leveydet tuli pitää riittävän leveinä etenkin käyttöjännitteiden johtimissa, jotta häiriöitä ei aiheudu. Myös mahdolliset kapasitiiviset kytkeytymiset, jotka voisivat aiheuttaa häiriöitä signaaleissa, huomioitiin piirilevyä suunniteltaessa. Vedot pyrittiin tekemään siten, että ne ylittivät toisensa 90° kulmassa jos mahdollista, jolloin kapasitiivista kytkeytymistä aiheuttava pinta-ala jää mahdollisimman pieneksi. Vetojen kulkiessa toistensa ylitse pyrittiin niiden välille jättämään ainakin yksi kuparikerros, joka oli kytketty maahan. Lisäksi kehukseen kiinnitettävän piirilevyn ylimmästä kerroksesta, joka tulee vasten kiinnitysalustan pintaa, jätettiin maatason täyttö tekemättä, jotta tämä ei aiheuttaisi kapasitiivista kytkeytymistä näiden välille.



Kuva 5. Valmis FR4-piirilevy ennen kalustusta

3.4 Tärinätestauslaite, -ohjain sekä vahvistin

Jotta saadaan aikaan tärinää tuotteiden testaamiseksi, tarvitaan laitteisto, johon yleensä kuuluu kolme laitetta. Tärinän tuottava toimilaitte tuottaa tärinän sähkömagneettisen voiman avulla. Vahvistin tuottaa tarvittavan sähkövirran ja jännitteen toimilaitetta varten. Lisäksi ohjain taas valvoo liikettä referenssianturin avulla ja laskee vahvistimelle tarvittavat arvot, jotta tärinän voimakkuus saadaan pidettyä halutulla tasolla. Näin saadaan muodostettua laitteisto, jolla saadaan aikaan tärinää testausta varten.

Ohjain mittaa toimilaitteen tuottamaa tärinää käyttäen referenssianturia ja näin laskee, mikä on tarvittava jännite ja virta, joka vahvistimen tulisi toimilaitteelle syöttää. Referenssianturina tässä laitteistossa käytetään Kistlerin valmistamaa, korkean impedanssin pietsosähköistä kiihtyvyyssanturia.

Ohjaimena käytössä on Vibration Research VR9500, jota voidaan käyttää tuottamaan sinimuotoista, kompleksista tai iskutyypistä värähtelyä. Taajuusalue, jolla laitetta voidaan käyttää, ylettyy 50 kHz:iin asti. Laite sisältää itsessään datan prosessointiin tarvittavan tehon, joten tietokonetta tarvitaan laitteiston ohjauksessa ainoastaan datan säilytykseen sekä käyttöliittymäksi. [15.]

Tärinän tuottavana laitteena käytössä oli TIRA S540-C (kuvassa 6), joka kykenee tuottamaan sinimuotoista värähtelyä taajuusalueella 40 Hz – 25 kHz. Tämän lisäksi laite tuottaa maksimissaan 400 N voiman ja värähtelyn maksimi liike huipusta huippuun on 4 mm. [16.]



Kuva 6. TIRA S540-C tärinätestauslaite [16]

3.5 Optiset komponentit

Mittauslaitteistoon kuuluu oleellisena osana erilaisia optisia komponentteja, jotka siirtävät valon lähteestä MOEMS-elementille oikeassa muodossa. Valon tulee olla aallonpituudeltaan säädeltyä sekä kulkea kohtisuorassa MOEMS-elementille.

Monokromaattorilta tuleva valo kulkee ensiksi kollimatorin läpi, jonka tehtävänä on kohdistaa valon "säteet" siten, että ne kulkevat kaikki valokuidussa yhdensuuntaisesti. Tämän jälkeen valo kulkee valokuitua pitkin seuraavalle kollimatorille, josta se ohjataan kohtisuoraan elementille. Vielä ennen tätä on apertuuri, joka säätelee kulkevan valon määrää, sekä linssi, joka kohdistaa valon. Linssin osalta voidaan olettaa, että värähtelyn edestakainen liike on niin pientä, ettei se vaikuta kohdistukseen. Apertuuria käytettäessä valon suunnan ja kohdistuksen vaikutus pienenee hiukan, joten se parantaa laitteiston tarkkuutta [12 s.98].

3.6 Lock-In-vahvistin

Lock-in-vahvistimet ovat yleisesti käytössä optisissa mittauksissa, herkkien signaalien erottelun voimakkaastakin kohinasta. Nämä vahvistimet perustuvat signaalin muuttamiseen aaltomuotoisiksi niin sanotulla "chopperilla", joka siis pilkkoo valon halutulla taajuudella, jolloin detektorin signaali saadaan myös aaltomuotoisena samalla taajuudella. Ensimmäiseksi analogisen lock-in-vahvistimen sisältämä taajuussuodatin suodattaa vain halutun taajuusalueen. Chopperin käyttämä taajuus syötetään sille referenssinä, jolloin tämä taajuus ohjaa kytkintä, jolla saadaan eroteltua aaltomuodosta ylimääräinen kohina pois. Viimeiseksi signaali tasataan vastuksesta ja kondensaattorista koostuvalla suodattimella vielä tasavirtamuotoon ja näin saadaan signaali ilman kohinaa. [17.]

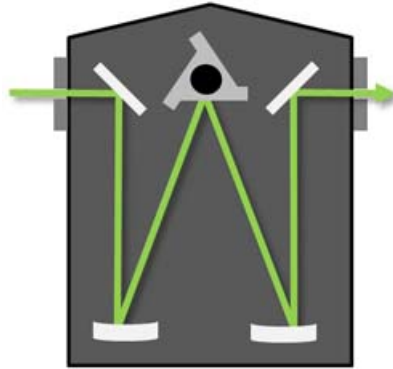
Tässä insinööriyössä käytettiin Stanford Research Systemsin SRS-850 digitaalista Lock-In-vahvistinta, jossa analogisen vahvistimen toiminnot on korvattu digitaalisella piirillä. Tämä piiri suorittaa laskemalla useita toimintoja, jotka analogisessa Lock-In-vahvistimessa suoritetaan sähköisillä komponenteilla. Kyseinen vahvistin toimii 1 mHz – 102,4 kHz taajuusalueella ja sen herkkyys on 2 nV – 1 V. Laite voidaan liittää tietokoneeseen, jolla on mahdollista ohjata kaikkia sen toimintoja, GPIB-portin avulla. [18.]

3.7 Monokromaattori

Monokromaattorin toiminta perustuu valon diffraktioon. Sen sisällä valo kohtaa ensimmäiseksi peilin, joka toimii kollimatorina eli suuntaa valon säteet yhdensuuntaisiksi. Tämän jälkeen valo kulkee heijastushilaan, josta valo hajaantuu spektriksi kuten prismassa. Lopulta valo kulkee vielä yhden kollimatorin läpi, jotta spektri saadaan jaettavaan muotoon, ennen kuin se poistuu viimeisen liikuteltavan hilan läpi, joka asetetaan halutun aallonpituuden kohdalle, ja näin valosta suodattuu haluttu aallonpituusalue. Viimeisen hilan kokoa muuttamalla voidaan säädellä aallonpituuskaistan leveyttä. Kuvassa 6 voidaan nähdä valon kulku monokromaattorin sisällä, keskellä näkyy kolmionmallinen heijastushila. [19; 20.]

Monokromaattoria käytetään mittauslaitteistossa, jotta MOEMS-elementille menevän valon aallonpituutta voidaan säätää. Valon aallonpituutta halutaan säätää, jotta voidaan varmistua, että MOEMS-elementti toimii oikein kullakin aallonpituudella ja jotta signaalin maksimiarvo kullakin aallonpituudella saadaan mitattua. Monokromaattorin tulee olla riittävän tarkka, eli sen tulee pystyä tuottamaan riittävän kapea kaista valoa oikealla aallonpituudella. Lisäksi tulee ottaa huomioon sen tuottama hajavallo, joka tarkoittaa esimerkiksi linssien epäpuhtauksien aiheuttaman valon siroamista. Tämä aiheuttaa sen, että monokromaattorin tuottaman valon spektri sisältää pienen määrän kaikkia valon aallonpituuksia [19]. Tämä hajavallo on kuitenkin alle tuhannesosia valon maksimi-intensiteetistä, joten tässä tapauksessa se ei riitä aiheuttamaan haittaa mittauksille.

Itse mittauslaitteistossa käytetty monokromaattori on mallia Bentham TMS300. Mallia voidaan ohjata tietokoneella USB-liitännän kautta, ja se kykenee erilaisilla heijastushiloilla (kuvassa 7 keskellä näkyvä kolmio), tuottamaan valoa aallonpituusalueella 200 nm–50 µm. Sisään ja ulos kulkevaa valoa voidaan mallissa säätää motorisoiduilla hiloilla, joiden säätöalue leveyssuunnassa on 10 µm–10 mm. [19]



Kuva 7. TMS300-monokromaattorin konfiguraatio (symmetrinen Czerny-Turner) [19]

3.8 Testauksessa käytettävät ohjelmistot

Jotta testaus saadaan suoritettua ja mittaustulokset saadaan tallennettua halutussa muodossa, tulee käytettävien ohjelmistojen olla selvillä ja niiden yhteensopivuus tulee testata. Tässä työssä käytettiin LabView'lla aiemmin tehtyä ohjelmaa, johon oli kirjoitettu soveltuvat ajurit kaikille mittalaitteille. Tähän ohjelmaan lisättiin vielä värinätestauslaitteiston ohjaus, jolloin kaikki laitteet saatiin kommunikoidaan keskenään. Itse LabView-ohjelman tekeminen ei kuulunut tähän insinööriyöhön, vaan sen suoritti yrityksen ohjelmistokehitysosasto. Testauksessa käytettävien sekvenssitiedostojen valmistelu taas kuului tähän työhön. Värinätestauslaite vaatii taustalle myös oman VibrationView-ohjelman. Itse testausta varten luodaan niin sanottuja sekvenssitiedostoja, joihin määritellään tarvittavat parametrit laitteiden ohjauksiin, sekä mittausjärjestys.

3.8.1 LabView

LabView on National Instrumentsin graafiseen käyttöliittymään perustuva ohjelmointialusta, joka on erityisen käytännöllinen juuri mittausteknisissä sovelluksissa sekä erilaisissa laitteiden ohjaussovelluksissa. Ohjelmisto on hyvin laajalle levinnyt, ja se onkin ohjelmistona erittäin kypsä sekä helppokäyttöinen. LabView'lla pystytään tehokkaasti käsittelemään suuriakin määriä mittausdataa helposti. LabView on myös kehitetty siten, että se on melko helppo liittää lähes kaikkiin erilaisiin mittalaitteisiin. Juuri mittaustekniisiin sovelluksiin LabView'n graafinen käyttöliittymä sopii erityisen hyvin, sillä ohjelmassa kulkevien signaalien hahmottaminen on graafisesti esitettynä helpompaa. Lisäksi myös

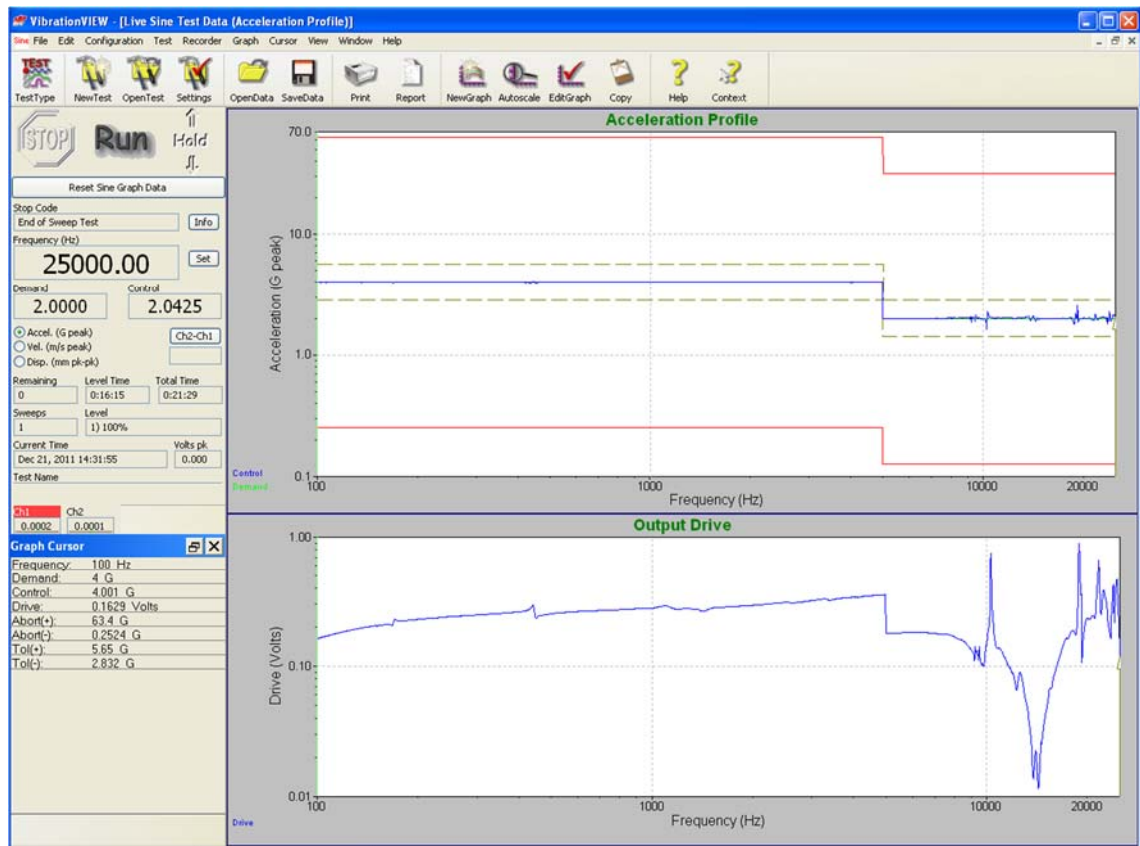
samanaikaisesti suoritettavat ohjelman osat näkyvät selkeästi. Ohjelmisto sisältää myös tarvittavia työkaluja, joilla koodin toimivuutta voi testata. [21.]

LabView soveltuu mainiosti myös tähän työhön, koska mittauksissa käytetään samaan aikaan useita eri laitteita ja samalla myös ohjataan testausta tietokoneella. Kyseistä mittalaitteistoa varten LabViewta käyttäen oli yrityksessä tehty valmiiksi käyttöliittymä, joka sisältää tarvittavat ajurit laitteiden ohjaukseen. Lisäksi testausta helpottamaan on luotu mahdollisuus luoda sekvenssejä, joista LabView tulkitsee komennot, joilla ohjataan laitteistoa. Sekvenssit ovat ikään kuin yksinkertaistettua koodia.

Itse testauksen suorittamisen vaadittavat sekvenssit ovat tekstipohjaisia tiedostoja, joissa määritellään vaadittavat mittausajat ja muut määrytykset, tärinätestauslaitteella ajettavien profiilien tiedostonimet, monokromaattorin asetukset sekä muut tarvittavat asetukset laitteille, sekä järjestys, jossa toimet suoritetaan. Sekvenssit helpottavat mitausten tekemistä, kun mittauksia suoritetaan useaan kertaan ja esimerkiksi eri päivinä, jolloin asetukset saadaan helposti säilytettyä ja niitä saadaan keskitetysti muutettua nopeasti. LabView-ohjelma tulkitsee sekvenssin komentoja ja toteuttaa ne loogisesti järjestyksessä rivi kerrallaan.

3.8.2 VibrationView

VibrationView on ohjelma, joka toimii käyttöliittymänä VR9500-tärinätestauslaitteiston ohjaimelle. Ohjelman kautta määritetään tärinäprofiili, joka tärinätestauslaitteella halutaan ajaa. Toisin sanoen ohjelmaan syötetään halutut aloitus- ja lopetusparametrit värähtelylle, vaikkapa siis pyyhkäisyn aloitustaajuus 100 Hz ja lopetustaajuus 5 kHz, sekä tärinän voimakkuus 2 g. Lisäksi ohjelma sisältää muita asetuksia esimerkiksi erilaisia referenssiantureita koskien.



Kuva 8. VibrationView -ohjelman näyttö, näkyvissä kiihtyvyysohjelma sekä ohjaussignaalin voimakkuus voltteina

3.8.3 Testisekvenssit

Testisekvenssejä luotiin mittauksia varten aluksi yksi, jonka sisältö oli seuraava:

- laitteiden (monokromaattori, lock-in-vahvistin) ja tulosdatan tallennuksen initialisointi-komennot
- ajettavan VibrationView-profiilin määrittely ja käynnistys
- mittauksen suoritus
 - monokromaattorin aallonpituuden asetus
 - käyttöjännitteiden asettaminen detektorille
 - tulosten tallennus tekstitiedostoon

- laitteiden palautus alkutilaan mittausten päätyttyä.

3.8.4 Laitteiden käyttö yhtenä mittaussysteeminä

Jotta useampi laite saadaan toimimaan yhtenäisenä järjestelmänä, tulee niitä ohjata keskitetysti. LabView -ohjelmalla saadaan tietokone kommunikoimaan eri laitteiden kanssa, kunhan ensiksi on huolehdittu, että tietokoneeseen saadaan liitettyä kaikki järjestelmän laitteet. Suurin osa tarvittavista mittalaitteista käytti yleisesti käytössä olevaa USB-väylää. Laitteita oli kuitenkin niin paljon, että käytössä olleen tietokoneen USB-portit loppuivat kesken. Tätä varten tietokoneeseen tarvittiin vielä USB-Hub, joka jakaa yhden USB-portin useamman laitteen kesken. Tämä saattaa aiheuttaa yhteysongelmia tietokoneen ja laitteiden välillä.

Lisäksi tietokoneeseen tuli asentaa GPIB-kortti, joka liitettiin tietokoneen PCI-väylään. GPIB-sarjaväylää käytetään yleisesti useissa mittauselektronikan laitteissa. Väylä on kehitetty jo 1960-luvulla, mutta se on säilyttänyt yhä asemansa erityisesti mittalaitteiden kommunikaatiossa. GPIB-väylä mahdollistaa kommunikoinnin useammalle laitteelle samaa väylää hyväksi käyttäen. Väylän liikennettä ohjaamaan tarvitaan Master-laite eli yleisimmin tietokone.

4 Mittaukset

Mitattavan tuotteen toiminnasta halutaan saada mahdollisimman tarkkaa tietoa tärinän aikana, joten sitä testataan tärinän kanssa useammalla eri tavalla. Tämän työn mittauksissa on erona tavalliseen korkean taajuuden tärinän pyyhkäisyyn se, että tuotteen ulostulon signaalia halutaan mitata myös sille johdettavan valon aallonpituuden suhteen. Tämän vuoksi mittauksia joudutaan suorittamaan kahdella tavalla. Pelkän tärinän taajuutta ja voimakkuutta muuttavan pyyhkäisyä suorittamisen lisäksi suoritetaan mittauksia tärinän ollessa vakiotajuudella, jolloin voidaan muuttaa valon aallonpituutta ja näin saada kuvaaja, jossa detektorin signaalia mitataan valon aallonpituuden suhteen.

Koska mittauksia ei ole aikaisemmin tehty kyseisellä mittauslaitteistolla, tulee ennen varsinaisia mittauksia suorittaa erilaisia mittauksia, joilla varmistetaan mittalaitteiston luotettavuus ja näin myös tulosten oikeellisuus. Tähän kuuluu muun muassa signaalin analysointia oskilloskoopilla, sekä sitä ennen uuden mittauselektroniikan toiminnan varmistus. Lisäksi johtuen mittausten luonteesta voi olla tarpeen tehdä muitakin mittauksia erilaisilla laitekonfiguraatioilla, mikäli mittauksissa esiintyy ongelmia, joita suunnittelussa ei ole voitu tai osattu huomioida. Näillä pyritään paikantamaan ongelmat ja selvittämään niiden syyt.

4.1 Signaalin luotettavuuden varmistus

Kun mittauksia varten suunniteltu uusi mittauselektroniikka saatiin käyttöön, sitä testattiin ensimmäiseksi laboratoriossa, jossa MOEMS-elementtiä on aiemmin tutkittu, ilman tärinän tuottamiseen tarvittavia laitteita. Mittauselektroniikka kytkettiin kiinni tuotteeseen, jonka perussignaalia tutkittiin manuaalisesti pelkän valkoisen valon avulla, ja todettiin signaalin reagoivan kuten toisellakin mittauselektroniikalla. Signaalia tutkittiin LabView-käyttöliittymän avulla, josta saatiin tarkasteltua lock-in-vahvistimelta saatavaa vastetta reaaliaikaisesti.

Signaalin muoto voidaan myös varmistaa oskilloskoopilla ennen kuin aloitetaan tekemään varsinaisia mittauksia tärinätestauslaitteiston kanssa. Näin voidaan todeta signaalin laatu ja mahdolliset häiriöt voidaan huomioida ja poistaa. Tässä työssä signaalin muotoa voidaan verrata aiemmin ilman tärinää tehdyissä mittauksissa saatuihin mittaustuloksiin, jotka on mitattu eri mittauselektroniikalla. Signaaliin voivat vaikuttaa piirilevyn

ominaisuudet tai vaikkapa mitta-/tärinätestauslaitteiston maadoitusongelmat. Kaikki mittalaitteet sekä tarvittaessa tärinätestauslaitteiston osat tulisi maadoittaa huolellisesti.

4.2 Mittausten suorittaminen

Valitettavasti laiteongelmista, laitteiden saatavuudesta sekä piirilevyn tilausprosessin viivästymisestä johtuen aikataulun puitteissa ei mittauksia detektorille päästy suorittamaan. Mittausten valmistelut saatiin kuitenkin, lukuun ottamatta mittaussekvenssien viimeistelyä, suoritettua loppuun. Myös piirilevyn toimivuus todettiin laboratoriossa, eikä ongelmia sen osalta löytynyt.

5 Lopuksi

Tavoitteet, jotka työlle asetettiin, saavutettiin suurelta osin. Mittauselektroniikan suunnittelu onnistui, ja mittauselektroniikka toimi odotetusti kalustuksen jälkeen testeissä, jotka sille päästiin suorittamaan. Myös muilta osin mittauslaitteisto saatiin valmisteltua sekä tarvittavat ohjelmistot konfiguroitua käyttöä varten kuntoon. Ohjelmiston osalta mittaussekvenssien viimeistely jäi tekemättä, sillä se olisi ollut helpointa tehdä koko laitteiston ollessa kasassa, juuri ennen mittauksen suorittamista. Tällöin voitaisiin vielä päättää viimeisetkin parametrit. Mittauksia ei päästy suorittamaan, mutta niiden tulokset eivät olleetkaan tämän insinööriyön keskeinen sisältö. Mittalaitteiston luotettavuutta pyrittiin arvioimaan muilla keinoin.

Mittauselektroniikan suunnittelu sekä piirilevyn tilausprosessi veivät enemmän aikaa kuin oli suunniteltu. Toisaalta tämä olisi ehkä voinut olla odotettavissa, sillä piirilevyn tilaamisessa toimitaan aina yhteistyössä ulkopuolisen tahon kanssa, mikä hidastaa tiedonkulkua ja siten työn edistymistä. Piirilevyn suunnittelu oli tietysti myös minulle uusi asia, jonka opetteluun käytin aikaa. Piirilevyn suunnitteluun sekä koko tilausprosessiin tutustuinkin työn aikana melko perusteellisesti.

Mittalaitteisto vaatii toimiakseen useita laitteita sekä ohjelmistoja, jolloin kokonaisuuden hahmottaminen sekä hallitseminen käy vaikeaksi. Siten työn aikana keskitytään usein esimerkiksi yksittäisten laitteiden toimintaan, ja kokonaisuuden testaaminen jääkin työn loppuvaiheeseen. Kokonaisuuden hahmottamisessa auttavat selkeät kuvat, jotka havainnollistavat laitteiden välisiä yhteyksiä.

Jatkoa ajatellen suunnitellulla laitteistolla toivottavasti päästään tulevaisuudessa mittamaan MOEMS-elementin ominaisuuksia. Työn pohjalta voidaan ainakin todeta, että mittauksiin suunniteltu laitteisto on valmiina ja toimiva.

Lähteet

- 1 Verkkodokumentti. Murata Electronics Oy. <<http://www.muratamems.fi>>. Luettu 4.5.2015.
- 2 Lukkari, Jukka. 2005. VTI Technologies ui vastavirtaan. Verkkodokumentti. <<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/ict/2005-04-14/VTI-Technologies-ui-vas-tavirtaan-3271375.html>> Päivitetty 14.4.2005. Luettu 20.2.2016.
- 3 Verkkodokumentti. EQT. <<https://www.egt.se/Portfolio-Companies/Divestments/VTI-Technologies/>> Luettu 20.2.2016.
- 4 Walsh, P. 1995. Vibration design and testing of vehicle electronic systems. Grantham, UK: Vehicle Security Systems - Environmental Design and Testing
- 5 Verkkodokumentti. Tira GMBH. <<http://www.tira-gmbh.de/schwing/english/inhalt.htm>> Luettu 18.6.2015.
- 6 Product Vibration Qualification and R&D. Verkkodokumentti. Data Physics Corporation. <<http://www.dataphysics.com/applications/vibration-testing-and-shaker-testing/product-vibration-qualification-and-r-and-d.html>> Luettu 1.2.2016
- 7 JESD22-B103B. 2006. Standardi. Vibration, Variable Frequency. Arlington, VA: JEDEC Solid State Technology Association.
- 8 Vaughan, J M. 1989. The Fabry-Perot Interferometer: History, Theory, Practice and Applications. New York: Taylor and Francis Group, LLC.
- 9 Bloomberg, M., Kattelus, H. & Miranto, A. 2010. Sensors and Actuators A 162, s. 184-188
- 10 Kasap, S. O. 2001. Optoelectronics and Photonics. NJ: Prentice Hall.
- 11 Verkkodokumentti. <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Fabry-Pérot_interferometer> Luettu 10.2.2016.
- 12 Peatross, J. & Ware, M. 2014. Physics of Light and Optics (2014) Brigham Young University.
- 13 Di Giovanni, Mario. 1982. Flat and corrugated diaphragm design handbook. New York: Marcel Dekker Inc.
- 14 Jomehzadeh, E., Noori, H. R. & Saidi, A. R. 2011. The size-dependent vibration analysis of micro-plates based on a modified couple stress theory. Physica E 43 s. 877–883.

- 15 VR9500 Revolution Vibration Controller. Verkkodokumentti. Vibration Research. <<http://www.vibrationresearch.com/VR9500.html>> Luettu 1.2.2016.
- 16 Vibration Test Technology. Verkkodokumentti. Tira GMBH. <<http://www.tira-gmbh.com/en/vibration-test-system/vibration-test-systems/>> Luettu 20.2.2016.
- 17 225 Lock-in-Amplifier. Esite. Bentham Instruments Ltd. UK
- 18 SR850 DSP Lock-In Amplifier. Esite. Stanford Research Systems. Sunnyvale, CA.
- 19 TMS300 Monochromator. Verkkodokumentti. Bentham Instruments Ltd. <<http://www.bentham.co.uk/tms300.htm>> Luettu 15.10.2015
- 20 Monochromators. Verkkodokumentti. Bentham Instruments Ltd. <<http://www.bentham.co.uk/monochromators.htm>> Luettu 15.10.2015
- 21 NI LabVIEW. Verkkodokumentti. National Instruments. <<http://finland.ni.com/labview>> Luettu 21.2.2016