

Tutkintotyö

Markus Viitanen

## Pintaliitoskelojen magneettikentän mittausjärjestelmän kehittäminen

Tämä tutkintotyö on jätetty tarkastettavaksi insinööritutkintoa varten Tampereella 4. huhtikuuta 2007.

Työn ohjaaja

Ari Rantala

Työn teettäjä

Nokia Technology Platforms-Product Technologies-Hardware Components-  
Common Hardware Components. Valvojana DI Matti Uusimäki

Tampere 2007

<b>Tekijä:</b>	Markus Viitanen
<b>Työn nimi:</b>	Pintaliitoskelojen mittausjärjestelmän kehittäminen
<b>Päivämäärä:</b>	04.04.2007
<b>Sivumäärä:</b>	65 sivua ja 16 liitesivua
<b>Hakusanat:</b>	Pintaliitos, askelmoottori, LabVIEW, magneettikenttä, kehittäminen
<b>Koulutusohjelma:</b>	Tietotekniikka
<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b>	Tietoliikennetekniikka
<b>Työn valvoja:</b>	Lehtori Ari Rantala
<p>Tämä tutkintotyö, Pintaliitoskelojen magneettikentän mittausjärjestelmän kehittäminen, käsittelee kyseisen mittausjärjestelmän suunnittelua, kehittämistä ja toteuttamista. Tutkintotyöhön kuuluu edellä mainittujen osien lisäksi myös muutaman mittauksen tekeminen mittausjärjestelmällä sekä saatujen mittaustulosten käsittely ja analysointi.</p> <p>Tutkintotyö on tehty sen vuoksi, että voitaisiin vertailla eri kelavalmistajien valmistamien pintaliitoskelojen säteilemän magneettikentän kentän muotoa. Nämä mittaustulokset kertovat kuinka tasaisesti kela säteilee eri suuntiin. Tulosten perusteella on mahdollista vertailla eri kelatoimittajien komponenttien säteilykentän eroja.</p> <p>Lopullinen mittausjärjestelmä koostuu kuudesta erillisestä instrumentista, jotka on sulautettu yhdeksi toimivaksi järjestelmäksi. Nämä instrumentit ovat mittausjärjestelmän ”liikkuvat osat”. Lopullisen järjestelmän instrumentteihin kuuluvat: LabVIEW 8.0 asennettuna kannettavaan tietokoneeseen, erillinen säädettävä jännitelähde, funktiogeneraattori, spektrianalysointilaite, mittalaitteessa oleva ohjelmoitava askelmoottori sekä digitaalinen oskilloskooppi.</p> <p>LabVIEW:llä ohjataan spektrianalysointilaite, mittalaitteessa olevaa askelmoottoria, mittausprosessia sekä tulostetaan mittauspöytäkirja mittauksesta saaduista tuloksista Microsoft Excel-muodossa.</p> <p>Tämän tutkintotyön lopputuloksena Nokia Technology Platforms saa valmiin mittausjärjestelmän, jonka avulla he voivat suorittaa mittauksia ja vertailla eri valmistajien pintaliitoskeloja.</p> <p>Mittausjärjestelmällä saatujen tulosten perusteella on mahdollista nähdä, säteilevätkö jotkut komponentit vähemmän kuin toiset. Säteily voi vaikuttaa toisten samassa laitteessa olevien komponenttien käyttäytymiseen. Käyttämällä entistä vähemmän säteileviä keloja, on jossain määrin mahdollista parantaa Työn tilanne yrityksen valmistamien laitteiden toimivuutta.</p> <p>Tässä mittausjärjestelmässä ovat käytössä vain ne kaikkein välttämättömimmät osat ja ominaisuudet, jotta mittaus saadaan toteutettua ja komponentteja päästään vertailemaan. Järjestelmään on jälkeen päin mahdollista tehdä lähes loputon määrä päivityksiä, jotka voivat parantaa, nopeuttaa tai tarkentaa saatuja mittaustuloksia.</p>	

<b>Author:</b>	Markus Viitanen
<b>Name of the thesis:</b>	Development of Surface Mount Coil Magnetic Field Measurement System
<b>Date:</b>	4 <sup>th</sup> April 2007
<b>Number of pages:</b>	65 pages and 16 appendixes
<b>Keywords:</b>	Surface Mount, Stepper Motor, LabVIEW, Magnetic Field, Development
<b>Degree programme:</b>	Computer Science
<b>Specialisation:</b>	Telecommunications engineering
<b>Thesis Supervisor:</b>	Lecturer Ari Rantala
<p>This engineering thesis, Development of Coil Magnetic Field Measurement System, is focused to the design, the development and the implementation of the measurement system. This thesis includes also the measurements made with the measurement system and the result handling for the measurement results.</p> <p>This thesis is made to compare the radiation pattern of coils that have been made by different coil manufacturers. These results indicate how evenly the coils are radiating in different directions. In some level, it is also possible to compare the coils made by different manufacturers.</p> <p>Final measurement system is based to the six different instruments which are empedded to the one fully working system. These instruments are the "moving parts" of the measurement system. The instruments in the final measurement system includes the LabVIEW 8.0 installed to the laptop, separate PSU, function generator, spectrum analyzer, the stepper motor and the digital phosphor oscilloscope.</p> <p>With LabVIEW is controlled the spectrum analyzer, the stepper motor, the measurement process. LabVIEW also prints the report from the measurement in the Microsoft Excel format.</p> <p>In result for this engineering thesis, the Nokia Technology Platforms gets fully working measurement system which with they can perform comparison between the manufacturers of the surface mounted coils.</p> <p>Based to the measurement results made with the coil magnetic field measurement system, it is possible to see if some components radiate less than other components. This radiation can affect to the behavior of other components that have been mounted to the same equipment with surface mounted coils. In some cases, using less radiating coils it is possible to increase the functionality of the equipments made by Nokia.</p> <p>In this version of the measurement system is mainly used those functions that were necessary to get the measurement system working and it was possible to do comparison between the measurement results. Later on, it is possible to update the measurement system with the updates that can improve, quicken, ease the measurement process or define the measurement result.</p>	

## **ALKUSANAT**

Tämä tutkintotyö, Pintaliitoskelojen magneettikentän mittausjärjestelmän kehittäminen, on tehty Nokia Technology Platforms-yksikölle, tarkemmin sanottuna sen Hardware Components-Common Hardware Components -osastolle. Yksikkö, jossa työskentelin, toimii Tampereen Hervannassa.

Kiitokset Matti Uusimäelle Nokia Technology Platformsissa, mahdollisuudesta toteuttaa tämän tutkintotyö. Haluan kiittää myös Mika Ylitaloa ja Markku Sireniä Nokia TP:ltä Oulusta, sekä Mikko M. Lampista Nokia ES:ltä Tampereelta ja Pertti Salmista Nokia TP:ltä Salosta. Kiitokset myös Jaakko Viitaselle työn oikoluvusta. Kiitän myös muita työssä auttaneita.

Lopuksi haluan kiittää erityisesti perhettäni, sillä ilman heidän apuaan ja kärsivällisyyttään tutkintotyöni ei olisi valmistunut määräaikaan mennessä.

Tämä tutkintotyö ei ole salainen.

Tampereella 4. huhtikuuta 2007

Markus Viitanen

Vihnuskallionkatu 1 B 5

37150 Nokia

## LYHENNELUETTELO

.NET: Microsoftin kehittämä ohjelmistokomponenttikirjasto

CHWC: Common Hardware Components. Yksi työn tilanteen yrityksen osastoista

CPH: Component Per Hour. Komponenttia tunnissa

DLL: Dynamic Link Library. Jaettu kirjasto, joka on tietotekniikassa useiden käyttöjärjestelmien tapa jakaa ohjelmakoodia ja dataa useiden ohjelmien kesken

FS: Full Step. Täysiaskel

GPIO: General Purpose Interface Bus. Maailmanlaajuisesti käytössä oleva mittalaitteistojen yhdistämisyväylä

HP: Hewlett Packard. Yhtiö, joka on valmistanut mittausjärjestelmässä käytetyn funktiogeneraattorin

HS: Half Step. Puoliaskel

HW: Hardware. Laitteisto

LAN: Local Area Network. Lähiverkko

LV: LabVIEW. National Instrumentsin valmistama graafinen ohjelmointiohjelmisto

MS: Microstep. Mikroaskel

PCB: Printed Circuit Board. Piirilevy

PCI: Peripheral Component Interconnect. Tietokoneväylä, jonka avulla liitetään lisälaitteita instrumentteihin, kuten tietokoneeseen.

PLC: Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikkaohjain

PSU: Power Supply Unit. Säädetty jännitelähde

PXI: PCI eXtensions for Instruments. PCI-väyläinen instrumenttiliitäntä

RF: Radio Frequency. Radiotaajuus

SM: Step Mode. Askelmoodi

SM: Surface mount. Pintaliitos asennus

SMA: Sub Miniature versio A-liitin

SMC: Surface mounted Component. Pintaliitoskomponentti

SN: Serial Number. Sarjanumero

SPR: Steps Per Round. Askelta per kierros

SW: Software. Ohjelmisto, sovellus

TCP: Transmission Control Protocol. Tietoliikenneprotokolla, jolla luodaan tietokoneiden välille yhteyksiä

THA: Through-hole Assembly. Läpireikäasennus

TP: Technology Platforms. Nokia Oyj:n teknologiayksikkö

UI: User Interface. Käyttöliittymä

USB: Universal Serial Bus. Muun muassa ATK-laitteissa käytössä oleva tiedonsiirtoväylä

VME: Virtual Machine Environment bus. Tietokoneväylä standardi

VXI: VME eXtensions for Instruments. VXI-väylä on avoin standardoitu rajapinta instrumenteille, joka perustuu VME-väylään

## SYMBOLILUETTELO

$A$  : Ampeeri. Virran yksikkö

$\frac{di}{dt}$  : Virran derivaatta ajan suhteen

$L$  : Induktanssi Henryinä

$mH$  : Millihenry.  $1 \cdot 10^{-3} H$

$\mu H$  : Mikrohenry.  $1 \cdot 10^{-6} H$

$nH$  : Nanohenry.  $1 \cdot 10^{-9} H$

$N_1$  : Muuntajan ensiokäämin kierroslukumäärä. Puhdas luku

$N_2$  : Muuntajan toisiokäämin kierroslukumäärä. Puhdas luku

$R_L$  : Muuntajan kuormaresistanssi ohmeina

$u(t)$  : Hetkellinen jännitekelan yli

$U_i$  : Muuntajan sisäänmenojännite voltteina

$U_o$  : Muuntajan ulostulojännite voltteina

$V_S$  : Volttisekunti

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	i
ABSTRACT.....	ii
ALKUSANAT .....	iii
LYHENNELUETTELO .....	iv
SYMBOLILUETTELO .....	vi
SISÄLLYSLUETTELO .....	vii
1. JOHDANTO .....	1
2. PINTALIITOSKELA.....	3
2.1 Yleistä keloista.....	3
2.1.1 Pintaliitoskomponentit.....	4
2.1.2 Pintaliitoskela.....	5
2.2 Mitattavan komponentin piirilevy .....	8
3. MITTAUSJÄRJESTELMÄ .....	10
3.1 Askelmoottori.....	10
3.1.1 Yleistä.....	10
3.1.2 Askelmoottorin rakenne .....	10
3.1.3 Askelmoottoreiden tyypit.....	11
3.1.3.1 Muuttuvasähkökentäinen askelmoottori .....	11
3.1.3.2 Kestomagneettinen askelmoottori .....	12
3.1.3.3 Hybridiaskelmoottori.....	12
3.1.4 Moottorien käänmistavat.....	13
3.1.4.1 Unifilaarinen moottori .....	13
3.1.4.2 Bifilaarinen moottori .....	13
3.1.5 Askelmoodit.....	14
3.1.5.1 Täysaskel (Full Step, FS).....	14
3.1.5.2 Puoliaskel (Half Step, HS).....	14
3.1.5.3 Mikroaskel (Microstep, MS).....	15
3.1.6 Askelmoottorin valintaprosessi .....	15
3.1.7 Askelmoottorin toiminta järjestelmässä.....	15
3.1.7.1 Askelmoottorin liittäminen mittausjärjestelmään.....	15
3.2 Jännitelähde .....	17
3.3 Funktiogeneraattori.....	17
3.4 Spektrianalysaattori .....	18
3.5 Oskilloskooppi .....	19
3.6 Laptop .....	19
4. LabVIEW.....	20
4.1 Yleistä LabVIEW:stä .....	20
4.2 LabVIEW mittausjärjestelmässä .....	21
4.2.1 Spektrianalysaattorin ohjaaminen.....	22
4.2.2 Askelmoottorin ohjaaminen.....	22
4.2.3 Pop-Up-kyselyikkuna .....	23
4.2.4 Mittauksen raportointi .....	23
4.2.5 Valmiin mittaussovelluksen etupaneeli .....	24
5. MITTAUSJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN .....	26
5.1 MITTAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU.....	26
5.1.1 Askelmoottorin valintaprosessi .....	27
5.1.2 Askelmoottorin toiminta järjestelmässä.....	28
5.2 MITTAUSJÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN .....	30
6. MITTAUSMENETELMÄT .....	31
6.1 Mittauksen esivalmistelut.....	31
6.2 Mittauksen suorittaminen.....	35
7. MITTAUSTULOKSET .....	38
7.1 Mittauspöytäkirjan sisältö ja tuloksien viimeistely.....	38



7.2	Mittaukset (Valmistaja 1-3) .....	40
7.3	Komponentin ja mittauksen modifioiminen .....	46
7.3.1	Komponentin vaurioittaminen .....	46
7.3.2	Komponentin väärä sijoittaminen padille .....	51
7.3.3	Mittauskorkeuden ja - etäisyyden vaikutus .....	53
8.	PÄÄTELMÄT .....	61
	LÄHDELUETTELO .....	64
	LIITELUETTELO .....	66

## 1. JOHDANTO

Tämä tutkintotyö, Pintaliitoskelojen magneettikentän mittausjärjestelmän kehittäminen koostuu kyseisen järjestelmän suunnittelusta, rakentamisesta ja muutaman mittauksen tekemisestä käyttämällä kyseistä mittausjärjestelmää. Mittausjärjestelmän suunnittelussa ja toteuttamisessa on lähdetty lähes tyhjästä, sillä ennen työn aloittamista työn tilanneella yrityksellä ei ollut vastaavaa mittausjärjestelmää käytössään. Tämä tarkoittaa sitä, että yritys antoi lähes vapaat kädet toteuttaa mittausjärjestelmä, kunhan se täytti yrityksen sille antamat vaatimukset.

Vaatimuksia, jotka järjestelmän piti täyttää ei yrityksellä ollut kuin muutama. Näitä vaatimuksia olivat se, että järjestelmän piti olla täysin automaattinen ja sitä piti osata käyttää ilman aikaisempaa teknistä asiantuntemusta. Mittalaitteen tuli myös kyetä mittaamaan annettu komponentti joka puolelta vaakatasossa, vähintään kahdeksasta mittauspisteestä. Järjestelmää tuli pystyä ohjaamaan ja käyttämään tietokoneen välityksellä ja sen piti hyödyntää mahdollisimman hyvin jo olemassa olevia mittausinstrumentteja.

Työssä mitataan pintaliitoskeloja, joita työn tilannut matkapuhelimia valmistava yritys käyttää. Pintaliitoskelat ovat täysin tavallisia keloja, mutta niiden halkaisija on tyypillisesti noin 5mm luokkaa. Pintaliitoskomponentteihin liittyvää teoria käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.

Tutkintotyö koostuu mittaussovelluksen lisäksi kuudesta ulkoisesta instrumentista, mutta työn tärkein ulkoinen instrumentti on askelmoottori, jota ohjataan mittaussovelluksen avulla. Askelmoottoriin ja muihin työssä käytettyihin instrumentteihin liittyvä teoriaosa on selitettynä kappaleessa 3, mutta kyseisessä kappaleessa on kiinnitetty eniten huomiota askelmoottorien yleiseen toimintaan, sekä sen käyttöön mittausjärjestelmässä.

Tutkintotyössä käytetty mittaussovellus on ohjelmoitu käyttämällä graafista LabVIEW-ohjelmointiympäristöä. LabVIEW on esitelty tarkemmin kappaleessa 4. LV koostuu neljästä varsinaisesta ohjelmalohkosta, spektrianalysointin ja askelmoottorin ohjaamisesta, Pop-Up-kyselyikkunasta sekä mittauksen raportoinnin suorittavasta lohkoista. Näiden lohkojen toteutus on selitetty tarkemmin kappaleessa 4.

Kappale 5 käsitellään mittausjärjestelmän kehittäminen, suunnittelu sekä sen rakentaminen.

Mittausjärjestelmällä tehtävien mittausmenetelmien esivalmistelut sekä mittauksen suorittaminen on selitetty kappaleessa 6.

Kappaleessa 7 käsitellään mittaustuloksia. Kappaleessa selitetään LabVIEWin tekemän mittauspöytäkirjan sisältö sekä vertaillaan kolmen valmistajan (Valmistaja 1, Valmistaja 2 ja Valmistaja 3) samoilla ominaisarvoilla valmistamien  $10\ \mu H$  kelojen magneettikenttiä. Kappaleessa 7 tutkitaan vaikuttaako komponentin tai mittauksen modifioiminen mitenkään mittaustuloksiin, vaurioittamalla komponenttia tahallisesti sekä sijoittamalla se väärinpäin padille. Samalla tutkitaan vaikuttaako mittausetäisyyden tai korkeuden muuttaminen mittaustuloksiin. Näillä tutkimuksilla ja tulosten analysoinnilla varmistetaan, että mittausjärjestelmä toimii tarkoituksenmukaisesti.

Lopuksi kappaleessa 8 pohditaan työn onnistumista eri vaiheissa sekä mietitään mistä mahdolliset virheet mittauksissa ja koko työssä ovat johtuneet. Samassa kappaleessa vertaillaan työn onnistumista tavoitteisiin nähden sekä mietitään tulosten käyttökelpoisuutta ja työn käyttömahdollisuuksia. Kappaleen 8 lopuksi pohditaan työlle sopivia jatkotutkimuskohteita. Samalla mietitään, miten mittausjärjestelmää voitaisiin kehittää tulevaisuudessa, sekä mietitään miten nämä kehitysideat voitaisiin toteuttaa.

## 2. PINTALIITOSKELA

Tämä kappale käsittelee lyhyesti keloihin liittyvää teoriaa, pintaliitostekniikkaa ja pintaliitoskelojen perusteoriaa. Työn teoriaosion lähtökohtana on kuitenkin se, että lukijalla on jonkinlainen käsitys sähkötekniikan ja elektroniikan perusteista sekä niiden peruskomponenteista. Tämän olettamuksen vuoksi teoriaosa ei ole kovinkaan syvälle luotaava.

### 2.1 Yleistä keloista

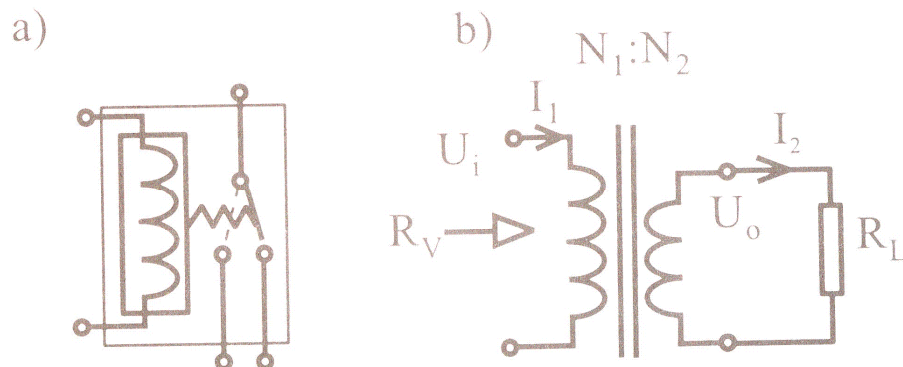
Kela on yksi passiivisista elektroniikan peruskomponenteista, ja siihen liittyvä virran ja jännitteen välinen perusyhtälö on esitetty kaavassa 1.

$$u(t) = L \frac{di}{dt} , \quad (1)$$

jossa  $u(t)$  on hetkellinen jännite kelan yli ja  $L$  kelan induktanssi. Induktanssin yksikkö henry määritellään kaavan (2) mukaan. Yleisimmin induktanssia käsitellään pienemmissä yksiköissä kuten nH ja mH.

$$L = \frac{Vs}{A} = H \text{ (Henry)} , \quad (2)$$

Kela synnyttää siis ylitseen jännitteen, joka on verrannollinen virran muutokseen. Kelassa kulkeva virta synnyttää magneettikentän, johon varastoituu energiaa. Tämän syntyneen magneettikentän muotoa ja voimakkuutta tutkitaan tämän insinööriyön avulla. Kun virta katkaistaan, kela toimii kaavan (1) mukaisesti ja synnyttää ylitseen jännitteen, joka pyrkii pitämään virran katkaisua edeltävässä arvossa. Kelan luonne on siis vastustaa nopeita virran muutoksia. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää hyväksi suodattimissa. Tasavirran kela päästä tasavirtaa lävitseen kokonaan. Keloja käytetään myös muuntajissa (kuva 1, kohta b.) ja erilaisissa sähkö-magneettisissa sovelluksissa, kuten releissä (kuva 1, kohta a) ja hakkurimuuntajissa. /1, s.20; 7/



Kuva 1: a) Rele eli ohjautuva kytkin ja b) muuntaja

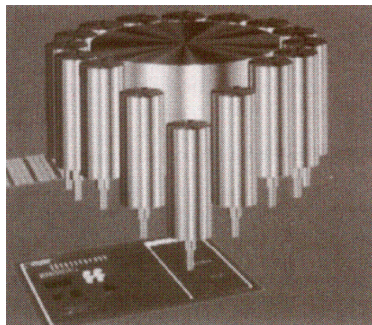
Hakkurimuuntajissa virta ajetaan ylös, jonka seurauksena magneettikenttä täyttyy. Kun hakkurimuuntajan syöttövirta katkaistaan, purkaa kela virtaa magneettivuostaan kytkentään vielä syöttövirran katkaisunkin jälkeen.

Kelan sisällä voi olla voimakkaasti magnetoituva ferromagneettinen sydän kuten ferriittinen sydän. Kun kelaa käytetään matalilla taajuuksilla, sydänaine voi olla esimerkiksi rautaa. Taajuuden noustessa kela alkaa vastustaa virran kulkua. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä suurempi taajuus, sitä vähemmän virtaa menee kelan läpi. Jos sydänaine jätetään kokonaan pois, kelaa kutsutaan ilmasydämiseksi kelaksi. /3/

Yleisin käämilangan materiaali on kuparilanka, jossa käämilankojen välinen eriste on tehty lakkaamalla, mutta käämilankana voidaan käyttää myös rauta- tai hopealankaa. Paras Q-arvo saavutetaan hopealangalla, mutta sitä käyttämällä kelojen hinnat noususivat hyvin korkeiksi. Sen vuoksi kuparilanka usein vain hopeoidaan. Hopeointi auttaa, koska virranähtöilmion vuoksi suurilla taajuuksilla virta kulkee vain langan pinnassa. Kelan induktanssi määräytyy käämilankojen kierrosten ja sydänaineen mukaan. /3/

### 2.1.1 Pintaliitoskomponentit

Pintaliitoskomponentit eroavat niin sanotuista tavallisista komponenteista kooltaan sekä siltä osin, että niitä ei juoteta piirilevyn levyn läpi (Through-Hole-Assembly, THA), vaan piirilevyn pintaan (Surface-mount, SM). Tätä juotostekniikkaa käytetään kaikissa pintaliitoskomponenteissa. Tavallisimmat pintaliitoskomponentit, kuten kelat, vastukset ja kondensaattorit ovat kooltaan noin 3-10mm. Kokonsa vuoksi pintaliitoskomponentteja ei sarjatuotannossa juoteta käsin, vaan niiden juottamiseen käytetään ladontarobotteja. Nämä ladontarobotit kykenevät jopa kymmenien tuhansien komponenttien latomiseen tunnissa. Esimerkiksi tyypillinen ”piippu”-mallinen ladontakone (kuva 2) kykenee latomaan 0402-sarjan komponentteja 20 000-25 000 kappaletta tunnissa (Component Per Hour, CPH) tai 0201-sarjan komponentteja ladottaessa 25 000:sta 40 000:een CPH:hon. Ladonnan aikana ladontarobotti kaappaa jokaisen komponentin, tarkistaa sen ja asettaa sen oikeaan kohtaan piirilevyä. /2/



Kuva 2: Tyypillinen ”piippu”-mallinen ladontakone /2/

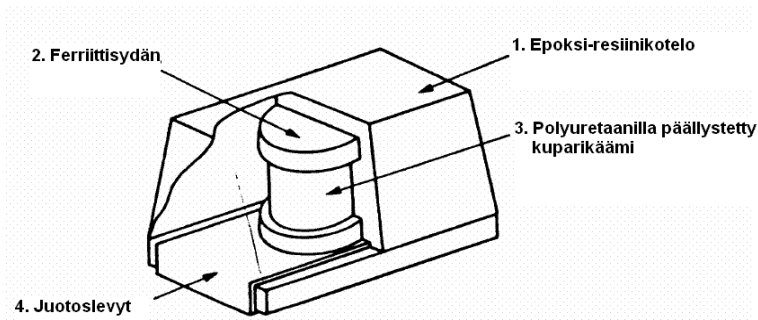
Pintaliitoskomponentin (Surface-mount Component, SMC) pakkaukseen on sisällytetty kaikki komponentin osat, myös komponentin jalat. SMC:n päätarkoituksena on se, että kaikki yhteydet SMC:n ja piirilevyn (Printed Circuit Board, PCB) välillä tehdään SMC:n levyliitoksen ja PCB:n pinnassa olevan padin kautta. /3/

Tällä tekniikalla on sekä etunsa että haittansa. Etuihin luettakoon se, että koska PCB:ssä ei ole sitä lävistäviä reikiä, ei johdotustilaa PCB:n välikerroksissa tai pohjapuolella ole tuhlattu komponenttien jalkojen tarvitsemaan tilaan. Sen vuoksi PCB:hen riittää usein vähemmän kerroksia, kuin jos käytettäisiin tavallisia läpäreiät tarvitsevia komponentteja. Toinen suurempi etu on se tosiasia, että pintaliitoskomponentit ovat aina huomattavasti pienempiä kuin niitä vastaavat läpäreikäkomponentit. Tämä kokoero mahdollistaa usean pintaliitoskomponentin käytön samalla alueella, johon mahtuisi vain yksi läpäreiän tarvitsema komponentti./3/

Suurin haittapuoli pintaliitoskomponenteilla on se tosiasia, että niissä ei ole jalkoja, joihin mittalaitteiden mittapäillä voisi helposti tarttua ja se, että pintaliitoskomponenttien jalkoihin ei pääse käsiksi komponentin alapuolelta. Tätä ominaisuutta voidaan tarvita tuotetestauksessa. Tämän puutteen vuoksi tarvitaan erillinen mittauspadi PCB:n alapuolelle. Joskus pitää myös kehittää erillinen monimutkainen ja näin ollen kallis adapteri, jotta mittaustiimi saadaan suoritettua monimutkaisten komponenttien vaikeistakin paikoista, kuten prosessorien sisään- ja ulosmenoista. Pintaliitoskomponenttien pienellä koolla on haittansakin. On vaikeampi poistaa lämpöä pintaliitoskomponenttien koteloista kuin niitä vastaavista läpäreiän tarvitsemista komponenteista. Joissakin tapauksissa prosessorit tuottavat niin paljon lämpöä, että jos ne rakennetaan pintaliitoskoteloon, ne eivät voi suorittaa kunnolla niille tarkoitettuja toimintoja./3/

### 2.1.2 Pintaliitoskela

Pintaliitoskela on pääasiallisesti samalla tavalla toteutettu kuin tavallinenkin kela ja se toimii täysin samalla tavalla. Pintaliitoskela eroaa tavallisesta läpäreiän tarvitsevasta kelasta siten, että se on huomattavasti pienempi (yleisesti halkaisijaltaan noin 3-6mm), eikä sillä ole jalkoja kuten läpäreiän tarvitsevalla kelalla on. Pintaliitoskelan rakenne on hyvin yksinkertainen. Tämä rakenne on esitetty alla olevassa läpileikkauksessa. Yleisimmin pintaliitoskelan kotelo on tehty muovinjohdannaisista, kuten epoksiresiinistä (kuva 3, kohta 1). Pintaliitoskelan sydän (kuva 3, kohta 2) on yleisimmin tehty ferriitistä, jolloin yksittäisen komponentin hinta ei nouse liian korkeaksi. Tämä on hyvä, sillä pintaliitoskomponentteja käytetään yleensä satoja tuhansia kappaleita kerrallaan. Käämitys on tehty kuparista ja se on päällystetty polyuretaanilla (kuva 3, kohta 3). Komponentin pohjassa on kaksi juotoslevyä, joiden avulla komponentti kiinnitetään piirilevyyn (kuva 3, kohta 4).



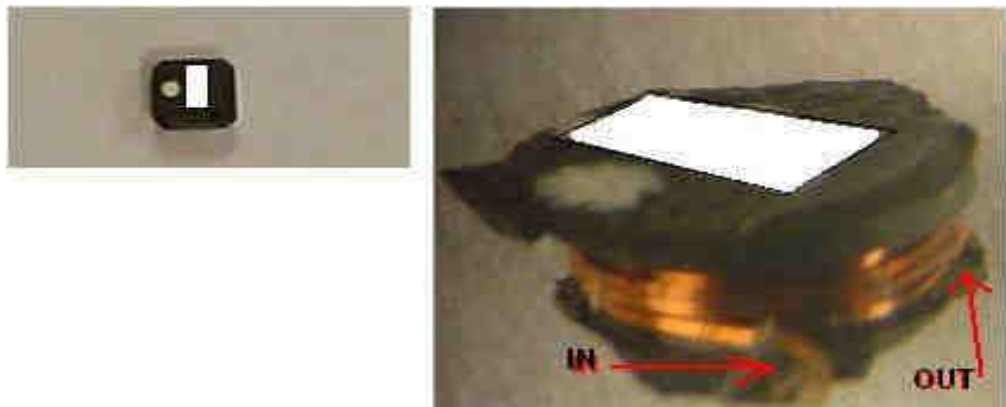
Kuva 3: Pintaliitoskelan läpileikkauskuva

Alla olevassa kuvassa 4 on esitetty kolmen eri valmistajan valmistamat pintaliitoskelat. Kaikilla kolmella kelalla on samat ominaisarvot. Keskimmäisen kuvan viereen sijoitetusta viivoittimesta voidaan nähdä hieman kelojen mittasuhteita. Siitä nähdään, että kelojen kokoluokka on noin 5mm. Keloihin on jälkeenpäin piirretty laatikko peittämään kelojen valmistajien tekemiä merkintöjä.

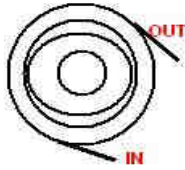


Kuva 4: Kolmen eri valmistajan valmistamat pintaliitoskelat

Kuvassa 5 on vasemmalla esitetty Valmistajan 1 valmistaman kelan kuva ja oikealla sama kela avattuna. Oikeanpuoleisesta kuvasta näkyy kelan kuparinen käämilanka. Samasta kuvasta näkyy myös se, että kela on käämitty siten, että sen sisäänmeno IN ja ulostulo OUT ovat kelan käämilangoituksen ulkokehällä. Kuvassa 6 on samaa asiaa selvennetty piirretyllä kuvalla.

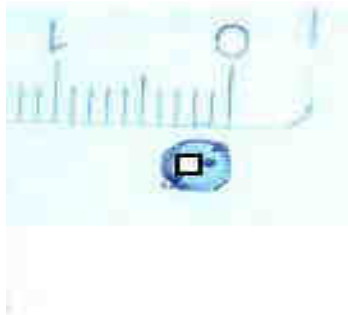


Kuva 5: Vasemmalla Valmistajan 1 valmistama kela ja oikealla sama kela avattuna



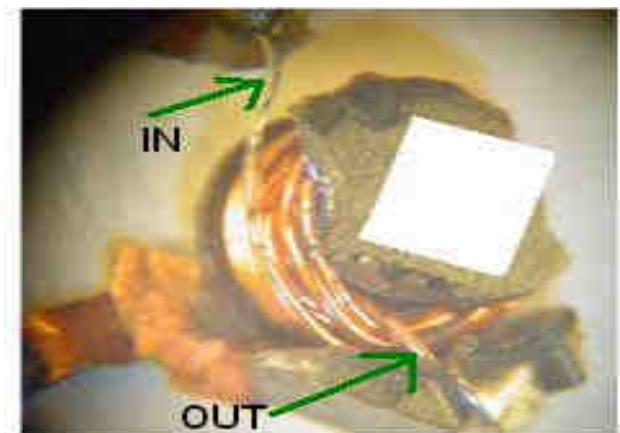
Kuva 6: Valmistajan 1 valmistaman kelan käämityksen selvennys

Vasemmalla kuvassa 7 on esitetty Valmistajan 2 valmistaman kelan kuva ja oikealla sen avauskuva. Kuvassa on nuolella merkitty käämilangan pää. Valmistajan 2 valmistama kela on käämitty samalla tavalla kuin Valmistajan 1 valmistama kela, eli käämilangan IN ja OUT ovat käämilangoituksen ulkokehällä.



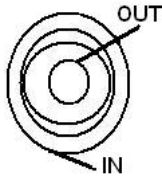
Kuva 7: Vasemmalla Valmistajan 2 valmistama kela, oikealla sama kela avattuna

Kuvan 8 vasemmassa reunassa on Valmistajan 3 valmistama kela ja saman kuvan oikeassa reunassa on esitettyä tämä kela avattuna. Valmistajan 3 valmistama kela eroaa Valmistajien 1 ja 2 tekemistä keloista siten, että sen käämilangan IN on käämilangoituksen ulkokehällä, kun taas OUT on käämilangoituksen sisäkehällä. Kuvassa 9 olevalla piirroksella on selvennetty tätä asiaa.



Kuva 8: Vasemmalla Valmistajan 3 valmistama kela ja oikealla sama kela avattuna



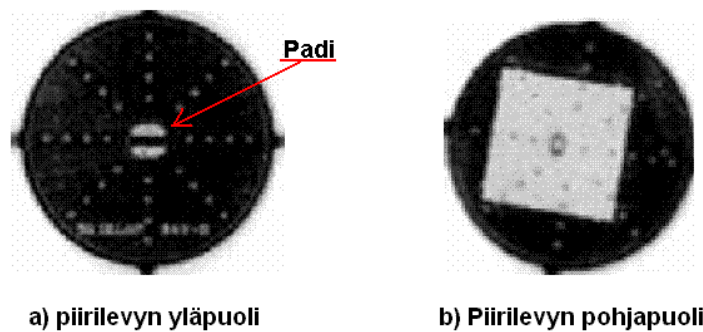


Kuva 9: Valmistajan 3 valmistaman kelan käämityksen selvennys.

Tässä tutkintotyössä valmistetun mittausjärjestelmän avulla tutkitaan muun muassa sitä, miten nämä erilaiset käämimistavat vaikuttavat kelan magneettikentän käyttäytymiseen.

## 2.2 Mitattavan komponentin piirilevy

Mitattava komponentti on juotettu kiinni nelikerroksiseen pyöreään muotoiseen piirilevyn yläpuolella olevaan padiin (kuva 10, kohta a.). Kuvassa 10 on esitetty valokuvat käytetyn piirilevyn ylä- ja pohjapuolesta (kuva 10, kohdat a. ja b.). Kuvasta 10 voidaan huomata, että piirilevyn kiinnitettävän komponentin keskikohta on PCB:n keskellä.

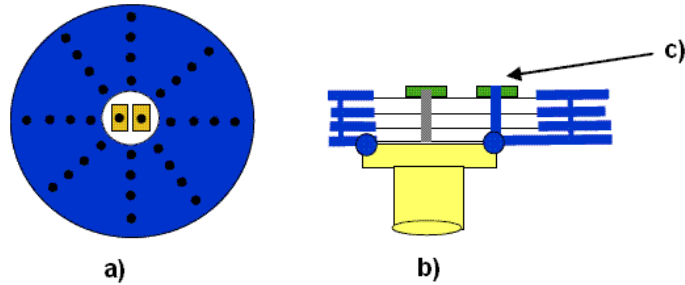


Kuva 10: Käytetyn piirilevyn a) yläpuoli, ja b) pohjapuoli

Komponentille tuodaan signaalina 5MHz:n kantiaaltoa PCB:n pohjapuolelle kiinnitetyn SMA-liittimen kautta. SMA-liittimen keskijohdin tuodaan lähes kokonaan piirilevyn läpi. Keskijohdinta ei tuoda täysin piirilevyn läpi, jotta se ei nostaisi komponenttia irti piirilevystä. Komponentti yhdistyy SMA-liittimen keskijalkaan kun komponentti juotetaan kiinni padiin, jolloin juote yhdistää komponentin signaali-jalan SMA-liittimen keskijohtimeen.

Maahan komponentti on yhdistetty siten, että kun komponentti juotetaan padiin, padin maa-jalassa oleva pieni reikä täyttyy juotteella (tinalla), yhdistäen komponentin piirilevyn pohjapuolella olevaan maa-tasoon (kuva 10, kohta b.), vaalea neliö). Kuvassa 11 on esitetty selvempi kuva piirilevyn yläpuolesta (kuva 11, kohta a.). Kuvassa olevat mustat pisteet ovat piirilevyssä olevia läpivientejä. Kuvassa 11 on esitetty myös piirilevyn halkileikkaus, josta voidaan nähdä miten komponentti yhdistetään SMA-liittimeen. Kuvasta keltaisella näkyy myös PCB:n pohjaan juotettu SMA-liitin (kuva 11, kohta b.). Kuvaan on merkitty vihrein levyin padit, johon komponentti juotetaan kiinni (kuva 11. kohta c.). Näistä

padeista oikeanpuolimmaiseen tuodaan komponentin maa ja vasemmanpuolimmaiseen tuodaan komponentin signaali.



Kuva 11: a) selvennös piirilevyn yläpuolesta ja b) piirilevyn halkileikkaus ja SMA-liittimen kiinnitys

Jotta mittaus onnistuisi odotusten mukaisesti, täytyy komponentti juottaa tarkalleen keskelle PCB:tä.

### 3. MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Mittausjärjestelmä koostuu useasta itsenäisestä laitteesta, jotka on kytketty itse mittauslaitteeseen. Näistä jokaisesta itsenäisestä laitteesta voidaan käyttää myös termiä instrumentti. Mittausjärjestelmä koostuu spektrianalysaattorista, funktiogeneraattorista, oskilloskoopista, jännitelähteestä sekä itse pintaliitoskelojen mittauslaitteesta. Mittausjärjestelmään kuuluu myös LabVIEW-ohjelmointiosa, mutta se jätetään tässä kappaleessa käsittelemättä ja käsitellään kokonaisuudessaan vasta kappaleessa 4.

Tämän kappaleen alakappaleissa on käsiteltyä kaikki mittausjärjestelmässä käytetyt instrumentit tarkemmin. Kappaleissa kerrotaan myös se, mitä mikäkin laite mittausjärjestelmässä tekee ja se, miten ne ovat toisiinsa kytketty.

#### 3.1 Askelmoottori

Tässä kappaleessa on kerrottu miten askelmoottoria käytetään tässä tutkintotyössä. Kappaleessa käsitellään myös yleistä teoriaa askelmoottoreiden rakenteista, tyypeistä sekä kerrotaan erilaisista askelmoodeista, joilla askelmoottoreita käytetään.

##### 3.1.1 Yleistä

Tässä mittausjärjestelmässä askelmoottorin avulla mitattavaa komponenttia käännetään sellaiseen kohtaan, josta mittaus halutaan tehdä. Mittausjärjestelmän esivaatimuksissa on määritelty se, että mittaus halutaan suorittaa kahdeksan kertaa yhdelle komponentille siten, että komponentti tulee mitattua sen jokaiselta puolelta. Tämä tarkoittaa sitä, jotta koko komponentti tulee mitattua, mittaus täytyy suorittaa 45 asteen välein.

##### 3.1.2 Askelmoottorin rakenne

Askelmoottori on erittäin yksinkertainen rakenteeltaan. Sen sydämessä ei ole ollenkaan harjoja tai mitään kontaktipintoja vaan periaatteessa askelmoottori toimii kuten synkronoitu moottori, jossa elektronisesti käännetään moottorissa olevan magneettikentän suuntaa. Yleisimmin askelmoottori koostuu kolmesta peruslohkosta, joita on useimmin ohjattu jonkinlaisella käyttöliittymällä, UI:llä, kuten tietokoneessa olevalla sovelluksella tai ohjelmoitavalla logiikkaohjaimella, PLC:llä. /5; 6/

Ensimmäinen lohko on ohjain, josta käytetään myös nimeä indekseri. Ohjaimessa olevalla mikroprosessorilla säädellään moottorin askelten pulssitiheyttä eli askelmäärää ja määritellään moottorin pyörimissuunta. Lisäksi ohjainta tarvitaan suorittamaan useat muut moottorille tarkoitetut käskyt kuten pyörimisnopeus, kiihtyvyys ja moottorin paikkatieto. /5; 6/

Toinen lohko on ajuri, jonka avulla muutetaan ohjaimelta saadut käskysignaalit moottorin käämiin tarvitseväksi tehoksi. On olemassa liki lukematon määrä eri valmistustavoilla

toteutettuja ajureita eri virta- ja ampeeriarvoille. Suunniteltaessa moottorin ohjausjärjestelmää onkin huomioitava se, että kaikki ajurit eivät sovellu kaikkien moottorien ohjaamiseen. Moottorin ohjausjärjestelmää rakennettaessa ja oikeanlaista ajuria valittaessa täytyykin käyttää paljon aikaa. /5; 6/

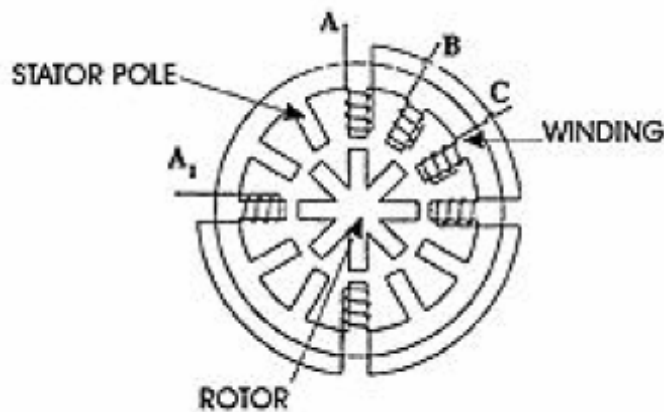
Kolmas ja viimeinen lohko on itse askelmoottori. Askelmoottori on elektromagneettinen laite, joka muuntaa digitaalisia pulsseja mekaaniseksi akselin pyörimiseksi. Askelmoottorin etuihin kuuluvat alhainen hinta, hyvä luotettavuus, suuri vääntö pienillä kierrosnopeuksilla sekä yksinkertainen rakenne, ja se toimii lähes millaisessa ympäristössä tahansa. Etuihin lasketaan myös tarkkuus ja moottorin paikkatiedot. Suurimmiksi haitoiksi askelmoottoria käytettäessä muodostuvat usein pienillä nopeuksilla ilmenevä resonanssi-ilmiö ja väännön pieneneminen suurilla nopeuksilla. Näistä haitoista ei aiheudu varsinaista ongelmaa, sillä moottori liikkuu vain lyhyitä liikkeitä kerrallaan. /5; 6/

### 3.1.3 Askelmoottoreiden tyypit

Askelmoottoreita on olemassa pääasiassa kolmea eri tyyppiä: muuttuväsähkökenttäisiä, kestmagneettisia ja näiden yhdistelmiä eli hybridiaskelmoottoreita. Ne eroavat toisistaan valmistustavan myötä eli siten, että käytetäänkö valmistuksessa 1) kestmagneetteja ja 2) rautarootoreita laminoidusta teräsksestä valmistettujen staattorien kanssa vai käytetäänkö näitä kahta erikseen. /5; 6/

#### 3.1.3.1 Muuttuväsähkökenttäinen askelmoottori

Muuttuväsähkökenttäisessä askelmoottorissa ei ole pysyvää magneettia, minkä vuoksi roottori voi liikkua ilman rajoitettua vääntömomenttia. Tämän tyyppinen rakenne on hyvä sellaisissa ei-teollisissa järjestelmissä, joissa moottorille ei tarvita suurta vääntömomenttia. Tällainen voisi olla esimerkiksi mikrolevyn kohdistuksessa tarvittava moottorin ohjaus. Kuvassa 12 on esitetty muuttuva sähkökenttäisen askelmoottorin sisäinen kytkentä. /5; 6/

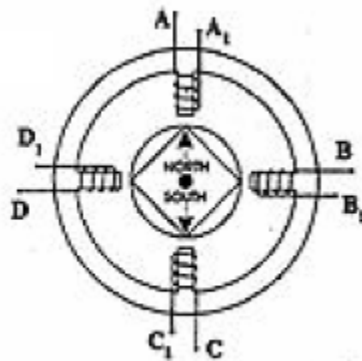


Kuva 12: Muuttuva sähkökenttäisen askelmoottorin sisäinen kytkentä /6/

Kuvassa 12 esitetystä muuttuvalla sähkökentällä toimivassa askelmoottorissa on neljä kolmen kappaleen "sarjaa" staattorin puolia (A, B ja C). Nämä on asetettu siten, että ne ovat 15 asteen kulmissa toisiinsa nähden. Moottorikämmien läpi puolaan A johdettu virta aiheuttaa magneettivaikutuksen, joka kääntää roottorin hampaan kohti puolaa A. Sähköenergialla virittynyt staattorin puola B aiheuttaa sen, että roottori kääntyy 15 astetta jonka jälkeen se osoittaa kohti puolaa B. Tämä prosessi jatkuu puolalla C, minkä jälkeen koko prosessi jatkuu eteenpäin kohti puolaa A myötäpäivään pyörivässä järjestyksessä. Kääntämällä menettely toisinpäin puolasta C puolaan A saadaan aikaan vastapäivään pyörivä moottorin kääntyminen. /5; 6/

### 3.1.3.2 Kestomagneettinen askelmoottori

Kestomagneettisessa askelmoottorissa on, kuten nimikin sanoo, kestomagneettinen roottori. Kestomagneettinen askelmoottori on suhteellisen hidasnopeuksinen ja matalavääntöinen laite, jossa on yleisimmin suuret askelvälit (joko 45 tai 90 astetta). Sen yksinkertaisen rakenteen ja huokean hinnan ansiosta se on ideaalinen vaihtoehto ei-teollisiin järjestelmiin, kuten esimerkiksi tavallisimpiin tulostimien moottoreihin.



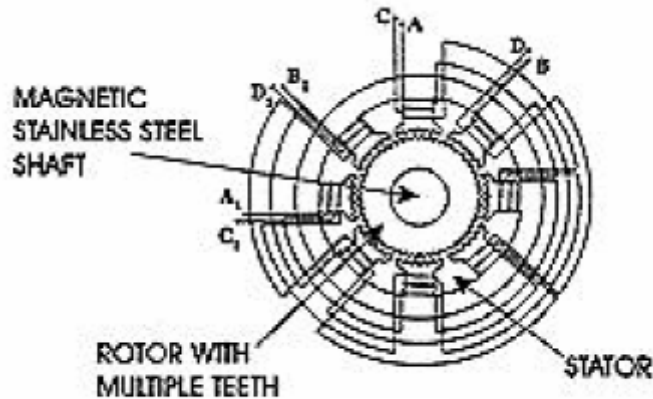
Kuva 13: Kestomagneettisen askelmoottorin sisäinen kytkentä /6/

Toisin kuin muut askelmoottorit, kestomagneettisen moottorin roottorissa ei ole hampaita, ja se on suunniteltu magnetisoitumaan oikeaan kulmaan akseliinsa nähden. Yllä olevasta kuvasta 13 nähdään yksinkertaisen 90 asteen välein pysähtyvän nelivaiheparisen (vaiheparit A-D) askelmoottorin rakennekuva. Johtamalla virta vuorotellen jokaiseen vaihepariin ja näin aikaan saamalla muuttuva magneettikenttä saadaan aikaan moottorin kääntyminen. Vaikka kestomagneettinen askelmoottori omaakin suhteellisen pienen pyörimisnopeuden, sillä on melkoisen korkeat vääntöominaisuudet. /6; 5/

### 3.1.3.3 Hybridiaskelmoottori

Hybridiaskelmoottorissa on yhdistetty parhaimmat ominaisuudet muuttuvavälikentäisestä ja kestomagneettisesta askelmoottorista. Hybridimoottorit on rakennettu monihampaisiksi ja niissä on kestomagneettinen roottori. Tavallisessa hybridimoottorin roottorissa on 200 hammasta ja niiden askelväli on 1.80 astetta.

Muissa hybridiaskelmootoreissa on saatavilla 0.9-3.6 asteen askelvälejä. Koska hybridimootoreissa on erittäin staattinen ja dynaaminen vääntö ja koska ne toimivat hyvin korkeilla askelluvuilla, hybridimootoreita käytetään erittäin laajalti teollisissa järjestelmissä. Hybridiaskelmootorin sisäinen kytkentä on esitetty alla olevassa kuvassa 14. /5; 6/



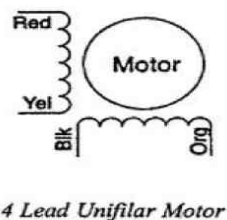
Kuva 14: Hybridiaskelmootorin sisäinen kytkentä /6/

### 3.1.4 Moottorien käämimistavat

Kappaleessa 3.1.4 selitetään millaisia käämimistapoja askelmootoreissa käytetään. Selitykset esitetään hyvin lyhyesti ja niitä selventämään käytetään yksinkertaisia piirroksia.

#### 3.1.4.1 Unifilaarinen moottori

Unifilaarisessa eli yksilankaisessa moottorissa on, kuten sen nimi sanoo, vain yksi käämi per staattorin puola. Unifilaarisissa askelmootoreissa on neljä lyijyvaippaista käämiä. Alla olevassa kuvassa 15 on esitettyä tyypillisen unifilaarisen askelmootorin johdotuskuva. /5; 6/

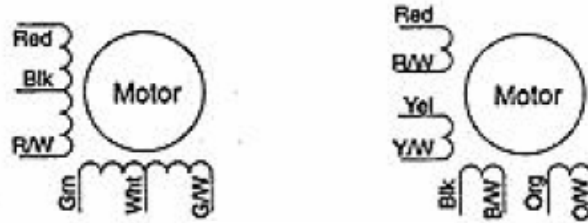


Kuva 15: Tyypillisen unifilaarisen askelmootorin johdotuskuva /6/

#### 3.1.4.2 Bifilaarinen moottori

Bifilaarinen moottori tarkoittaa sitä, että jokaisessa staattorin puolassa on kaksi identtistä käämilankasarjaa. Tämän tyyppinen rakenne yksinkertaistaa toimintoa, jossa virtaa siirretään kelasta toiseen. Tyypillisen 6 ja 8 johtoisen bifilaarisen askelmootorin

johdotuskuvat on esitetty kuvassa 16. Virran kiertosuunnan kääntäminen toisessa käämissä aiheuttaa moottorin kiertosuunnan kääntymisen, kun taas unifilaarisessa järjestelmässä pyörimissuunnan muutokseen tarvitaan virran kääntäminen samassa käämissä. /5; 6/



Kuva 16: Tyypillisen 6 ja 8 johtoisen bifilaarisen askelmoottorin johdotuskuvat /6/

Yleisin käämimistapa bifilaariselle askelmoottorille on kahdeksan lyijyvaippaista käämiä. Tämä on toteutettu siksi, että tämälantapaisia moottoreita voidaan käyttää joko sarja- tai rinnakkaiskytkettyinä. Toisaalta on kylläkin saatavilla bifilaarisia moottoreita, joissa on kuusi lyijyvaippaista käämiä, mutta niitä voidaan käyttää vain sarjakytkentäisiin järjestelmiin. /5; 6/

### 3.1.5 Askelmoodit

Askelmoottoreita voidaan käyttää eri "askelmoodeilla" (Step Modes, SM). Askelmoodeja ovat: täysaskel (Full Step, FS), puoliaskel (Half Step, HS) ja mikroaskel (Microstep, MS). Askelmoodi on riippuvainen valitun ajurin (Driver) rakenteesta. /6/

#### 3.1.5.1 Täysaskel (Full Step, FS)

Tavallisen hybridiaskelmoottorin roottorissa on 200 hammasta tai toisin sanoen 200 täyttä askelta per moottorin akselin kierros. Jakamalla täysi kierros (360°) 200 askeleella, nähdään, että yksi täysaskel vastaa 1.8 astetta. Tavallisesti täysaskel-moodi saadaan virroittamalla molemmat käämit samalla, kun virran suuntaa käännetään. Pääsääntöisesti yksi digitaalinen syöttö ajurilta vastaa yhtä askelta. /6/

#### 3.1.5.2 Puoliaskel (Half Step, HS)

Puoliaskel tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että moottori kääntyy 400 askelta per kierros. Tässä moodissa ensin yksi käämi virroitetaan, minkä jälkeen vuorostaan kaksi käämiä virroitetaan, mikä aiheuttaa sen, että roottori kääntyy vain puolet matkasta eli 0.9 astetta. Sama lopputulos saadaan käyttämällä sellaista FS-moottoria, jossa on 400 askelta per kierros. Teollisissa järjestelmissä käytännöllisin vaihtoehto on puoliaskellus. Vaikka HS tarjoaakin hieman vähemmän vääntöä kuin FS, HS-moodissa on vähemmän FS-moodissa tapahtuvaa "hyppimistä". Toisin sanoen HS on hieman tarkempi kuin FS. /6/

### 3.1.5.3 Mikroaskel (Microstep, MS)

Mikroaskellus on melkoisen uusi askelmootorieissa oleva teknologia, joka ohjaa virran voimakkuutta jokaiselle askelväleissä olevalle jakoluvulle. Toisin sanoen jokainen askelväli voidaan jakaa omiin askelväleihinsä. Näin saadaan lisättyä askellukua suuria määriä. Jokaisella jakoluvulla on oma virta-arvonsa. Kun käämiin syötetään jokin jakolukua vastaava virta-arvo, moottori tietää, kuinka paljon sen pitää kääntyä. Markkinoilla on olemassa sellaisia mikroaskelilla toimivia askelmootoreita, jotka voivat kääntyä yli 50 000 askelta per kierros. Tällaisia moottoreita löytyy ainakin eräältä amerikkalaiselta valmistajalta. Jakoluvuksi tulee näin ollen 1/256. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen täyden askeleen välissä on 256 mikroaskelta. Kun täysiä askelia on 200, niin askelien lukumääräksi tulee näin ollen 51 200. Mikroaskellusta käytetään yleisimmin järjestelmissä, jotka vaativat tarkkaa paikan asettamista ja suurta resoluutiota eri pyörimisnopeuksilla. /6/

### 3.1.6 Askelmootorin valintaprosessi

Askelmootorin valintaprosessi alkoi ensimmäisenä, sillä laitetta määriteltäessä huomattiin, että laite pitää valmistaa täysin askelmootorin ympärille sen asettamien vaatimusten mukaisesti. Askelmootorin valinnalle asetettiin muutama vaatimus. Arvioitiin että sen piti jaksaa kääntää melko raskasta järjestelmää, jolloin askelmootorille asetettiin jatkuvan väännön minimiarvoksi 1-2Nm. Tällaisella vääntömomentilla arveltiin moottorin jaksavan liikuttaa lähes minkälaista mittausjärjestelmää tahansa. Askelmootorin piti olla myös ulkoisesti ohjattavissa tietokoneen välityksellä, joten piti olla mahdollista kytkeä se johonkin tietokoneen porteista. Moottori ei myöskään saanut aiheuttaa ylimääräistä häiriötä mitattavaan magneettikenttään.

### 3.1.7 Askelmootorin toiminta järjestelmässä

Tässä mittausjärjestelmässä askelmootori kääntää mitattavaa komponenttia halutun kulman kerrallaan siten, että koko komponentti saadaan mitattua sen ympäriltä. Tässä järjestelmässä mittaus haluttiin suorittaa kahdeksasta suunnasta jokaiselle komponentille. Tämä tarkoittaa sitä, että moottorin pitää pysähtyä 45 asteen välein. Valitussa JVL Industrin QuickStep-moottorissa yksi täysi kierros sisältää 1600 askelta. Tämä tarkoittaa sitä että asteluku 45 vastaa moottorille 200 askeleen hyppyjä.

#### 3.1.7.1 Askelmootorin liittäminen mittausjärjestelmään

Askelmootorin liittäminen pintaliitoskelojen mittausjärjestelmään on hyvin yksinkertaista, sillä järjestelmässä ei tarvita kovinkaan montaa oheislaitetta tai -komponenttia. Ainoastaan tarvitaan johto mitä pitkin moottorin ohjaimelle ja itse moottorille tuodaan käyttöjännite. Moottorin ohjain (driver) toimii 24V tasajännitteellä ja moottorin käyttöjännite on 48VDC. Nämä jännitteet tuotetaan TTI EX752M Multi-mode jännitelähteellä.



Moottorin ohjaaminen tapahtuu LabVIEW™ sovelluksen avulla, jolta moottori saa muun muassa sen tarvitsemat paikka-, asento- ja muut ohjauskomennot.

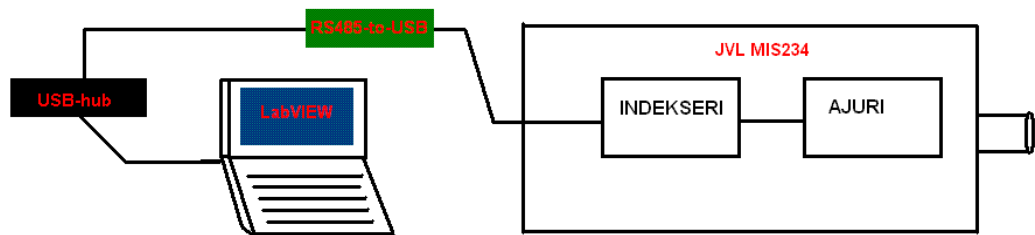
Moottorin ohjaamiseksi LabVIEW:llä, moottoriin kytketään johto, jonka toisessa päässä on DE9-urosliitin. Jotta moottori voidaan liittää tietokoneen USB-väylään, pitää DE9-urosliitin muuttaa USB-liittimeksi. Tämä tapahtuu RS485-to-USB-adapterin avulla (kuva 17). RS485-to-USB-adapteria tarvitaan, sillä mittausjärjestelmässä käytetyssä kannettavassa tietokoneessa ei ole DE9-liitintä vaan pelkästään kaksi USB-liitintä.

Askelmoottorilta tuleva USB-liitin kytketään kiinni kannettavassa tietokoneeseen liitettyyn USB-hubiin. USB-hubia tarvitaan, sillä mittausjärjestelmässä käytetyssä kannettavassa tietokoneessa ei ole kuin kaksi USB-liitintä, joista toinen on kokoajan varattuna ulkoiselle hiirelle ja koko mittausjärjestelmän käyttämiseen ja integroimiseen tarvitaan vähintään kolme vapaata USB-liitintä. Kannettavan tietokoneen liittäminen mittausjärjestelmään on selitetty tarkemmin kappaleessa 3.6.



Kuva 17: Vasemmalta oikealle: RS485-to-USB-adapteri, moottorinohjausjohdon DE9-naarasliitin, liitin adapteriin liitettynä

Alla olevassa kuvassa 18 olevassa yksinkertaisessa piirroksessa on esitetty miten askelmoottori on kytketty mittausjärjestelmään.

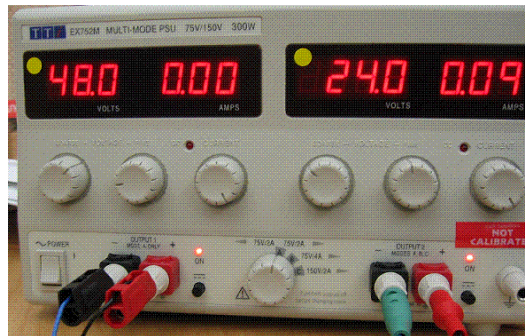


Kuva 18: Askelmoottorin kytkeminen mittausjärjestelmään

### 3.2 Jännitelähde

Mittausjärjestelmässä käytetyn jännitelähteen on valmistanut TTI ja sen malli on EX752M Multi-Mode PSU (kuva 19). Jännitelähdettä tarvitaan tuottamaan askelmoottorin ohjaimen tarvitsema 24VDC, sekä itse askelmoottorin tarvitsema 48VDC:n käyttöjännite. Näiden kahden jännitetason avulla moottori toimii kunnolla. Ohjaimen spesifikaatioissa lukee, että se toimii 12-28VDC:n jännitteillä, mutta tässä mittausjärjestelmässä suositellaan käytettäväksi 24VDC:n jännitetasoa. Ohjain on sisäisesti siten kytketty, että yli 28VDC:n jännitetasot aiheuttavat luultavimmin vaurioita ohjaimelle, tai jopa pahimmassa tapauksessa tuhoavat sen kokonaan. Moottori toimii kunnollisesti 12-48VDC:n jännitetasoilla. Tässä mittausjärjestelmässä käytetään 48VDC:n jännitetasoa, joka takaa moottorin spesifikaatioiden mukaan moottorille sen maksimiväännön.

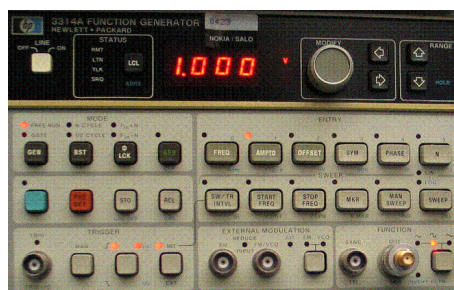
Moottoria käytettäessä täytyy huomioida se, että yli 28 voltin suuruinen tasajännite, tai minkä tahansa suuruinen vaihtojännite vaurioittaa ohjainta.



Kuva 19: TTI EX752M Multi-Mode-jännitelähde.

### 3.3 Funktiogeneraattori

Funktiogeneraattorilla syötetään haluttu taajuus mitattavaan komponenttiin. Mittausjärjestelmässä käytetyn funktiogeneraattorin on valmistanut Hewlett Packard, ja sen malli on 3314A (kuva 20).



Kuva 20: Mittausjärjestelmässä käytetty HP:n 3314A funktiogeneraattori

Mittausjärjestelmällä tehdyissä mittauksissa on käytetty 5MHz taajuisia kanttiaaltoja, jonka amplitudi on  $1V_{pp}$ . Mitattava komponentti on kytketty funktiogeneraattoriin Huber-Suhnerin

valmistaman EF400 RF-kaapelin kautta. Mittausjärjestelmässä käytettäväksi RF-kaapeliksi EF400 valittiin sen erinomaisten ominaisuuksien vuoksi. EF400:lla on riittävät taajuusominaisuudet, sillä sen maksimikäyttötaajuus on 6GHz /8/, mutta tätä tärkeämpi ominaisuus on EF400:n taivutusominaisuus. EF400:a voidaan taivuttaa staattisesti 10mm taivutussäteelle ja sen dynaaminen taivutussäde on 40mm. /8/ Tämä on hyvin tärkeä ero toiseksi parhaaksi olevaan kaapeliin nähden, jonka dynaaminen taivutussäde on 80mm.

Taivutussädettä tutkittiin siksi, koska projektin alkuvaiheessa näytti siltä, että mittausjärjestelmä piti rakentaa siten, että käytettävä RF-kaapeli, sekä komponentissa oleva SMA-liitin joutuvat jatkuvan kierron aiheuttaman rasituksen alle. Tämä rasitus johtuisi siitä, että kaapelin toinen pää on kiinteästi kiinni mitattavassa komponentissa, ja toinen pää kiinteästi funktiogeneraattorissa. Tätä ongelmaa mietittiin erilaisin ratkaisuin, joita on mahdollisuus nähdä liitteissä 2-4 olevista ensimmäisistä mittausjärjestelmän hahmotelmista, jotka kuitenkin myöhemmin hylättiin paremman suunnitelman tieltä. Hahmotelmat suunniteltiin käyttämällä pohjana Techno Incorporated:n valmistamia Rotation Tableja.

Ratkaisu tähän kierrosta aiheutuvaan ongelmaan löytyi vasta kun mittalaitetta oli jo alettu rakentamaan. Ratkaisun tarjosi amerikkalainen RF-komponentteja valmistava Filtronic Sage Laboratories, jonka tuotevalikoimasta löytyi juuri tähän mittausjärjestelmään sopiva ratkaisu. He tarjoavat RF-käyttöön Rotary Joint 345 nimistä paikallaan pyörivää adapteria. Adapteri toimii 10GHz:in saakka ja sen desibelinen maksimivaimennus on vain 0.2dB:iä ja sitä on mahdollisuus pyörittää jatkuvasti 100rpm:n nopeudella, ilman että se aiheuttaa mitään suurempaa vaimennusta, häipymää tai muutakaan häiriötä. /9/ Tämän Rotary Jointin avulla mittausjärjestelmästä poistui pelko kaapelin kiertymisestä aiheutuvasta rasituksesta eikä tässä vaiheessa jo valmistuksessa olevaan mittalaitteeseen tarvinnut tehdä minkäänlaisia muutoksia, vaan Rotary Joint pystyttäisiin liittämään valmiiseen mittauslaitteeseen jälkikäteen.

### 3.4 Spektrianalysaattori

Mittausjärjestelmässä käytetyn spektrianalysaattorin on valmistanut Tektronix ja sen malli on RSA3308A. Spektrianalysaattorilla mitataan mitattavasta komponentista säteilevän magneettikentän voimakkuus dBm:inä. Nämä mittaustulokset lähetetään LabVIEWissä olevaan mittaussovellukseen GPIB-väylää pitkin. GPIB-väylä voidaan liittää suoraan spektrianalysaattoriin, mutta koska kannettavassa tietokoneessa ei ole GPIB-liitintä, pitää GPIB muuttaa USB:ksi. Tämä muutos tehdään käyttämällä National Instrumentsin valmistamaa GPIB-to-USB-adapteria (kuva 21). Kun muutos on tehty, spektrianalysaattorilta tuleva USB-liitin kytketään tietokoneessa kiinni olevaan samaan USB-hubiin mihin askelmoottorikin on kytketty.



Kuva 21: GPIB-to-USB-adapteri

### 3.5 Oskilloskooppi

Oskilloskoopin avulla tarkastetaan komponentin läpi menevästä signaalinmuodosta, että mitattava komponentti toimii kunnolla. Mittausjärjestelmässä käytettävän oskilloskoopin on valmistanut Tektronix ja sen malli on TDS5052B Digital Phosphor.

### 3.6 Laptop

Kannettavaa tietokonetta käytetään järjestelmässä pyörittämään graafista LabVIEW 8.0 Developers Edition-ohjelmointisovellusta. Näin ollen kannettava tietokone ei varsinaisesti ole yksi järjestelmän instrumenteista, vaan siihen asennetun ohjelmointisovelluksen käyttöympäristö. Käytettävän tietokoneen vaatimuksina oli se, että sillä on mahdollista käyttää LabVIEW 8.0-ohjelmointisovellusta ja ohjata mittausjärjestelmässä tarvittavia muita instrumentteja, kuten askelmootoria ja oskilloskooppia. Valittu kannettava tietokone vaikutti myös muihin järjestelmässä tarvittaviin osiin, sillä tietokoneessa oli vain kaksi USB-liitintä ja rinnakkaisportti. Näistä USB-porteista toinen on koko ajan varattuna, sillä tietokonetta käytetään USB-rullahiiren avulla. Kun spektrianalysointin dataväylä oli GPIB-tyyppinen ja se muunnettiin erillisellä adapterilla USB:ksi, päädyttiin siihen ratkaisuun, että on viisainta käyttää ulkoista seitsenporttista USB-hubia. Tällä tavoin tietokoneen omat USB-portit riittävät hyvin, kun toiseen porttiin kytketään hiiri ja toiseen seitsenporttinen USB-hub. Ajatusta ulkoisen USB-hubin käytöstä vahvisti vielä sekin, että mittausjärjestelmässä käytetty askelmootori oli myös mahdollista kytkeä USB-väylään.

Mittausjärjestelmässä käytetty tietokone on täysin tavallinen kannettava tietokone, jonka merkki on Dell Latitude. Siinä on Intelin valmistama Pentium III-prosessori ja 1.2 gigatavua keskusmuistia. Käyttöjärjestelmänä toimii Windows XP Professional. Tämän tasoinen tietokone on riittävä pyörittämään käytettävää ohjelmistoa ja instrumentteja riittävällä tasolla ja samalla koneen suorituskyky ylittää LabVIEW 8.0:n käyttövaatimuksissa määritellyn vähittäissuorituskyvyn rajat.

LabVIEW 8.0 ja sen käyttö mittausjärjestelmässä on määritelty tarkemmin kappaleessa 4.

## 4. LABVIEW

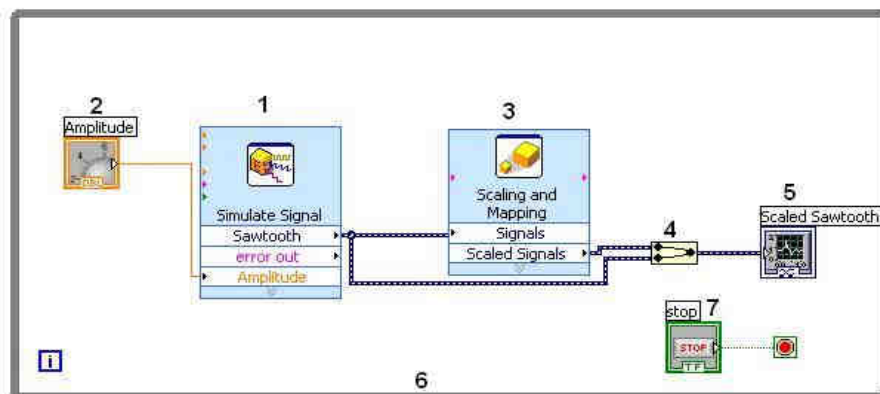
Tässä kappaleessa on ensin esitetty perustietoa LabVIEW-ohjelmistosta. Tämän jälkeen kappaleessa on kerrottu, miten ohjelmistoa on käytetty hyväksi tämän tutkintotyön toteuttamiseksi.

### 4.1 Yleistä LabVIEW:stä

National Instrumentsin LabVIEW on johtava ohjelmointiohjelmisto, jota pääasiassa teollisuus käyttää suunnittelemiseen, ohjaamiseen ja järjestelmien testaamiseen. Sen jälkeen kun LabVIEW julkaistiin vuonna 1986, insinöörit ja tiedemiehet ympäri maailman ovat luottaneet National Instrumentsin LabVIEWin graafiseen käyttöympäristöön läpi projektiansa elinkaaren, näin saavuttaen paremman laadun, lyhentämällä aikaa, jona heidän tuotteensa valmistuu markkinoille sekä parantamalla kehitys- ja valmistustehokkuutta. Graafinen ohjelmointi-ympäristö LV:ssä kertoo selkeästi signaalien luonnollisen kulun järjestelmässä ja liittäen käyttöliittymässä olevat ohjaimet olemassa olevaan dataan, selkeyttäen näin ohjelman seuranta ja datan muokkaamista. /4; 12/

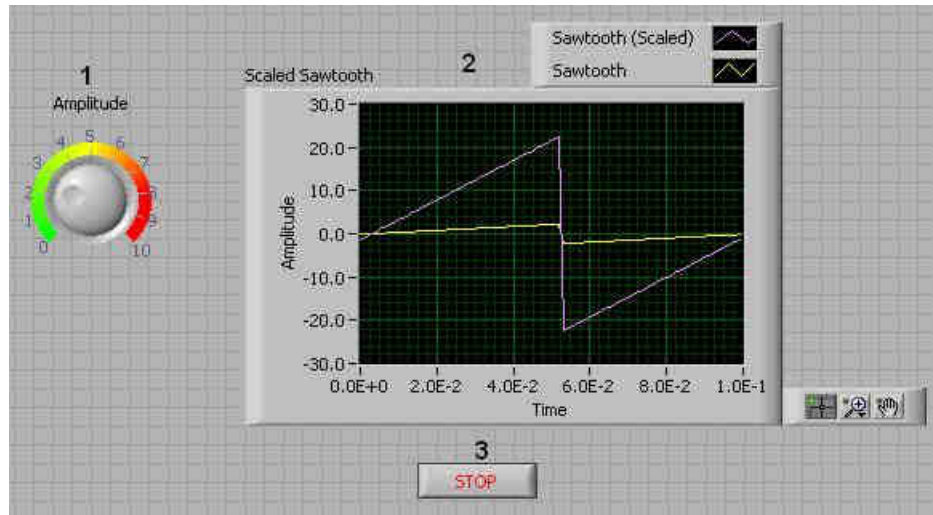
Kokemattomille tai aloitteleville ohjelmoijille LV:n Express Technologies yksinkertaistaa yleisimmät mittaukset ja automaatiotehtävät yksinkertaisiksi ohjelmointilohkoiksi, joita käyttäjä voi sitten yhdistellä ja saavuttaa näin yksinkertaisia mittauksia. /4; 12/

Kuvassa 22 on esitettynä kuinka yksinkertaisesti LV:llä voidaan tehdä saha-aaltosignaalin generointi. Käyttäjä voi muokata generoidun signaalin amplitudia reaaliaikaisesti Amplitude-kytkimellä (kuva 22, kohta 2). Simulate Signal-lohkossa generoitu saha-aaltosignaali (kuva 22, kohta 1) syötetään sekä Scaling and Mapping-lohkoon (kuva 22, kohta 3), jossa signaali muun muassa skaalataan, että signaalien yhdistämislohkoon (kuva 22, kohta 4). Kun nämä kaksi eri skaalauksella olevaa signaalia on yhdistetty, ne esitetään Scaled Sawtooth-kuvaajalla (kuva 22, kohta 5). Signaalin reaaliaikaisuus saadaan aikaan käyttämällä While-looppia (kuva 22, kohta 6). Tämä While-looppi saadaan pysähtymään painamalla Stop-painiketta (kuva 22, kohta 7). /10; 11/



Kuva 22: Saha-aaltosignaalin generointi ja skaalaus LabVIEWillä

Kuvassa 23 on esitetty kuvassa 22 tehdyn saha-aaltosignaalin generointikytkennän käyttöliittymä. Kuvasta 23 voidaan nähdä, että hyvin yksinkertaisella ohjelmalla saadaan aikaan erittäin käytännöllisiä soveluksia. Käyttäjä voi säätää portaattomasti signaalin amplitudia säätämällä Amplitude-nappulaa (kuva 23, kohta 2). Scaled Sawtooth-kuvaajasta (kuva 23, kohta 2) nähdään miltä signaali näyttää skaalattuna ja skaalaa-mattomana. Mittaussimulaatio saadaan pysäytettyä painamalla Stop-painiketta (kuva 23, kohta 3). /10; 11/



Kuva 23: Saha-aaltosignaalin generointikytkennän käyttöliittymä

Kokeneille ohjelmoijille LabVIEW tarjoaa tehokkuutta, joustavuutta sekä yhteensopivuutta tavallisimpien ohjelmointikielien kanssa, kuten C-kielet, yhdistettynä erittäin tuottoisiin graafisiin kehitystyökaluihin, jotka ovat suunniteltu erityisesti konetekniikan sovelluksiin. LV:ssä on käytössä samat rakenteet kuin tavallisimmassa ohjelmointikielissä, kuten muuttujat, datatyypit, loop- ja sekvenssirakenteet sekä virheiden hallinta. LV:stä saa ulos myös matemaattispainoitteisen, tekstipohjaisen ohjelmakoodin, joka on yhteensopiva laajalti käytössä olevien m-tiedostokriptien kanssa. LV:ssa on mahdollisuus käyttää jo olemassa olevia koodipaketteja kuten dll, tai kirjastoja jotka on jaettu toisten sovellusten kanssa. LV:n saa integroitua toisiin sovelluksiin käyttämällä toisia standardoituja teknologioita kuten .NET, ActiveX ja TCP. /4; 12/

LV yksinkertaistaa yhteyksiä ja kommunikointia satojen valmistajien valmistamien tuhansien instrumenttien kanssa. LV:n avulla on mahdollista noutaa dataa käyttämällä GPIB-, sarjaliikenne-, Ethernet/LAN-, PXI-, USB- ja VXI-instrumentteja. /4; 12/

## 4.2 LabVIEW mittausjärjestelmässä

Tässä tutkintotyössä, Pintaliitoskelojen magneettikentän mittausjärjestelmän kehittäminen, LV:tä on käytetty useaan eri toimintoon. LV:llä ohjataan mittauksessa käytettävää spektrianalysointia. Tämä ohjaus käsittää spektrianalysointille tehtävän resetoinnin, mittauksen ja mittausalueen valinnan, mittauksen tekemisen ja tuloksen hakemisen

tietokoneeseen. LV:llä ohjataan myös mittausjärjestelmässä olevaa askelmoottoria, jonka avulla mitattavaa komponenttia käännetään haluttu askelmäärä. Näiden ohjauksien lisäksi LV tekee mitatuista tuloksista mittauspöytäkirjan, jonka se tallettaa tietokoneen kiintolevyille Microsoft Excel -muodossa. Ennen mittauksen aloittamista, LV kysyy käyttäjältä mittauksesta tarvittavat tiedot. Nämä tiedot LV tallettaa mittauksen päätyttyä tehtyyn mittauspöytäkirjaan. Seuraavissa alakappaleissa käsitellään tarkemmin miten LabVIEWin tärkeimmät toiminnot on toteutettu.

#### 4.2.1 Spektrianalysaattorin ohjaaminen

Spektrianalysaattorilla mitataan mitattavasta komponentista säteilevän magneettikentän voimakkuus dBm:inä. LabVIEW.in avulla spektrianalysaattoriin asetetaan sopivat asetukset, jotta mittaus voidaan suorittaa.

Spektrianalysaattorin ohjaukseen ja mittauksen suorittamiseen käytettävä LV-ohjelma on esitetty kokonaisuudessaan liitteen 5 kuvassa 1. Tämä ohjelma toimii koko mittaussovelluksen runkona, toisin sanoen sitä voi kutsua sovelluksen pääohjelmaksi.

Liitteen 5 kuvaan 1 on merkitty numeroin 1-6 spektrianalysaattoria ohjaavan ohjelman pääkohdat. Spektrianalysaattori mittaa 1600 pistettä jokaisessa mittauksessa, minkä vuoksi LV:ssä ensiksi alustetaan mittaus tuloksille taulukko 100000 sanan kokoiseksi. Näin kaikki mittauspisteissä saadut tulokset mahtuvat varmasti tallettumaan taulukkoon (Liite 5, kuva 1, kohta 1). Samalla määritetään loput parametrit, jotta spektri pystytään piirtämään myös LabVIEWiin.

Koska mittaus suoritetaan yhdelle komponentille kahdeksan kertaa, täytyy mittaus olla sijoitettuna for-silmukan sisään. For-silmukka suoritetaan yhtä montaa kertaa kuin mittauksia halutaan suorittaa. Näin ollen silmukalle annetaan toistojen määräksi myös 8 (Liite 5, kuva 1, kohta 2). Seuraavaksi alustetaan Tektronix RSA 3308A tarvittavin alustuksin (Liite 5, kuva 1, kohta 3). Vasta tämän jälkeen suoritetaan itse mittaus (Liite 5, kuva 1, kohta 4) ja viedään tulokset LV:iin (Liite 5, kuva 1, kohta 5). Viimeiseksi saaduista mittaus tuloksista piirretään kuvaaja LV:n etupaneelissa olevaan näyttöön (Liite 5, kuva 1, kohta 6). /13/

#### 4.2.2 Askelmoottorin ohjaaminen

JVL MIS234 askelmoottoria ohjataan erillisen aliohjelman avulla. Aliohjelma on integroitu mittaussovelluksen pääohjelmaan. Moottorinohjaus on synkronoitu kääntämään komponenttia haluttu askelmäärä heti kun pääohjelmassa tehty mittaus on suoritettu. Liitteen 6 kuvassa 1 on esitetty moottorinohjaamiseen käytetty ohjelma kokonaisuudessaan. Kuvaan on merkitty moottorinohjausohjelman pääkohdat numeroin 1-6.

Ensimmäisenä moottorille pitää tarkasti määrittää kaikki sen parametrit, kuten mihin porttiin se on kytketty, kyseisen portin tiedonsiirtonopeus sekä moottorinnopeus ja kiihtyvyys (Liite

6, kuva 1, kohta 1). Kaikki asetukset täytyy olla määritetty tarkasti, jotta moottori toimisi kunnolla. Tässä mittausjärjestelmässä moottoria halutaan kääntää 8 kertaa, että haluttu 45 asteen kääntösekvenssi voitaisiin saavuttaa. Tämä arvo kirjoitetaan for-silmukkaan jossa itse moottorin kääntäminen tapahtuu. Luku 8 saadaan jakamalla moottorin askelmäärä 1600spr halutulla askelmäärällä, jolla 45 asteen askellus saavutetaan (Käytössä olevassa askelmoottorissa 45 astetta vastaa 200 askelta) (Liite 6, kuva 1, kohta 2).

Jotta mittaukset alkaisivat aina samasta kohdasta 0-askelta, täytyy nollan askeleen kohta määrittää mittauksen aloituskohdaksi (Liite 6, kuva 1, kohta 3.1). Jokaista uutta mittausta aloittaessa moottori tarkistaa mihin kohtaan se on viimeksi pysähtynyt. Jos kohta on joku muu kuin 0 (nolla) askelta, moottori kääntyy automaattisesti aloituskohtaan (Liite 6, kuva 1, kohta 3.2). Tämä tarkistus on tehty vain siksi, että jos mittaus keskeytetään ja moottori pysähtyy johonkin muuhun kuin 200:lla jaolliseen askeleeseen, seuraavaksi aloitettavassa mittauksessa tapahtuvat moottorin kääntymiset todennäköisesti menevät epäsynkronaatioon ja aiheuttavat näin ollen mittauksen epäonnistumisen. /14/

Moottorin kääntäminen sijaitsee for-silmukan sisällä. Silmukassa kirjoitetaan askelina seuraava kohta mihin moottorin halutaan kääntyvän (Liite 6, kuva 1, kohta 4). Viiveellä on mahdollista ajoittaa mittaus ja moottorin kääntyminen samaan synkronaatioon jos prosessi (mittaus ja moottorin kääntyminen) alkavat menemään väärään vaiheeseen (Liite 6, kuva 1, kohta 5). Kun moottoria on käännetty tarvittavasti tai ohjelma keskeytetään käyttäjän toimesta, yhteys moottoriin suljetaan (Liite 6, kuva 1, kohta 6).

#### 4.2.3 Pop-Up-kyselyikkuna

Ennen kun jokaista uutta komponenttia aletaan mitata, LV kysyy käyttäjältä mittauksen pöytäkirjassa tarvittavia tietoja. Nämä tiedot kysytään Pop-Up-kyselyikkunan avulla. Ikkunassa kysytään muun muassa mittajan nimi, tietoja komponentista ja sen valmistajasta sekä käyttäjän muita kommentteja mittauksesta. Pop-Up-kyselyikkunan toteutus sekä kuvakaappaus kyselyikkunasta on esitetty liitteen 7 kuvassa 1. /15/

#### 4.2.4 Mittauksen raportointi

Mittauksen raportointi LV:ssä on toteutettu siten, että käyttäjän ei tarvitse tehdä mittauspöytäkirjan generointia varten mitään muita muutoksia kuin täyttää Pop-Up-kyselyikkunassa kysyttävät tiedot. Nämä tiedot, mittauksien lisäksi, siirtyvät automaattisesti mittauspöytäkirjaan, joka talletetaan tietokoneen kiintolevyille, ennalta määrättyyn tiedostoon Microsoft Excel -muotoisena.

Mittauspöytäkirjan generointi koostuu kolmesta pääosasta. Ensiksi LV tarkistaa kohdehakemistosta mikä on seuraava vapaa juokseva numero mittauspöytäkirjalle (Liite 8, kuva 1, kohta 1). Tämä tarkoittaa sitä, että LV ei ikinä talleta vanhojen mittauspöytäkirjojen



päälle, vaan generoi automaattisesti mittauspöytäkirjan seuraavalla vapaalla juoksevalla numerolla. /16/

Esimerkiksi jos kohdehakemistossa on mittauspöytäkirjoja 10 kappaletta talletettuna nimillä Kelan\_mittauspöytäkirja\_#1-10, tallettaa LV seuraavan mittauspöytäkirjan nimellä Kelan\_mittauspöytäkirja\_#11.

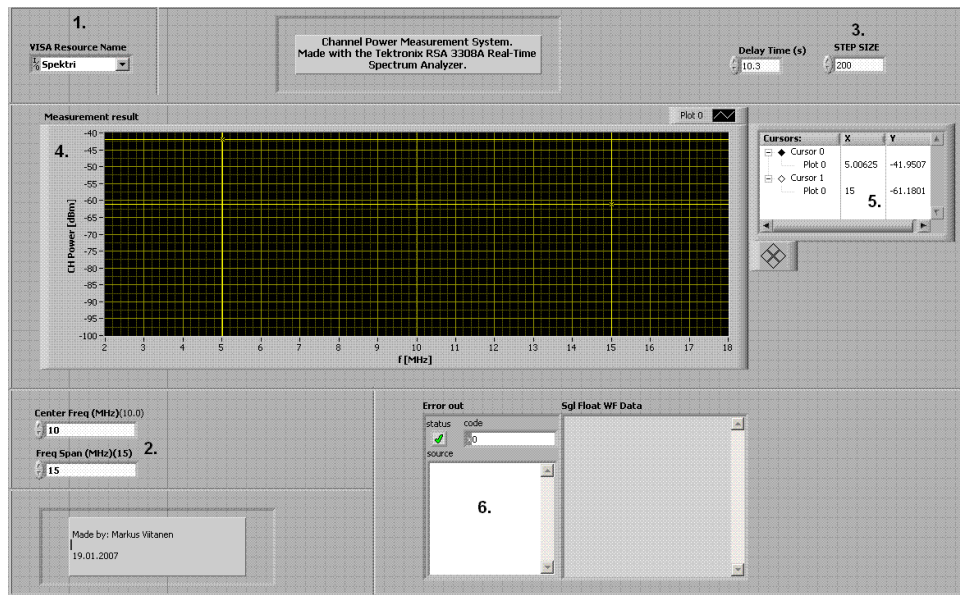
Mittauspöytäkirjoihin ei haluttu kirjoittaa mittaustulosta kaikista 1600 mittauspisteestä jokaiselle kahdeksalle mittaukselle, vaan mittauspöytäkirjoihin haluttiin kirjoittaa vain tarkasteltavana oleva 5MHz:n kohdalta saadut mittaustulokset sekä 5MHz:n kolmannen harmoonisen (15MHz) kohdalta saadut tulokset. Nämä tulokset saadaan valittua käyttämällä vertailua taulukoissa (Liite 8, kuva 1, kohta 2). Nämä vertailijat käyvät kaikki mitatut mittaustulokset läpi, ja valitsevat niistä 5MHz:n ja 15MHz kohdilla olevat, jonka jälkeen LV tallettaa nämä poimitut tulokset omaan kaksiuolotteiseen taulukkoonsa. /17/

Viimeisenä mittauspöytäkirjan generoinnissa kirjoitetaan Pop-Up kyselyikkunassa annetut tiedot sekä kaksiuolotteisessa taulukossa olevat mittaustulokset samaan Excel-taulukkoon (Liite 8, kuva 1, kohta 3).

#### 4.2.5 Valmiin mittaussovelluksen etupaneeli

Valmiin mittaussovelluksen etupaneeliin on asetettu mahdollisimman vähän painikkeita tai ohjaimia. Tällä edesautetaan sitä, että kokemattomakin käyttäjä pystyy käyttämään sovellusta. Alla olevassa kuvassa 24 on esitettyä mittausjärjestelmän etupaneeli. Etupaneelin osat on numeroitu kuvaan numeroin 1-6. Käytettävä instrumentti, tässä tapauksessa Tektronix RSA 3308A spektrianalysaattori valitaan vasemmassa yläkulmassa olevasta alasetoalistosta (kuva 24, kohta 1). Käyttäjä voi muuttaa mittauksessa käytettävää keskitäajuutta ja spania (kuva 24, kohta 3). Käyttäjä voi myös muuttaa askelmäärää, jonka moottori kääntyy kerrallaan tai muuttaa moottorin ja mittauksen välistä viivettä (kuva 24, kohta 3).

LV piirtää jokaisesta kahdeksasta komponentille tehdystä mittauksesta LV:n etupaneelissa olevaan spektriin, josta käyttäjä voi tarkkailla saatuja mittaustuloksia (Kuva 24, kohta 4). Kuvaajassa näkyvien kursorien arvot näkyvät kuvaajan oikealla puolella olevassa taulukossa (Kuva 24, kohta 5). Toinen kursori on asetettu 5MHz:n kohdalle ja toinen 15MHz:n kohdalle, jolloin käyttäjä saa suoraan tiedon haluttujen mittaustaajuuksien arvoista. Kuvaajan alapuolella oleva virheilmoituskenttä kertoo käyttäjälle jos mittausta suoritettaessa mittausprosessissa on esiintynyt jokin virhe (kuva 24, kohta 6).



Kuva 24: Kelan mittausjärjestelmän ohjaisovelluksen etupaneeli LV 8.0:ssa

## 5. MITTAUSJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

Tässä kappaleessa käsitellään mittausjärjestelmän kehittäminen sen suunnittelusta alkaen ja päättyen itse mittalaitteen rakentamiseen. Kappaleessa käsitellään siis se, miten mittausjärjestelmästä tuli sellainen kuin se tämän dokumentin kirjoitushetkellä on.

### 5.1 MITTAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Aloitettaessa mittausjärjestelmän suunnittelua oli tiedossa vain muutama tieto siitä, millainen mittausjärjestelmän pitäisi olla ja näin ollen tämän tutkintotyön suunnittelu onkin aloitettu lähestulkoon tyhjästä. Ennen tutkintotyön aloitusta ei ollut tiedossa oikeastaan muuta kuin, että magneettikenttää mittaava laite pitäisi saada tehtyä. Oli olemassa vain muutama määrite, jotka mittausjärjestelmän piti täyttää.

Annetut määritteet olivat seuraavat; laitteen piti toimia lähes automaattisesti, jolloin käyttäjän ei tarvitse huolehtia laitteeseen riippuvista asetuksista mittauksen aikana. Tämän automatisoinnin vuoksi ainoa tapa ohjata täytyi olla tietokoneella. Tähän prosessiin tarvittiin sopiva ohjausohjelmisto. Koska työn tilanteella yrityksellä oli jo käytössään Agilent Vee sekä National Instrumentsin LabVIEW, piti sovellus valita näiden kahden sovelluksen väliltä. Ohjelmistojen välille tehtiin laajamittainen vertailuprosessi, joka sisälsi useita erilaisia valintakriteerejä. Muun muassa seuraavanlaisia valintakriteerejä käytettiin; ohjelmiston piti olla helppo opeteltava sellaiselle, joka ei sitä ollut aikaisemmin käyttänyt. Tämä vaatimus oli yksi suurimmista syistä miksi LabVIEW valittiin, sillä LV:ssä käyttöliittymä on täysin graafinen, joka teki siitä huomattavasti helpommin lähestyttävän kuin Agilent Vee, jossa käyttöliittymä oli enemmänkin tekstipohjainen.

Myös laitteistovaatimukset vaikuttivat valintaan, sillä käytössä oli hieman päivitetty käytetty kannettava Dell Latitude tietokone. Vaikka LabVIEW olikin graafinen, sen laitteistovaatimukset olivat pienemmät kuin Agilent Vee:llä ja näin ollen se sopi paremmin mittausjärjestelmän pohjaksi.

Mitattava taajuus valittiin 5MHz:ksi, koska tulevaisuudessa komponentit käyttävät enenemässä määrin taajuuksia lähellä sitä. Tämä taajuus saatiin helposti käyttämällä ulkoista HP 3314A funktiogeneraattoria, josta saatiin syötettyä tarvittava  $1V_{pp}$  amplitudinen 5MHz kanttaalto.

Mittausjärjestelmässä tuli myös käyttää jo olemassa olevaa Tektronix RSA 3308A spektrianalysaattoria ja digitaalista Tektronix TDS5052B oskilloskooppia. Koska Tektronixin spektrianalysaattoria voidaan ohjata siinä olevan GPIB-väylän kautta ja LabVIEWiin oli saatavilla juuri kyseisen sarjan spektrianalysaattorin ohjaamiseen tarvittavat ohjelmointilohkot, spektrianalysaattoria voitiin käyttää hyväksi järjestelmässä.

Mittalaitteen mekaaniset osat rakennutettiin työn tilanneen yrityksen toisessa toimipisteessä, sillä jos mittalaitteen rakentaminen olisi kuulunut tutkintotyöhön, ei tutkintotyö olisi valmistunut ajallaan. Mittalaite valmistettiin täysin annettujen suunnitelmien mukaisesti ja sen suunnittelussa käytiin keskusteluita suoraan mittalaitetta rakentaneiden henkilöiden kanssa. Näissä keskusteluissa mietittiin muun muassa miten ja mistä materiaaleista mittalaite kannattaisi rakentaa, jotta laite täyttäisi kaikki sille asetetut vaatimukset. Mittalaitteen rakentamisesta on kerrottu enemmän kappaleessa 5.2.

Mittausjärjestelmän suunnittelun alkuvaiheessa huomattiin, että ensimmäisenä täytyi löytää laitteeseen sopiva askelmoottori, sillä järjestelmä täytyi rakentaa tämän askelmoottorin ympärille. Seuraavassa kappaleessa on kerrottu askelmoottorille annetuista määritteistä ja askelmoottorille tehdystä valintaprosessista.

### 5.1.1 Askelmoottorin valintaprosessi

Askelmoottorin valintaprosessi alkoi ensimmäisenä, sillä laitteen suunnitelmaa määriteltäessä huomattiin, että laite pitää valmistaa täysin askelmoottorin ympärille, sen asettamien vaatimusten mukaisesti. Tämä syy pysäytti laitteen valmistusprosessin hetkellisesti, eikä sitä voitu jatkaa ennen kuin sopiva askelmoottori oli saatu käsiin. Askelmoottorin valinnalle asetettiin muutama esivaatimus. Ensimmäinen oli luonnollisesti se, että moottori piti saada mahdollisimman nopeasti käsiin, jotta järjestelmän lopullinen muokkaus voitiin aloittaa. Arvioitiin myös se, että moottorin piti mahdollisesti jaksaa kääntää melko raskastakin järjestelmää, jolloin sille asetettiin jatkuvan väännön minimiarvoksi 1-2Nm. Tällaisella vääntömomentilla arveltiin moottorin jaksavan liikuttaa lähes minkäläistä mittausjärjestelmää tahansa. Askelmoottorin piti myös olla ulkoisesti ohjattavissa tietokoneen välityksellä, joten piti olla mahdollista kytkeä se johonkin tietokoneen porteista, mieluiten USB-porttiin. Moottori ei myöskään saanut aiheuttaa ylimääräistä häiriötä mitattavaan magneettikenttään. Näiden esivaatimusten perusteella laitteesta tehtiin ensimmäisiä hahmotelmia, joista yksi on esitetty liitteen 1 kuvassa 1.

Aina kun sopivan oloinen moottori löytyi, sen valmistajalle lähetettiin kysely siitä koska moottoria olisi saatavilla. Usein vastaus oli se, että moottorin toimittamiseen menee vähintään 8 viikkoa. Suurin kilpailija mittausjärjestelmään valitulle JVL Industrin valmistamalle askelmoottorille tuli amerikkalaisen Techno Incorporatedin valmistamista askelmoottorin avulla kääntyvistä tasoista (Rotation Tables). Nämä tasot täyttivät selvästi kaikki moottorille asetetut määritteet, olihan ne suunniteltu käytettäväksi erilaisten painavien leikkuutyökalujen kääntämiseen, kuten sirkkelin aluseksi.

Näitä tasoja käyttämällä mittausjärjestelmästä tehtiin lisää hahmotelmia. Nämä hahmotelmat löytyvät liitteistä 2-4. Hahmotelmista viimeinen (Liite 4, kuva 1) vaikutti erittäin hyvältä toteutettavaksi, mutta valmistajalle lähetettyjen kysymyksiin tarvittavien vastauksien saamiseen meni projektin kannalta liian pitkä aika. Tämän ajan kuluessa löytyi vaihtoehdoksi tanskalainen JVL Industri niminen yritys, joka valmistaa erilaisia

sähkömoottoreita ja ohjaislaitteita mittatilauksena. Etuna JVL:n QuickStep-askelmoottoreissa Techno Inc:n Rotation Tableihin nähden oli se, että asiakas pystyi itse määrittelemään moottorin vaatimukset, jotka yritys sitten täytti mahdollisuuksien mukaan. JVL:n askelmoottorissa oli sisäänrakennettu ohjain, jolloin siihen ei tarvinnut ostaa erikseen mitään ulkoista driver-boksia, toisin kuin Rotation Table olisi tarvinnut. QuickStep-moottori oli myös mahdollista kytkeä tietokoneeseen, joko RS232- tai RS485-sarjaväylän kautta, tai sitten USB-portin kautta käyttämällä erillistä RS232-to-USB-adapteria, kuten tässä mittausjärjestelmässä on tehty. Toimitusaika ja moottorin hinta olivat huomattavasti alhaisempia kuin Techno Inc:n tuotteilla olisi ollut. Esimerkiksi hintaeroa laitteiden välille olisi tullut tuhansia euroja.

Mittausjärjestelmään valittiin USB-väylään liitettävä kaksivaiheinen JVL Industrin MIS234 QuickStep-askelmoottori, jonka kuva on esitetty alla olevassa kuvassa 25. Moottori täytti sille asetetut vaatimukset erinomaisesti, sillä sen toimitusaika oli kilpailijoihinsa nähden erittäin lyhyt, vain muutama viikko. Siinä on myös todella tiivis ja jyrkää alumiininen kotelo, joka eristää ja suojaa moottorin sisäisiä komponentteja. Vääntöä valitussa moottorissa on 2.5Nm ja sitä voidaan ohjata LabVIEW:n välityksellä.



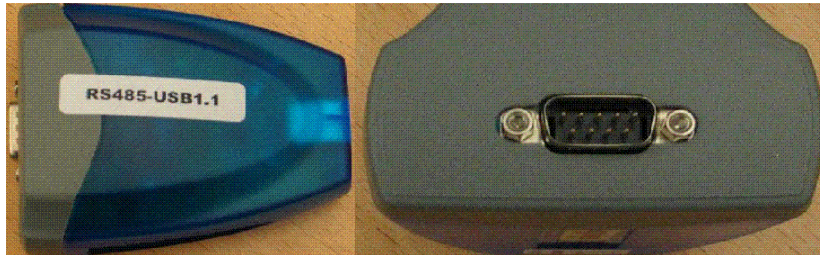
Kuva 25: JVL Industri:n MIS234 QuickStep-askelmoottori

### 5.1.2 Askelmoottorin toiminta järjestelmässä

Tässä mittausjärjestelmässä askelmoottori kääntää mitattavaa komponenttia halutun kulman kerrallaan siten, että koko komponentti saadaan mitattua. Tässä tutkintotyössä olevissa mittauksissa mittaus haluttiin suorittaa kahdeksan kertaa jokaiselle komponentille. Koska täydessä ympyrässä on 360 astetta, näin ollen moottorin pitää pysähtyä 45 asteen välein. Valitussa JVL Industrin QuickStep-askelmoottorissa yksi täysi kierros sisältää 1600 askelta. Tämä tarkoittaa sitä, että asteluku 45 vastaa moottorille 200 askelta. Tämän vuoksi moottori kääntyy ennen jokaista mittausta 200 askelta.

Jotta askelmoottori toimisi mittausjärjestelmässä halutulla tavalla, sen kytkemiseen tarvitaan seuraavaksi esitellyt komponentit. Mittausjärjestelmän toimintaan tarvitaan kannettava tietokone, jossa täytyy olla vähintään yksi vapaa USB-portti, JVL MIS234-

askelmoottori, USB-hub ja RS485-to-USB-adapteri. Näistä muut ovat välttämättömiä paitsi USB-hub, jota tarvitaan tuomaan kannettavaan tietokoneeseen lisää USB-portteja, sillä kannettavan kaksi kappaletta eivät millään riitä kaikkien instrumenttien, moottorin ja kannettavan hiiren kytkemiseen. Koska kannettavassa tietokoneessa ei ole sarjaporttia, pitää moottorilta tuleva sarjamuotoinen data muuttaa sellaiseksi, että USB-portti ymmärtää sen oikein. Tämä datan muuttaminen tapahtuu RS485-to-USB-adapterissa. Alla olevassa kuvassa 26 on esitetty mittausjärjestelmässä käytetty RS485-to-USB-adapteri.



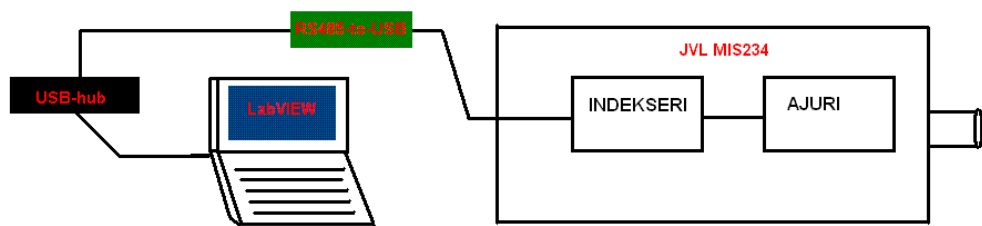
Kuva 26: Mittausjärjestelmässä käytetty RS485-to-USB-adapteri

Mittausjärjestelmässä käytetyn seitsenporttisen USB-hubin on valmistanut Targus. Tähän hubiin liitetään askelmoottorin lisäksi myös spektrianalysaattori ja ulkopuolinen USB-hiiri, jolloin kaikki tietokoneen kytkennät ovat keskitettynä samaan paikkaan eikä koneeseen tarvitse liittää kuin yksi USB-kaapeli. Mittausjärjestelmässä käytetty USB-hub on esitetty alla olevassa kuvassa 27.



Kuva 27: Mittausjärjestelmässä käytetty Targusin valmistama USB-hubi

JVL MIS234 askelmoottorin kytkemisestä kannettavaan tietokoneeseen piirretty kuva on esitetty alla olevassa kuvassa 28.



Kuva 28: JVL MIS234 kytkeminen kannettavaan tietokoneeseen

## 5.2 MITTAUSJÄRJESTELMÄN RAKENTAMINEN

Itse fyysisen mittauslaitteen rakentaminen ei kuulunut tutkintotyöhön, sillä sen rakentamiseen olisi kulunut hyvin monta työtuntia, eikä tutkintotyö olisi millään valmistunut ajallaan. Mittalaitteen rakensivat prototyyppien rakentamiseen perehtyneet henkilöt työn tilanteen yrityksen toisessa toimipisteessä. Mittalaite rakennettiin lähes täysin suunnitelmissa esitettyjen toiveiden mukaisesti. Laitteen rakentaneet henkilöt eivät joutuneet tekemään juurikaan muutoksia suunnitteluissa päätettyihin ratkaisuihin.

Koska mittalaitteella oli tarkoitus mitata kelassa syntyvää magneettikenttää, mittalaitteen rakentamisessa täytyi käyttää mahdollisimman vähän metallisia materiaaleja, jotta magneettikentän voimakkuuteen tai suuntaan ei vaikutettu näillä ulkosilla tekijöillä. Tämän vuoksi mittalaitteen valmistamiseen käytettiin täysin muovia, pois lukien kaksi alumiinista hammaspyörää. Toinen näistä hammaspyöristä sijoitettiin riittävän kauas mittapään alapuolelle, ja toinen on liitetty askelmoottorin akseliin. Rakentamisessa huomioitiin myös askelmoottorista mahdollisesti johtuvat erilaiset häiriöt, kuten ylimääräiset magneettikentät. Näiden häiriöiden vuoksi moottori päätettiin sijoittaa mahdollisimman kauas lähikenttämittapäästä. Hammaspyörät yhdistettiin toisiinsa mittatilauksena valmistetun kumisen vetohihnan välityksellä.

Valmis mittalaite on esitetty alla olevassa kuvassa 29. Kuvaan on selvennyksen vuoksi kirjoitettu lähikenttämittapään eli proben, mitattavan kelan sekä kanttiaalto syöttävän kaapelin sijainnit.



Kuva 29: Kuva valmiista mittalaitteesta

## 6. MITTAUSMENETELMÄT

Ennen ensimmäisen mittauksen suorittamista on tehtävä joitakin esivalmisteluja. Vasta tämän jälkeen mittalaite on valmis käytettäväksi. Tässä kappaleessa käsitellään mittalaitteelle tehtävät esivalmistelut ja selostetaan kuinka mittaus pääpiirteittäin suoritetaan. Yksityiskohtaista mittaushjetta ei tässä työssä esitetä.

Tutkintotyössä vertaillaan kolmen eri valmistajan (nimetty: Valmistaja 1, Valmistaja 2 ja Valmistaja 3) valmistamien 10  $\mu H$  suuruisten kelojen magneettikentissä olevia eroja. Jokaiselle komponentille on tehty samat esivalmistelut kuin kappaleessa 6.1 on esitetty, ja jokainen komponentti mitattu täsmälleen samalla tavalla kuin kappaleessa 6.2 on esitetty. Kappaleissa 6.1 ja 6.2 ei käsitellä näitä mittauksia sen tarkemmin, vaan lähempi mitausten tarkastelu suoritetaan vasta tulosten käsittelyn yhteydessä kappaleessa 7.

### 6.1 Mittauksen esivalmistelut

Ennen kuin mittausjärjestelmää voidaan käyttää mittaamiseen, täytyy siihen tehdä tiettyjä esivalmisteluita. Näihin esivalmisteluihin luetaan mittauksessa tarvittavien instrumenttien ja askelmoottorin asettaminen toimintavalmiuteen, mittaushjelmiston käynnistäminen sekä mittalaitetta mittaukseen valmistelevat toiminnot. Mittaukselle ei ole merkityksellistä missä järjestyksessä mittauksia valmistelevat toiminnot suoritetaan, kunhan ne kaikki on suoritettu erillisten ohjeiden mukaisesti.

Ensiksi askelmoottoriin täytyy syöttää sen tarvitsemat tasajännitetasot 24VDC ja 48VDC. Nämä jännitetasot tuotetaan käyttämällä TTi:n EX752M Multi-Mode-jännitelähdettä, joka kytketään askelmoottoriin käyttämällä JVL:n valmistamaa kaapelia. Ennen jännitteiden päälle kytkemistä täytyy varmistaa, että askelmoottori on yhdistetty tietokoneeseen oikeaoppisesti. Ohjauskaapeli kytketään tietokoneen USB-porttiin ulkoisien RS485-to-USB-adapterin ja USB-hubin kautta. Tähän kytkentään käytetään USB-hubille saakka JVL:n valmistamia ohjauskaapeleita. USB-hub yhdistetään kannettavaan tietokoneeseen USB-hubin mukana tulleen USB2.0-kaapelin kautta.

Seuraavaksi kytketään Tektronixin TDS5052B digitaalinen oskilloskooppi päälle. Oskilloskooppi on mittausjärjestelmän ainoa niin sanotusti erillinen instrumentti, sillä sitä ei ole yhdistetty mitenkään toisiin instrumentteihin vaan sillä suoritettavat mitattavien komponenttien toiminnan tarkistukset käyttäjä suorittaa yksinkertaisimmin henkilökohtaisesti.

Samalla kun oskilloskooppi käynnistyy, yhdistetään RSA3308A spektrianalysaattori tietokoneeseen. Koska spektrianalysaattoria ohjataan siinä olevan GPIB-väylän kautta, eikä tavallisimmissa kannettavissa tietokoneissa ole GPIB-porttia, täytyy GPIB-väylän data muuttaa USB-väylälle sopivaksi. Tämä muutos tapahtuu mittausjärjestelmässä National Instrumentsin valmistamalla ulkoisella GPIB-to-USB-adapterilla (kuva 30). Adapteriin



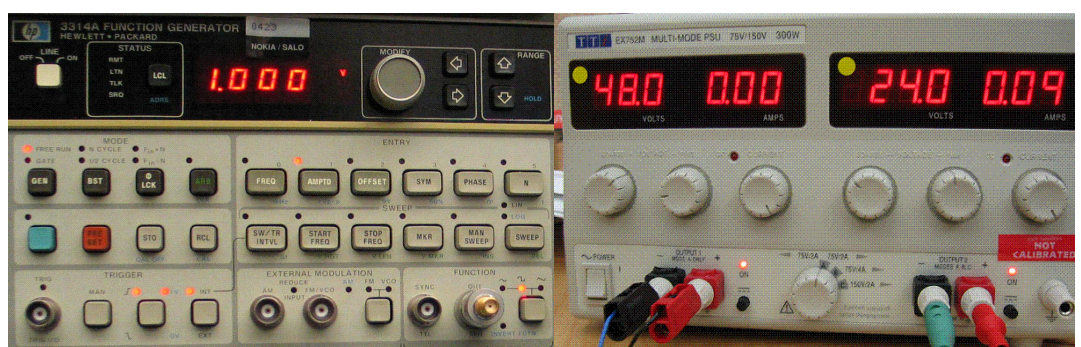
kytetään spektrianalyssaattorilta tuleva GPIB-kaapeli. Adapteri muuttaa spektrianalyssaattorilta tulevan datan sellaiseen muotoon, että USB-väylä ymmärtää sitä. Adapterin USB-liitin liitetään tietokoneessa kiinni olevaan USB-hubiin. Näin spektrianalyssaattori on valmis tietokoneella ohjattavaksi heti kun se käynnistetään seuraavan kerran.



Kuva 30: National Instrumentsin GPIB-to-USB-adapteri

Oskilloskooppi ja spektrianalyssaattori tekevät käynnistyessään automaattisesti itse-testin (self-test), jonka jälkeen ne kytkeytyvät valmiustilaan odottamaan mittausta. Edellä mainittujen instrumenttien käynnistyessä ja laitteiden tehdessä itse-testiä, kytetään funktio-generaattori päälle. Kuten spektrianalyssaattori ja oskilloskoopikin, myös HP:n 3314A funktiogeneraattori tekee käynnistyessään automaattisen itse-testin. Itse-testin valmistuttua, asetetaan funktiogeneraattori syöttämään tarvittavaa 5MHz:in taajuista kanttiaaltoa, jonka amplitudi on  $1 V_{pp}$ .

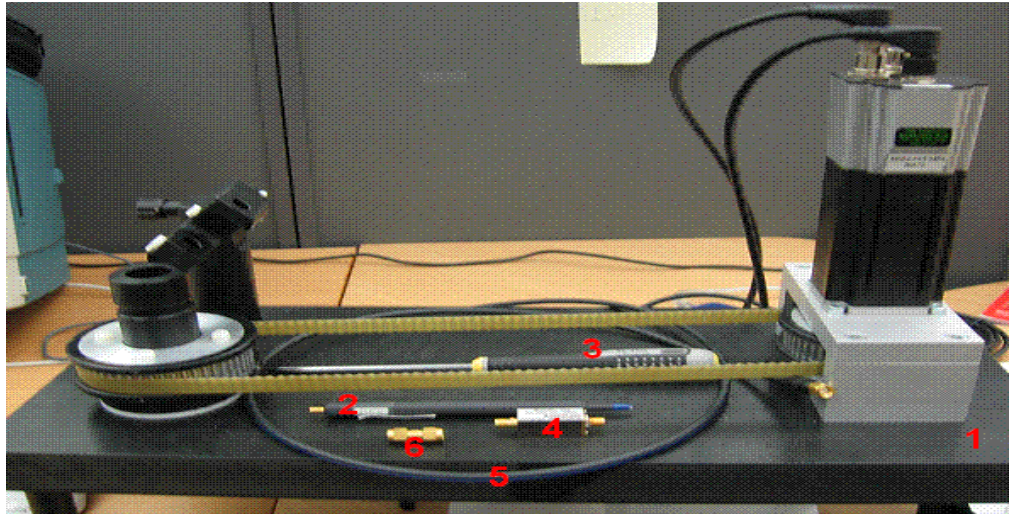
Alla olevasta kuvasta 31 näkyvät funktiogeneraattorin sekä TTI:n jännitelähteen etupaneelit sen jälkeen kun niihin on tehty tarvittavat asetukset.



Kuva 31: Funktiogeneraattorin (vasemmalla) ja TTI:n jännitelähteen (oikealla) etupaneelit asetusten jälkeen

Kun mittausjärjestelmässä käytettävien instrumenttien asetukset on tehty ja instrumentit ovat valmiita mittaukseen, voidaan tehdä esivalmisteluita mittalaitteelle. Nämä esivalmistelut täytyy tehdä erittäin huolellisesti, jotta mittaukset onnistuisivat ja mittauksista tuloksia ei tulisi eroavuuksia eri mittauksissa.

Alla olevassa kuvassa 32 on esitettyä kaikki komponentit, jotka tarvitaan mittalaitteen esivalmisteluissa.



Kuva 32: Mittalaitteen esivalmisteluissa tarvittavat komponentit

Mittalaitteeseen (kuva 32, kohta 1) syötetään funktiogeneraattorilta 5MHz:in kanttaaltoa Huber-Suhnerin valmistaman EF400 RF-kaapelin (kuva 32, kohta 5) kautta. EF400 RF-kaapeli pujotetaan mittalaitteen pohjapuolta komponentin pidikeputken läpi (kuva 33), jonka jälkeen siihen liitetään Sage Laboratories:in valmistama 345-rotary joint. Rotary Jointiin liitetään Huber-Suhner:in valmistama SMA (Male)-to-SMA (Male)-adapteri.



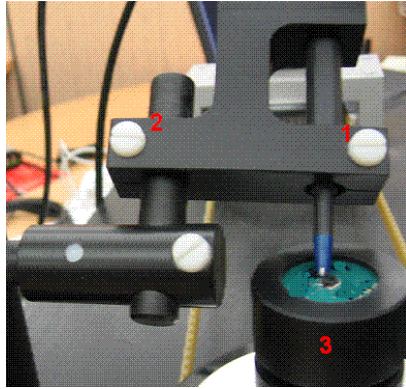
Kuva 33: RF-kaapeli täytyy ujuttaa komponentin pidikeputken läpi mittalaitteen pohjapuolelta.

Tähän adapteriin kiinnitetään piirilevy, jossa mitattava komponentti on kiinni. Kun piirilevy on kiinnitetty SMA-adapteriin, lukitaan piirilevy komponentin pidikeputken kiertämällä sen päälle komponentin pidikeputken kansi (kuva 34, kohta 3). Kannen kiinnityksen jälkeen komponentti on lukittu niin, että mittaus tältä osin voidaan suorittaa.

Ennen kuin mittalaite on täysin valmis mittaukseen, täytyy lähikenttämittapää (kuva 32, kohta 2) asettaa oikeaan asentoon mitattavaan komponenttiin nähden. Mittapään kulma täytyy olla 45 astetta piirilevyn nähden. Mittapään asettamisessa paikoilleen täytyy huomioida kaksi ennalta määrättyä etäisyyttä, mittapään etäisyys komponentista sekä piirilevyn pinnasta. Mittapään etäisyys komponenttiin täytyy olla 1.2mm, joka saadaan

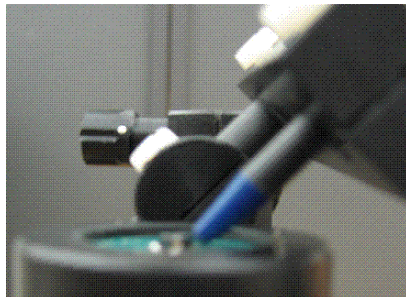
mitattua tarkasti rakotulkin avulla. Tämä etäisyys voidaan säätää löysäämällä kuvan 34 ruuvia 2, jonka jälkeen mittapään pidikettä on mahdollista säätää x- ja y-suunnassa. Kun etäisyys on säädetty, ruuvi 2 tulee kiristää sormikireyteen.

Mittapään etäisyys piirilevyn pinnasta on oltava tarkalleen 0.4mm. Etäisyys asetetaan löysäämällä kuvan 34 ruuvia 1, jonka jälkeen mittapäättä on mahdollisuus säätää y-akseliin nähden. Sen jälkeen kun etäisyys on asetettu, täytyy ruuvi 1 kiristää sormikireyteen.



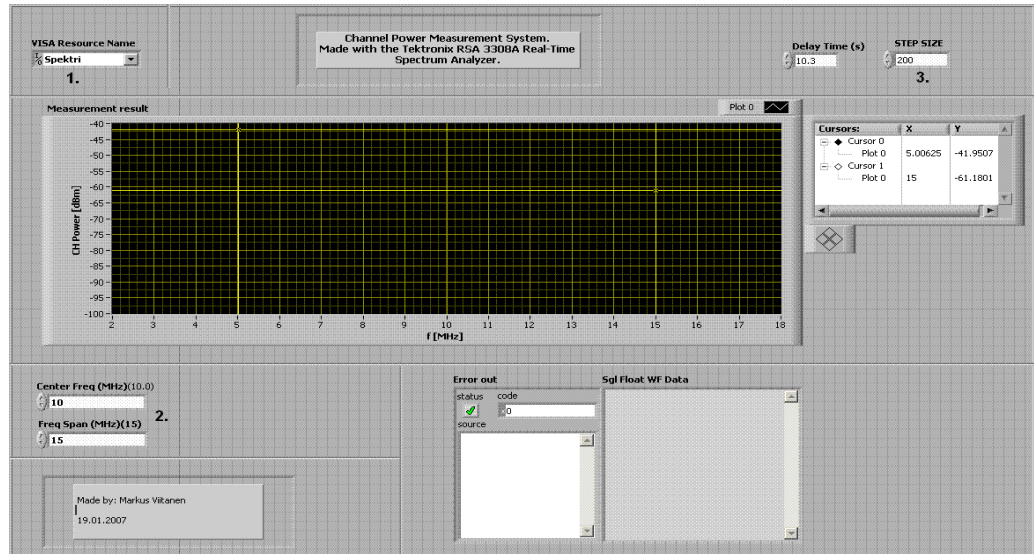
Kuva 34: Mittapään asettaminen mittausta varten

Kun yllä mainitut asetukset on tehty, mittapään asento mitattavaan komponenttiin nähden pitäisi olla kuvan 35 mukainen.



Kuva 35: Mittapään asento mittausta varten

Kun kaikki yllä olevat esivalmistelut on tehty, käynnistetään tietokoneelta mittaussovellus. Mittaussovelluksen etupaneelista täytyy tarkistaa, että sen asetukset ovat kunnossa. Asetuksissa pitää varmistaa, että sovelluksella ohjataan oikeata mittalaitetta (kuva 36, kohta 1). Etupaneelista täytyy tarkistaa myös, että mitattava taajuusalue on oikea. Koska mittauksessa halutaan mitata 5MHz:ia ja 15MHz:ia, keskitäajuus on hyvä olla asetettuna 10MHz:iin spanin ollessa 15MHz:ia (kuva 36, kohta 2). Lopuksi on myös hyvä tarkistaa, että askelluku on oikea, tässä tapauksessa 200 askelta (kuva 36, kohta 3).



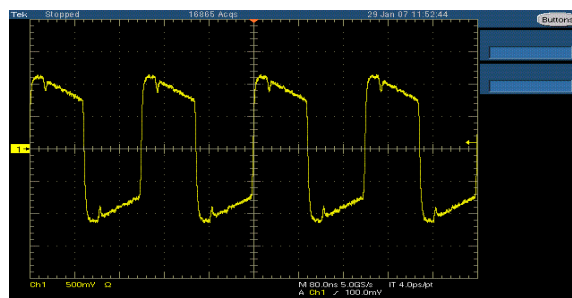
Kuva 36: Mittaussovelluksen asetusten tarkistaminen

Näiden esivalmisteluiden jälkeen mittausjärjestelmä on valmis käytettäväksi. Mittauksen suorittaminen on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.2.

## 6.2 Mittauksen suorittaminen

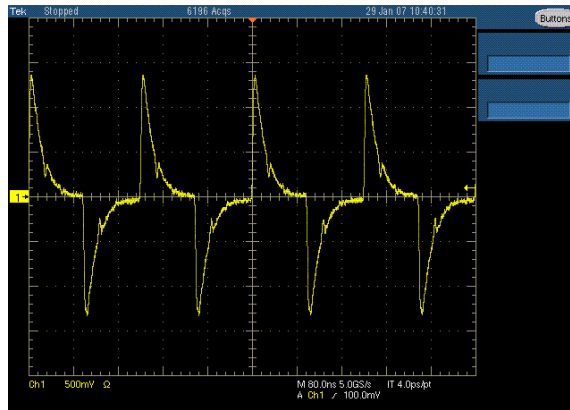
Mittauksien suorittamisen voi aloittaa vasta sen jälkeen, kun kappaleessa 6.1 esitetyt esivalmistelut on suoritettu. Ennen mittauksen aloittamista mitattava komponentti täytyy kääntää käsin sellaiseen asentoon, että komponentissa oleva maa-merkintä on kohdistettu kohti lähikenttämittapäätä. Näin tämä asento/kohta määritetään askelmoottorin nolla-kohdaksi, johon askelmoottori kääntyy ennen seuraavia mittauksia. Tällöin jokainen mittaus alkaa aina samasta askelkohdasta. Askelmoottori ei käänny tähän kohtaan jos moottorilta katkaistaan käyttöjännite, vaan nollakohta täytyy määrittää uudestaan jokaisen käyttö-jännitteen kytkemiskerran jälkeen.

Ensimmäiseksi täytyy varmistaa, että komponentti toimii kuten pitää. Tämä tarkistus tapahtuu oskilloskoopilla. Oskilloskoopilla mitataan komponentin maa- ja signaalijalkojen välistä signaali. Signaalin täytyy muistuttaa kanttiaaltoa, mutta pienet häiriöt signaalissa sallitaan. Alla olevassa kuvassa 37 on esitetty signaali, joka on mitattu  $10 \mu H$  kelasta.



Kuva 37:  $10 \mu H$  kelasta mitattu signaali

Mittausta tehdessä täytyy huomioida, että erikokoisilla keloilla signaalinmuoto vaihtelee huomattavasti, eikä näitä muutoksia pidä tulkita virheinä. Kuvassa 38 on vertailun vuoksi esitetty  $1\ \mu H$  kelan signaali oskilloskoopilla mitattuna. Kuvasta voidaan nähdä, että mitä pienempää kelaä mitataan, sitä nopeampi on myös signaalin laskuaika. Jos jännite kelan yli laskee nolnaan, on kelan virta huipussaan ja signaalilähde näkee kuorman oikosulkuna. Tämän seurauksena on vaarana signaaligeneraattorin ylikuormittaminen. Tällaisissa tapauksissa pitää muuttaa käytettävää mittaustajuuutta suuremmaksi, jolloin kelan virta ei ehdi nousemaan huippuunsa ja kelan yli on jännitettä koko puolijakson ajan.



Kuva 38:  $1\ \mu H$  kelasta mitattu signaali

Kun on todettu, että mitattava komponentti toimii oikein, voidaan oskilloskooppi irroittaa mittavasta komponentista. Tämän jälkeen mittausprosessissa voidaan edetä itse mittaukseen LabVIEW:llä. Mittaus aloitetaan LV:n käynnistä painikkeella, jonka jälkeen LV antaa Pop-Up-kyselyikkunan (kuva 39), jonka kenttiin on suositeltavaa täyttää tietoja mittauksesta.

Kuva 39: Mittauksen tiedoilla täytetty Pop-Up-kyselyikkuna

Kun ikkunaan on täytetty tarvittavat tiedot, ikkuna kuitataan OK-painikkeella, jonka jälkeen LV alkaa suorittaa mittauksia. Nyt LV mittaa automaattisesti koko komponentin.

Mittaustuloksia on mahdollista tarkkailla LV:n etupaneelissa olevasta spektri-kuvaajasta ja siinä olevista kursoreista. Kuvaajaan haetaan spektrianalysointilta mittaustulokset jokaisesta suoritetusta mittauksesta.

Kun LV on suorittanut kaikki kahdeksan mittausta, se generoi automaattisesti Microsoft Excel-muotoisen mittauspöytäkirjan Pop-Up-kyselyikkunassa annettujen tietojen ja mitattujen tuloksien mukaan. Tämän mittauspöytäkirjan LV tallettaa ennalta kiintolevyille määrättyyn hakemistoon siten, että yksikään raportti ei tallennu toistensa päälle. Mittaustulokset on käsitelty tarkemmin kappaleessa 7.

Mittauksen valmistuttua käyttäjä voi suorittaa mittauksen uudestaan samalla komponentilla tai vaihtaa komponentin uuteen ja vasta tämän jälkeen suorittaa mittauksen.

## 7. MITTAUSTULOKSET

Suora vertaaminen eri valmistajien valmistamien kelojen kesken ei ole mahdollista, vaikka mitatut tulokset antavat myös hieman suuntaa absoluuttisista arvoista. Absoluuttisten säteilyarvojen tarkempaa vertailua varten on näiden mittausten tueksi tehtävä tarkempia tutkimuksia. On myös huomattava, että magneettivuot koostuvat periaatteessa eri suuntaisista vektoreista, joten eri etäisyydellä ja/tai korkeudella muuttuvat magneettivuovektoreiden suunnat. Tämän vuoksi on erittäin tärkeää, että mittaukset suoritetaan aina samalta etäisyydeltä ja korkeudelta. Tämä täytyy huomioida, sillä jos toinen tai jopa molemmat näistä etäisyyksistä muuttuvat mittausten välillä, voivat myös mittaustulokset muuttua huomattavasta, eivätkä tällöin saadut tulokset ole enää vertailtavissa keskenään.

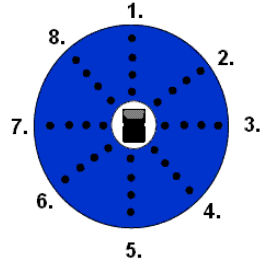
Tässä kappaleessa käsitellään ensin lyhyesti LabVIEWin generoiman mittauspöytäkirjan sisältö. Tämän jälkeen käsitellään valmistajien 1-3 keloilla tehdyt mittaustulokset. Lopuksi tarkastellaan kuinka komponentin vaurioittaminen ja komponentin sijoittaminen väärinpäin padille vaikuttavat mittaustulokseen. Lopuksi tarkastellaan myös, miten mittauskorkeus ja etäisyys vaikuttavat mittaustuloksiin.

### 7.1 Mittauspöytäkirjan sisältö ja tuloksien viimeistely

Mittauspöytäkirja on aina samannäköinen taulukkodokumentti. Raportti on jaettu kahteen osaan: mittauksen tietoihin ja mittaustuloksiin. Taulukon vasemmassa yläkulmassa oleviin soluihin on talletettu tiedot, jotka käyttäjä on antanut Pop-Up-kyselyikkunassa ennen mittauksen aloittamista. Näihin informaatioloseluihin on talletettu tiedot mittaajasta sekä mittauspäivästä ja -kellonajasta. Näissä soluissa on myös kenttä yrityksen komponentille antamalle koodille (Company Code) ja komponentin valmistajalle (Manufacturer). Sample Number-kenttään syötetään arvo sen perusteella, kuinka monta kertaa on mitattu komponenttia, jolla on sama Company Code. Esimerkiksi jos Sample Number on 4, on saman Company Coden omaavaa komponenttia mitattu neljä eri yksilöä.

Kommentti-solun (Comments) kautta tallettuu mittauspöytäkirjaan käyttäjän mittauksesta antamia kommentteja.

Position Marker-solu kertoo sen mittauspisteen numeron, mistä mittaus on aloitettu. Yleensä pyritään siihen, että mittaus aloitetaan kelan maa-puolelta. Maa-puoli on merkattu useimpiin pintaliitoskeloihin joko harmaalla viivalla (kuva 40), tai tummalla pisteellä. Tämä mittauspiste on määritetty pisteeksi 1. Jos mittaus aloitetaan jostain muusta mittauspisteestä, täytyy Position Marker numeroida sen pisteen mukaan numeroilla 1-8. Tämän numeroinnin mukaan mittaustuloksia on mahdollista vertailla keskenään, kun tiedetään miten päin mitattu kenttä sijoittuu komponenttiin nähden.



Kuva 40: Kelan maa-puoli merkataan useimpiin pintaliitoskeloihin harmaalla viivalla tai pisteellä. Mittauspisteiden numerointi kulkee 1:stä 8:aan.

Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty kuinka mittaustiedot on esitetty LabVIEWin mittauspöytäkirjassa.

Taulukko 1: Mittaustietojen esitys mittauspöytäkirjassa

Measurement Maker	Mittauksen Tekijä	
Date	26.02.2007	15:28
Company Code	Yrityksen komponentille antama koodi	
Manufacturer	Komponentin valmistaja	
Manufacturers Code for the component	Valmistajan komponentille määrittämä koodi	
Sample Number	2 (Kuinka mones kappale yhden valmistajan samalla komponenttikoodilla olevaa komponenttia on käytetty mittauksessa)	
Comments	Käyttäjän mittauksesta antamia kommentteja talletuu tähän soluun	
Position Marker	1	

Näiden tulosten alapuolelta löytyvät mitatun komponentin mittaustulokset. Tuloksia täytyy lukea niin, että jokainen sarake ilmoittaa yhden mittauspisteen tuloksen. Koska jokainen mittaus sisältää kahdeksan mittauspistettä, on mittaustuloksiakin kahdeksassa sarakkeessa. Ensimmäisen sarakkeen ensimmäisessä solussa näkyy se miltä taajuudelta tulos on saatu. Numero 5 tarkoittaa, että ensimmäisen sarakkeen toisessa solussa oleva tulos on otettu 5MHz:n kohdalta. Ensimmäisen sarakkeen kolmannessa solussa oleva numero 15 puolestaan tarkoittaa, että neljännessä solussa oleva tulos on otettu 15MHz:n kohdalta. Data-arvot toisissa ja neljänsissä soluissa ovat dBm-arvoja.

Jokaisen sarakkeen alimmaisat solut ovat juoksevia numeroita, ja ne ilmoittavat kuinka monta mittauspistettä on suoritettu sen jälkeen kun LabVIEW on käynnistetty edellisen kerran. Taulukossa 2 on esitetty esimerkki siitä miltä mittaustulokset näyttävät. Nämä arvot ovat vain esimerkkejä, eikä niitä näin ollen voida verrata mihinkään muihin mittaustuloksiin.



Taulukko 2: Esimerkki mittaustulosten esitystavasta

5	5	5	5	5	5	5	5
-36.695	-35.632	-34.915	-35.732	-38.206	-37.85	-37.921	-36.263
15	15	15	15	15	15	15	15
-55.808	-54.836	-54.061	-54.864	-57.346	-57.092	-56.922	-55.354
1	2	3	4	5	6	7	8

## 7.2 Mittaukset (Valmistaja 1-3)

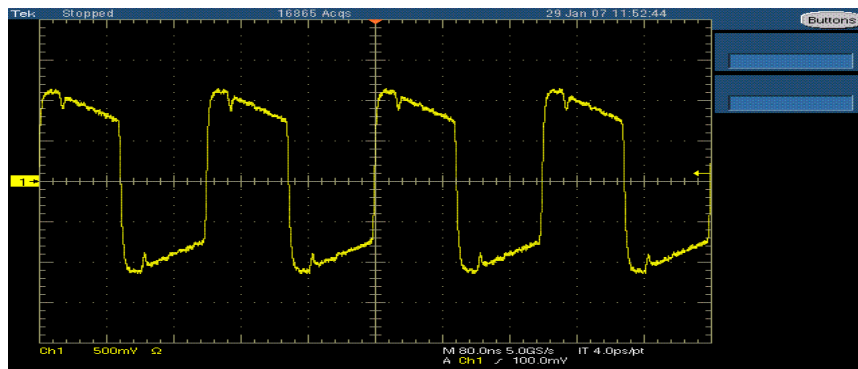
Komponentit juotettiin piirilevyjen keskelle samalla juotoskerralla. Mittaukset valmistajien 1-3  $10 \mu H$  keloille suoritettiin samalla tavalla jokaiselle komponentille ja mittaukset suoritettiin ajallisesti niin lähellä toisiaan kuin mahdollista. Jokaisen juotoksen ja mittauksen suoritti sama henkilö. Näillä menetelmillä pyrittiin minimoimaan eri menettelyistä johtuvia muutoksia.

Jokaisen kelan toimivuus mitattiin ensin oskilloskoopilla ja oskilloskoopin näytöllä olevasta signaalista otettiin kuvakaappaus. Tämä kuvakaappaus liitettiin myöhemmin mittauspöytäkirjaan.

Mittaustiedoista taulukoissa 3, 5 ja 7 on huomioitava, että niissä olevat yritykseen, tai komponentin valmistajaan liittyvät tiedot eivät ole todellisia vaan näihin kenttiin on syötetty muita keksittyjä tietoja. Tämä on tehty siksi, että tutkintotyön tilaaja ei halunnut paljastaa keitä valmistajia mittauksissa vertaillaan. Tämän vuoksi valmistajat on jätetty paljastamatta ja mainittu vain nimin Valmistaja 1-3.

Mittaukset aloitettiin Valmistajan 1 valmistamalla  $10 \mu H$  kelalla.

Kelasta mitattiin sen läpi kulkevan signaalinmuoto oskilloskoopilla (kuva 41). Kuvasta voidaan nähdä, että kelan yli muodostunut jännite käyttäytyy odotetulla tavalla ja sen amplitudi on oikea.



Kuva 41: Valmistajan 1 kelan läpi kulkevan signaalin muoto

Tämän jälkeen mittaus LabVIEWillä aloitettiin. Valmistajan 1  $10\ \mu H$  kelalle ennen mittausta Pop-Up-kyselyikkunassa annetut tiedot näkyvät taulukossa 3. Taulukko 3 on otettu suoraan Valmistajan 1  $10\ \mu H$  kelan mittauspöytäkirjasta.

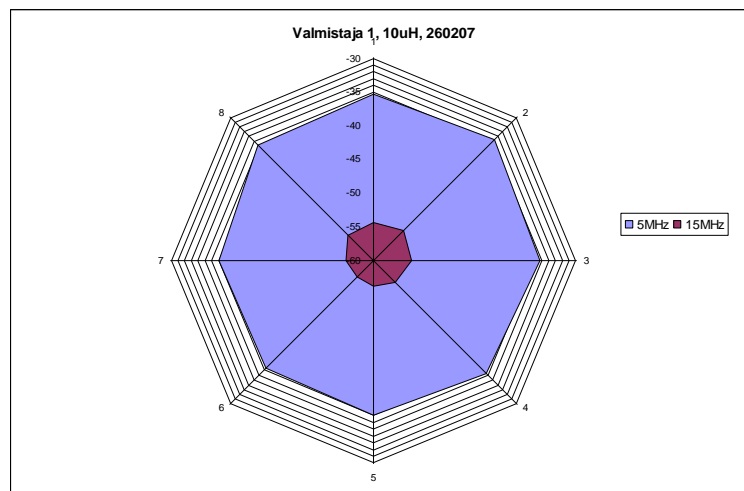
Taulukko 3: Valmistajan 1  $10\ \mu H$  kelalle suoritettulle mittaukselle annetut tiedot

Measurement Maker:	Viitanen Markus	
Date and Time:	29.01.2007	11:59
Company Code:	200207	
Manufacturer:	Valmistaja 1	
Manufacturers Code:	260207	
Sample Number:	S1	
Direction Mark:	1	
Comments:	Valmistaja 1: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia ei modifioitu.	

Mittauksen valmistuttua, mittauspöytäkirjasta tarkastettiin saadut mittaustulokset (taulukko 4), jonka jälkeen saaduista tuloksista piirrettiin Microsoft Excelillä alla näkyvä kuvaaja 1.

Taulukko 4: Valmistajan 1  $10\ \mu H$  kelalle saadut mittaustulokset

5	5	5	5	5	5	5	5
-35.344	-34.731	-35.441	-36.407	-37.166	-37.567	-37.096	-35.876
15	15	15	15	15	15	15	15
-54.373	-53.657	-54.31	-55.479	-56.168	-56.496	-55.947	-54.802
1	2	3	4	5	6	7	8

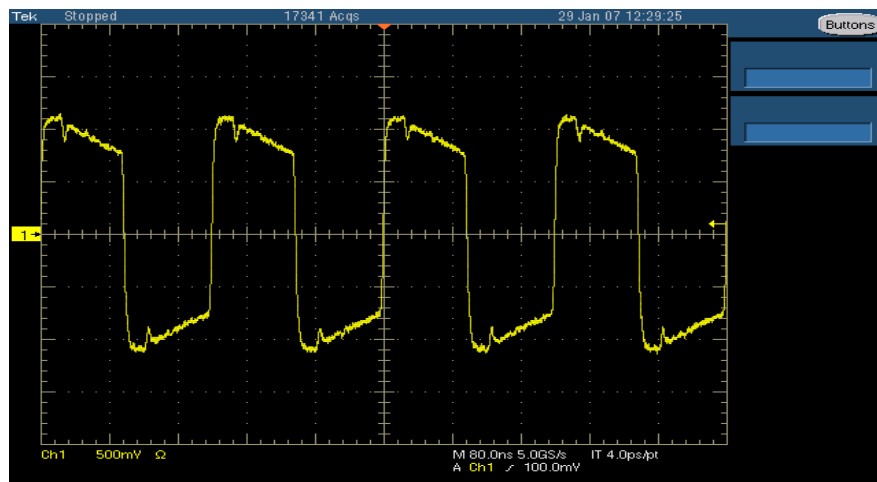


Kuvaaja 1: Valmistajan 1  $10\ \mu H$  kelan magneettikenttä 5MHz:llä ja 15MHz:llä

Kuvaajassa näkyy sinisellä 5MHz:stä mitatun magneettikentän voimakkuuden suuntakuvaaja. Punaisella näkyy sama tulos, mutta 15MHz:n kohdalta mitattuna. Kuvaajasta 1 voidaan nähdä, että komponentti on ollut sijoitettuna hieman oikealle, koska mitattu magneettikentänvoimakkuuden suuntakuvaaja on hieman siirtynyt oikealle. Muuten mitattu magneettikenttä näyttää olevan hyvin tasainen ja symmetrinen, eikä näin ollen mihinkään suuntaan ole havaittavissa suurempaa magneettikentän voimakkuuden vaihtelua.

Kokonainen mittauspöytäkirja Valmistajan 1  $10\ \mu H$  kelalle on liitetty liitteeseen 9.

Kun Valmistajan 1 kela saatiin mitattua, vaihdettiin tilalle Valmistajan 2 samat ominaisarvot omaava  $10\ \mu H$  kela. Tästäkin kelasta mitattiin ensiksi oskilloskoopilla sen läpi kulkevan signaalin muoto (kuva 42). Kuvasta nähdään, että signaali on hyvin samanmuotoista kuin oli Valmistajan 1 valmistamalla  $10\ \mu H$  kelallakin ja näin sen pitääkin olla. Signaalissa näkyy hieman häiriöitä, jotka luultavimmin johtuvat maadoituksessa olevista epäjatkatavuuskohdista.



Kuva 42: Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelan läpi kulkevan signaalin muoto

Kun oli todettu, että komponentti toimii niin kuin sen pitää, jatkettiin kelan mittausta LabVIEWillä. Ennen Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelan mittauksen suorittamista Pop-Up-kyselyikkunassa annetut tiedot näkyvät taulukossa 5.

Taulukko 5: Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle suoritettulle mittaukselle annetut tiedot

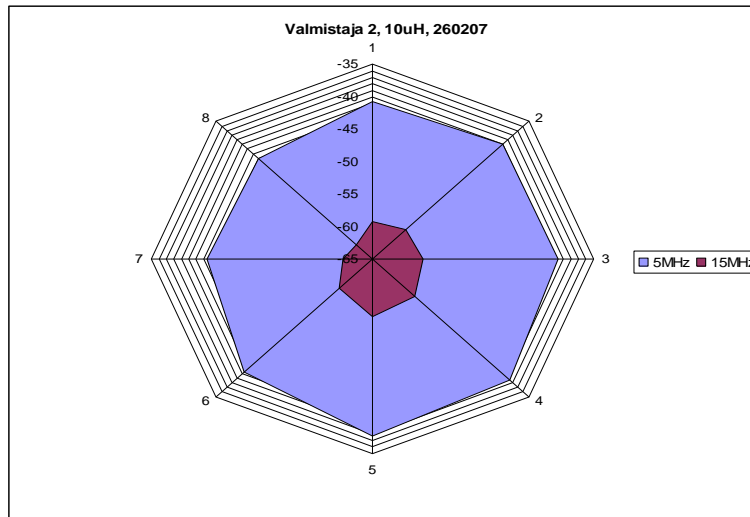
Measurement Maker:	Viitanen Markus	
Date and Time:	29.01.2007	12:39
Company Code:	200207	
Manufacturer:	Valmistaja 2	
Manufacturers Code:	260207	
Sample Number:	S1	
Direction Mark:	1	
Comments:	Valmistaja 2: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia ei modifioitu.	

Kun mittaus oli saatu suoritettua, tarkastettiin, että mittaustuloksissa ei näy mitään mikä viittaisi mittauksen epäonnistumiseen, kuten ilman mittaustulosta jääneitä mittauspisteitä. Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle saadut mittaustulokset on esitetty alla olevassa taulukossa 6.

Taulukko 6: Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle saadut mittaustulokset

5	5	5	5	5	5	5	5
-40.764	-40.127	-39.771	-38.61	-37.77	-40.373	-42.573	-43.085
15	15	15	15	15	15	15	15
-59.232	-58.674	-58.158	-56.951	-56.053	-58.758	-61.078	-61.848
56	57	58	59	60	61	62	63

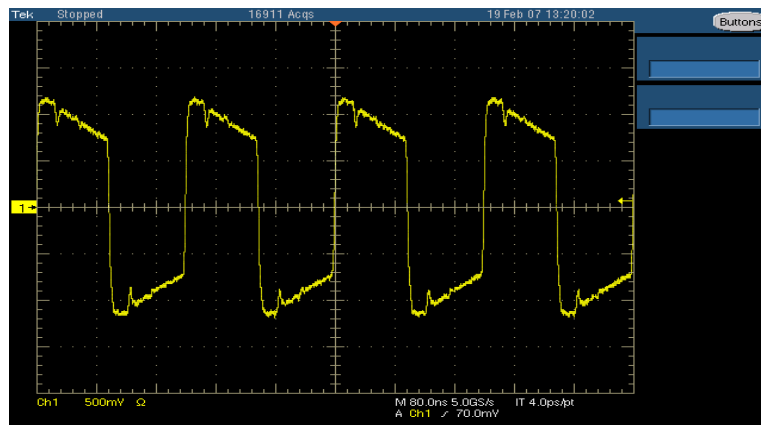
Seuraavaksi näistä mittaustuloksista piirrettiin kuvaaja 2. Kuvaajasta nähdään, että komponentti oli jälleen sijoittunut padissa hieman oikealle, sillä mitatun kentän keskikohta ei taaskaan sijaitse y-akselin kohdassa. Oleellisempi huomio tuloksessa on se, että Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelan säteilemän magneettikentän voimakkuus 15 MHz:lla on selvästi pienempi mittauspisteiden 6-1 välillä, kuin se on niiden mittauspisteiden vastapuolelle (mittauspisteet 1-4). 5MHz:llä tätä ei tapahdu. Tämä ei ole huono asia, sillä magneettikenttä pitäisikin pysyä mahdollisimman hyvin komponentin sisällä, mutta silti komponenttien säteilemien magneettikenttien olisi hyvä olla symmetrinen. Kentän mahdollinen epäsymmetrisyys johtuu todennäköisesti jostain komponentin sisärakenteiden epäsymmetrisyyksistä. Saatua kuvaajaa voi verrata Valmistajan 1 kelan magneettikenttään kuvaajassa 1, jossa magneettikenttä on hyvin symmetrinen.



Kuvaaja 2: Valmistajan 2 10  $\mu\text{H}$  kelan magneettikenttä 5MHz:llä ja 15MHz:llä

Kokonainen mittauspöytäkirja Valmistajan 2 10  $\mu\text{H}$  kelalle on esitettyä liitteessä 10.

Vertailussa viimeisenä on Valmistajan 3 valmistama 10  $\mu\text{H}$  kela, jolla on samat ominaisarvot kuin Valmistajien 1 ja 2 10  $\mu\text{H}$  keloilla on. Tästäkin kelasta tarkastettiin ensiksi sen läpi kulkevan signaalin muoto, joka on esitetty alla olevassa kuvassa 43. Kuvasta nähdään jälleen, että signaalin muoto on samanlainen kuin Valmistajien 1 ja 2 keloilla on, sekä se, että signaalissa on hieman häiriötä, joka jälleen johtuu luultavimmin maadoituksesta.



Kuva 43: Valmistajan 3 10  $\mu\text{H}$  kelan läpi kulkevan signaalin muoto

Sivulla 45 olevassa taulukossa 7 on esitetty ennen kelan mittausta annetut tiedot komponentista ja mittauksesta.

Taulukko 7: Valmistajan 3 10  $\mu H$  kelalle suoritettulle mittaukselle annetut tiedot

Measurement Maker:	Viitanen Markus		
Date and Time:	29.01.2007	13:27	
Company Code:	200207		
Manufacturer:	Valmistaja 3		
Manufacturers Code:	260207		
Sample Number:	S1		
Direction Mark:	1		
Comments:	Valmistaja 3: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia ei modifioitu.		

Kun mittaus oli suoritettu, mittauspöytäkirjasta tarkastettiin saadut mittaustulokset ja todettiin, että mittaus oli onnistunut. Mittaustulokset Valmistajan 3 10  $\mu H$  kelalle on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8: Valmistajan 3 10  $\mu H$  kelalle saadut mittaustulokset

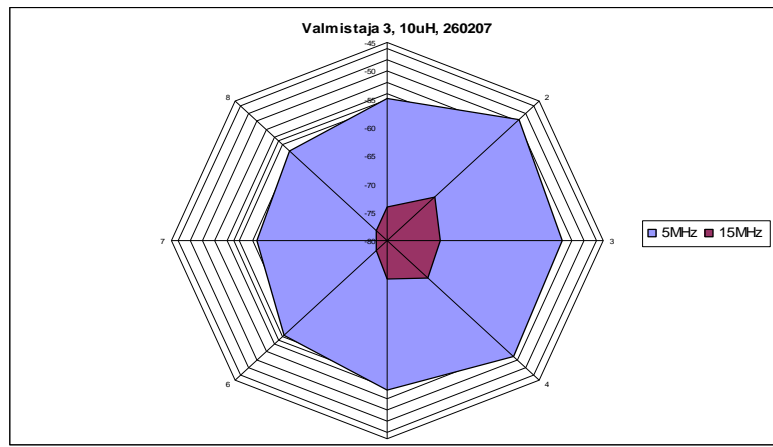
5	5	5	5	5	5	5	5
-54.809	-49.809	-51.588	-50.858	-53.534	-56.198	-58.819	-57.646
15	15	15	15	15	15	15	15
-74.058	-69.316	-71.342	-70.789	-73.165	-77.279	-78.323	-77.457
24	25	26	27	28	29	30	31

Näistä mittaustuloksista piirrettiin kuvaaja 3. Kuvaajasta voidaan nähdä, että tälläkin kertaa komponentti sijoittuu padilla hieman oikealle. Oleellista on se, että sekä 5MHz:llä, että 15MHz:llä, magneettikenttä on voimakkain mittauspisteessä 2 ja heikoimmillaan koko komponentin vasemmassa reunassa (Mittauspisteet 6-8). Tämä kentän heikkous voi johtua siitä, että joko komponentille on tyypillistä, että sen magneettikenttä on voimakkaampi komponentin oikealla puolella, tai sitten se, että komponentti on ollut sijoitettuna liian paljon oikealle, jolloin vasenta puolta ei ole saatu kunnolla mitattua.

Mittaus toistettiin vielä kahdella samanlaisella Valmistajan 3 valmistamalla 10  $\mu H$  kelalla, ja näistä mittauksista saadut tulokset vahvistivat, että magneettikentän muoto on komponentille ominainen eikä se johdu komponentin väärästä asettamisesta padille.

Vaikka oletettaisiin, että komponentti olisi ollut liian paljon oikealle sijoittuneena, se ei selitä sitä miksi mittauspisteessä 2 magneettikenttä on selvästi voimakkaampi kuin muissa

mittauspisteissä. Tämä piikki kentänvoimakkuudessa voi mahdollisesti aiheuttaa häiriöitä jos Valmistajan 3  $10 \mu H$  kelaä käytetään tuotannossa.



Kuvaaja 3: Valmistajan 3  $10 \mu H$  kelan magneettikenttä 5MHz:llä ja 15MHz:llä

Liitteessä 12 on esitetty allekkain kuvaajat kaikkien kolmen valmistajan  $10 \mu H$  kelojen magneettikentistä. Tästä liitteestä komponenttien välisen vertailun pystyy tekemään selvimmin ja näkemään miten eri valmistajien samoilla ominaisarvoilla valmistamien kelojen magneettikentät eroavat toisistaan.

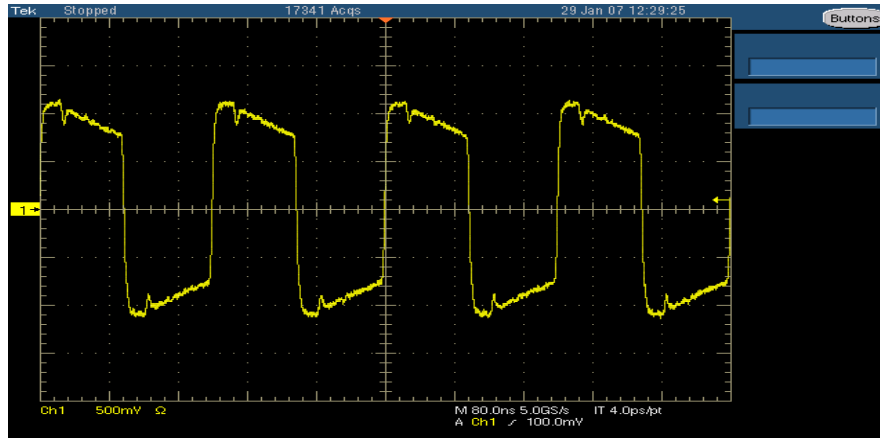
### 7.3 Komponentin ja mittauksen modifioiminen

Tässä kappaleessa vertaillaan miten komponentin vaurioittaminen tai väärä sijoittaminen padille vaikuttavat mittaustuloksiin ja magneettikenttään, sekä tutkitaan miten mittausetäisyyden ja korkeuden muutokset vaikuttavat tuloksiin.

#### 7.3.1 Komponentin vaurioittaminen

Tässä kappaleessa tutkitaan sitä, miten komponentin tahallinen tai tahaton vaurioittaminen vaikuttaa magneettikenttään. Tässä testissä tutkittiin Valmistajan 2 valmistamaa  $10 \mu H$  kelaä. Komponentti mitattiin ensin ilman, että sitä vaurioitettiin, jonka jälkeen samaa komponenttia vaurioitettiin viilaamalla sen yhtä reunaa rautaviilalla. Tällä testauksella saatiin samalla viimeinen varmistus siitä, että mittalaite ja samalla koko mittausjärjestelmä toimii moitteetta.

Mittaukset suoritettiin samana päivänä ja ne suoritettiin saman henkilön toimesta. Komponentin toimivuus varmistettiin oskilloskoopilla, ennen kuin komponenttia alettiin mitata. Kuvasta 44 näkyy komponentin läpi kulkevan signaalin muoto.



Kuva 44: Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelan läpi kulkevan signaalin muoto, ennen komponentin vaurioittamista

Tämän jälkeen komponentin mittausta jatkettiin LV:llä. Ennen mittauksen aloittamista, sille annettiin taulukossa 9 näkyvät tiedot.

Taulukko 9: Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelalle suoritettulle mittaukselle annetut tiedot, ennen komponentin muokkaamista rautaviilalla

Measurement Maker:	Viitanen Markus	
Date and Time:	29.01.2007	12:33
Company Code:	200207	
Manufacturer:	Valmistaja 2	
Manufacturers Code:	260207	
Sample Number:	S2	
Direction Mark:	1	
Comments:	Valmistaja 2: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia EI modifioitu.	

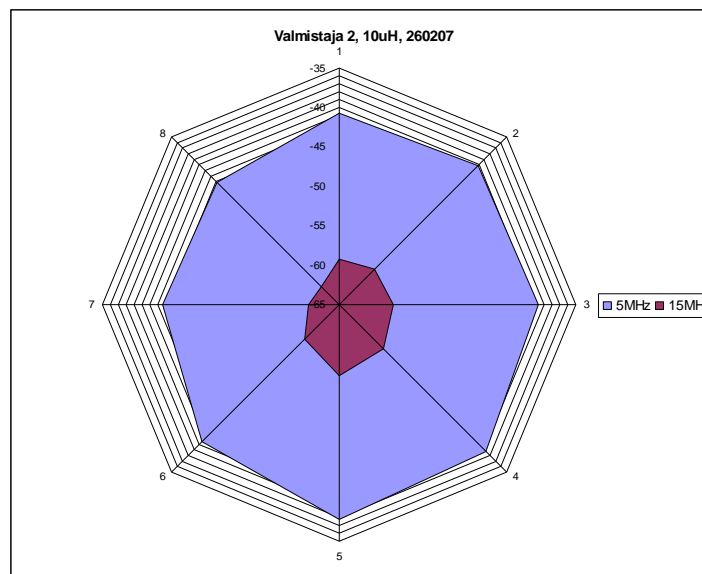
Mittauksen valmistuttua, mittauspöytäkirjasta tarkistettiin, että mittaus oli onnistunut niin kuin sen pitikin. Alla olevassa taulukossa 10 on esitetty Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelalle saadut mittaustulokset.



Taulukko 10: Valmistajan 2  $10\ \mu\text{H}$  kelalle saadut mittaustulokset ennen komponentin muokkaamista

5	5	5	5	5	5	5	5
-40.764	-40.127	-39.771	-38.61	-37.77	-40.373	-42.573	-43.085
15	15	15	15	15	15	15	15
-59.232	-58.674	-58.158	-56.951	-56.053	-58.758	-61.078	-61.848
56	57	58	59	60	61	62	63

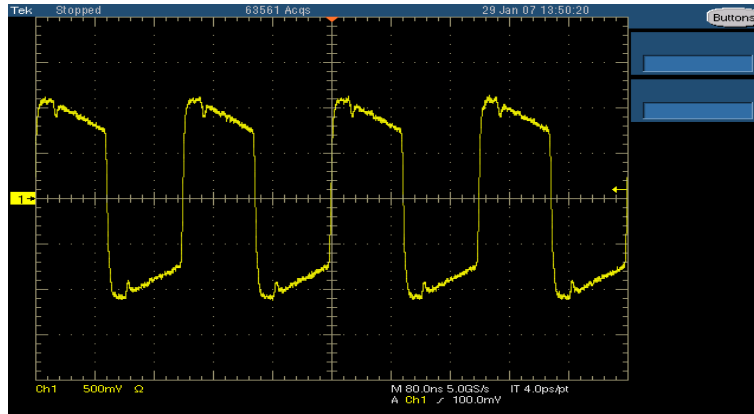
Tämän jälkeen mittaustuloksista piirrettiin alla näkyvä kuvaaja 4.



Kuvaaja 4: Valmistajan 2  $10\ \mu\text{H}$  kelan magneettikenttä 5MHz:llä ja 15 MHz:llä, ennen komponentin vaurioittamista

Kuvaajasta 4 nähdään, että komponentti on sijoitettu lähes keskelle padia. Kuvaajasta nähdään myös se, että komponentin magneettikenttä on melkoisen tasainen joka puolella mitattua komponenttia. Kokonainen mittauspöytäkirja Valmistajan 2  $10\ \mu\text{H}$  kelalle ennen kuin komponenttia on muokattu rautaviilalla, on esitettyä liitteessä 13.

Tämän mittauksen jälkeen komponenttia muokattiin rautaviilalla mittauspisteiden 3-5 välistä. Kun komponenttia oli muokattu riittävästi, sen toimivuus varmistettiin uudestaan oskilloskoopilla. Vertaamalla kelan läpi kulkevan signaalin muotoa ennen kun komponenttia oli vaurioitettu (kuva 44), siihen signaaliin mikä mitattiin sen jälkeen kun komponenttia oli muokattu rautaviilalla (kuva 45), voidaan nähdä, että signaalinmuotoon ei ole tullut muutoksia ja komponentti toimii näin ollen moitteettomasti muokkaamisesta huolimatta.



Kuva 45: Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelan läpi kulkevan signaalin muoto, sen jälkeen kun komponenttia on muokattu rautaviilalla

Kun oli todettu, että komponentti toimii sen muokkaamisesta huolimatta, komponenttia alettiin mitata LV:llä. Ennen mittauksen aloittamista mittauksesta kirjattiin tietoja mittauspöytäkirjaan Pop-Up-kyselyikkunan kautta. Nämä tiedot mittauksesta näkyvät alla olevassa taulukossa 11.

Taulukko 11: Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle suoritetulle mittaukselle annetut tiedot, komponentin rautaviilalla muokkaamisen jälkeen

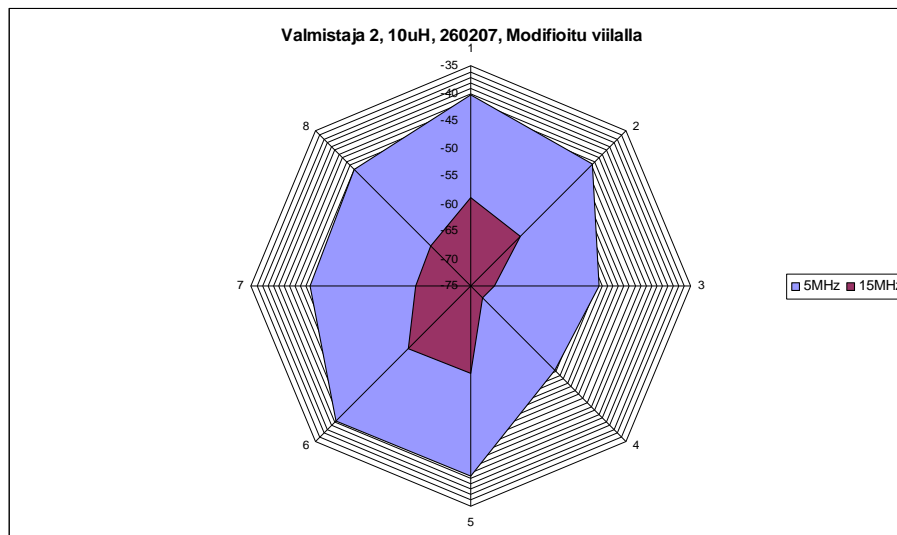
Measurement Maker:	Viitanen Markus	
Date and Time:	29.01.2007	12:44
Company Code:	200207	
Manufacturer:	Valmistaja 2	
Manufacturers Code:	260207	
Sample Number:	S2	
Direction Mark:	1	
Comments:	Valmistaja 2: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia modifioitu rautaviilalla mittauspisteiden 3-5 välistä.	

Mittauksen valmistuttua, tarkastiin mittauspöytäkirjasta, että mittaus oli onnistunut ja jokaisesta mittauspisteestä oli saatu arvot mitattua. Saadut mittauks tulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12: Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle saadut mittaustulokset komponentin rautaviilalla muokkaamisen jälkeen

5	5	5	5	5	5	5	5
-40.241	-43.563	-51.705	-53.322	-40.575	-40.235	-45.763	-45.009
15	15	15	15	15	15	15	15
-58.985	-62.31	-70.776	-72.015	-59.066	-58.962	-65.008	-64.828
1	2	3	4	5	6	7	8

Vertaamalla saatuja mittaustuloksia ennen komponentin muokkaamista (taulukko 10) ja muokkaamisen jälkeen (taulukko 12), nähdään että komponentin magneettikentän voimakkuus ja näin ollen myös muoto joka suuntaan on muuttunut huomattavasti. Tätä muutosta saadaan selvennettyä kun taulukon 12 mittaustuloksista piirretään kuvaaja 5.



Kuvaaja 5: Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelan magneettikenttä 5MHz:llä ja 15 MHz:llä, komponentin rautaviilalla vaurioittamisen jälkeen

Vertaamalla komponentin muokkaamisen jälkeen saatua kuvaajaa (kuvaaja 5) ennen komponentin muokkaamista saatuun kuvaajaan (kuvaaja 4), voidaan nähdä kuinka radikaalisti magneettikentän muoto ja voimakkuus ovat muuttuneet pienen rautaviilalla muokkaamisen seurauksesta.

Kuvaajasta 5 näkyy selvästi, että sekä 5MHz:llä, että 15MHz:llä, magneettikenttä on kohtalaisen samanmuotoinen ennen komponentin muokkaamista mittauspisteiden 5-2 väliltä, mutta muokatulta väliltä (mittauspisteiden 3-5 väli) magneettikentän muoto on täysin muuttunut. Kuvaajan 5 perusteella voidaan todeta, että jos kela vaurioituu jostain kohdista yhtä pahoin kuin sitä tässä testissä vaurioitettiin tahallisesti, komponentti toimii vielä joten kuten 5MHz:llä, mutta mentäessä suuremmille taajuuksille alkaa

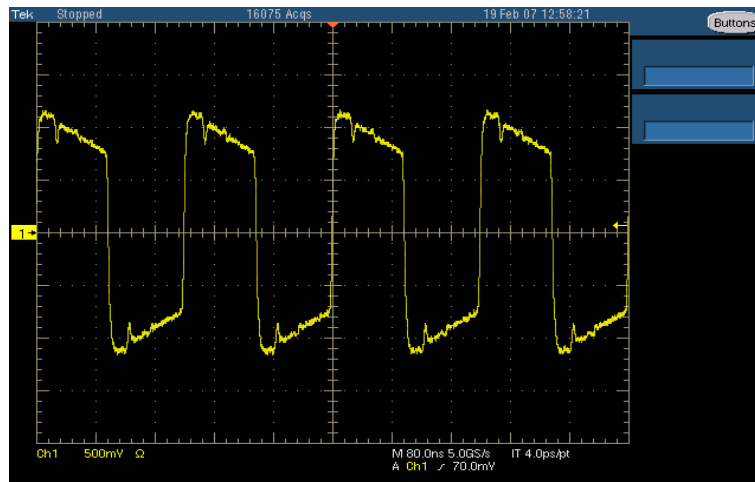
magneettikenttävektorien suunta kääntyy suoraan ulospäin komponentista, eli komponentin säteilemä magneettikenttä alkaa kasvamaan.

Kokonainen mittauspöytäkirja Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelalle rautaviilalla muokkaamisen jälkeen, on esitettyä liitteessä 14. Liitteessä 15 on esitettyä Valmistajan 2 valmistaman komponentin säteilemä magneettikenttä ennen ja jälkeen komponentin vaurioittamisen.

### 7.3.2 Komponentin väärä sijoittaminen padille

Tässä testissä tutkittiin vaikuttaako komponentin väärä sijoittaminen padille jotenkin magneettikentän muotoon ja voimakkuuteen. Mittauksessa käytettiin Valmistajan 2 valmistamaa  $10\ \mu H$  kelaa. Komponentti sijoitettiin padille siten, että 5MHz:n kantiaaltosignaali tuotiin komponentin maa-jalkaan ja komponentin signaalijalka yhdistettiin maahan eli toisin sanoen komponenttia käännettiin 180 astetta.

Mittaukset suoritettiin niin kuin kaikki muutkin mittaukset. Ensimmäisenä tutkittiin oskilloskoopilla toimiiko komponentti vaikka se kytkettäisiin väärinpäin padiin. Kuvasta 46 nähdään että komponentin läpi kulkeva signaali näyttää siltä kuin sen pitääkin, eli komponentti toimii moitteettomasti.



Kuva 46: Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelan läpi kulkevan signaalin muoto, kun komponentti on juotettu väärinpäin padiin

Ennen mittauksen aloittamista mittauspöytäkirjaan tallennettiin tarvittavat tiedot mittauksesta (taulukko 13). Taulukosta on hyvä huomata, että komponentti on nyt asetettu padiin väärinpäin, joten mittaus täytyy aloittaa vastakkaisesta mittauspisteestä kuin yleensä. Tämän vuoksi Direction Mark-kentässä on tässä mittauksessa arvo 5, kun se yleensä on 1. Kun mittaus aloitetaan mittauspisteestä 5, mittauksen aloittava mittauskohta on tällöin sama maa-jalka kuin se on silloin kun mittaus aloitetaan mittauspisteestä 1. Näin saatavaa mittaustulosta voidaan lähes suoraan verrata esimerkiksi kappaleessa 7.3.1

saatuun mittaustulokseen. Vertailu täytyy suorittaa ainoastaan siihen kappaleessa 7.3.1 saatuun tulokseen, joka on saatu ennen kuin komponenttia on muokattu rautaviilalla.

Taulukko 13: Valmistajan 2 väärinpäin padille asennetulla  $10\ \mu H$  kelalla suoritettulle mittaukselle annetut tiedot

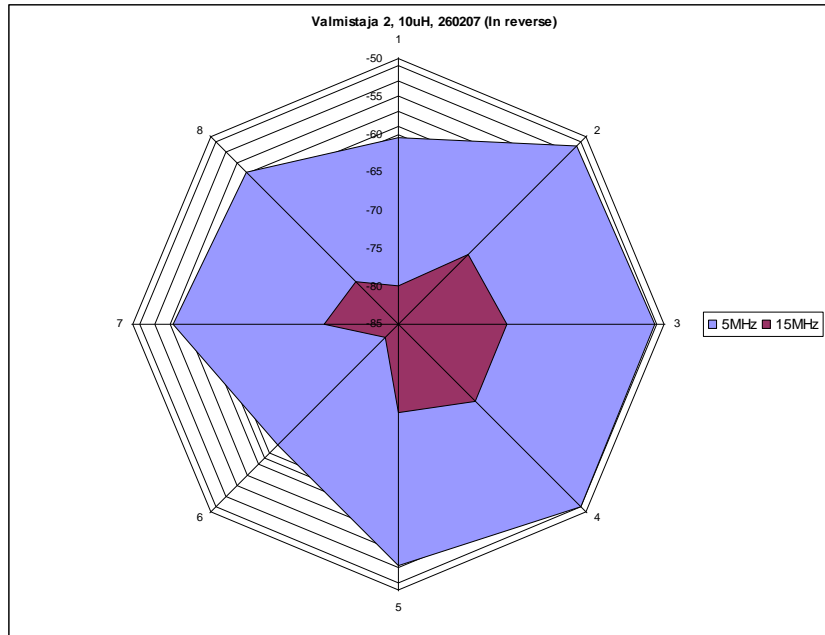
Measurement Maker:	Viitanen Markus		
Date and Time:	19.02.2007	11:52	
Component Code:	200207		
Manufacturer:	Valmistaja 2		
Manufacturers Code:	260207		
Sample Number:	1		
Direction Mark:	5		
Comments:	Komponentti juotettu piirilevyyn väärinpäin (GND tuotu Signaali-padiin, Signaali tuotu GND-padiin)		

Padille väärinpäin asennetulle kelalle tehdyn mittauksen tulokset on esitetty taulukossa 14. Jo vertaamalla näitä saatuja mittaustuloksia oikeinpäin padille asennetun Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelalle saatuihin mittaustuloksiin (taulukot 6 ja 10), niin nähdään että kun komponentti on asennettu väärinpäin padille, magneettikentän voimakkuus muuttuu keskimäärin 10dBm:ä jokaisessa mittauspisteessä.

Taulukko 14: Väärinpäin padille asennetun Valmistajan 2 valmistaman  $10\ \mu H$  kelan mittaustulokset

5	5	5	5	5	5	5	5
-60.532	-51.912	-51.355	-51.185	-53.348	-62.682	-55.5	-56.797
15	15	15	15	15	15	15	15
-79.926	-72.02	-70.726	-70.738	-73.45	-82.506	-75.286	-77.051
16	17	18	19	20	21	22	23

Vasta kun saaduista mittaustuloksista piirretään kuvaaja (kuvaaja 6), nähdään kuinka radikaalisti komponentin kääntyminen muuttaa magneettikentän säteilykuviota sekä voimakkuutta eri mittauspisteissä.



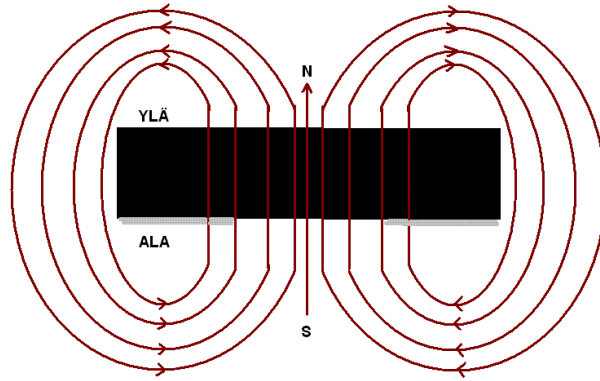
Kuvaaja 6: Väärinpäin padille asennetun Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelan magneettikenttä 5MHz:llä ja 15 MHz:llä.

Kuvaajasta nähdään, että magneettikenttä ei ole mistään kohdasta symmetrinen, vaan säteilyä tapahtuu eri voimakkuuksilla eri suuntiin komponenttia. Pienimmillään magneettikenttä on maa-jalassa, johon signaali tässä mittauksessa tuodaan (kuvaaja 6, mittauspiste 1), sekä mittauspisteen 6 kohdalla. Komponentin päältä katsottuna, kentän voimakkuus on ollut sekä 5MHz:llä, että 15MHz:llä kaikkein tasaisin mittauspisteiden 2-5 välissä. Muiden mittauspisteiden välillä symmetrisuutta ei ole havaittavissa kummallakaan mittaustaajuudella.

Jotta vertailu väärin- ja oikeinpäin padille asennettujen Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelojen välillä olisi helpompaa, on molempien tapausten säteilykuviokuvaajat esitetty allekkain liitteessä 16.

### 7.3.3 Mittauskorkeuden ja - etäisyyden vaikutus

Tällä testillä tutkitaan vaikuttaako mittauskorkeuden tai etäisyyden muuttaminen saatuja mittaustuloksia. Jos tuloksissa näkyy muutoksia, pohditaan onko muutokset realistisia, vai johtuvatko ne jostain ulkopuolisista tekijöistä. Mittauksista pitäisi näkyä se, että magneettivuot ovat tosiasiaassa vektorisuureita, jolloin vuoviivojen pitäisi olla erisuuntaisia eri mittauskohdissa. Kuvasta 47 nähdään, että pintaliitoskelojen magneettikenttä on voimakkaimmillaan kelan päällä ja pohjassa, sillä magneettivuoviivat lähtevät ensin suoraan ylöspäin, jonka jälkeen ne leviävät tai toisin sanoen vuoviivat "hajoavat" tasaisesti kelan ympärille. Tätä leviämisprosessia tapahtuu kauemmas komponentista kuin on mittaamalla mahdollista havaita, mutta leviäminen on symmetristä, mitattiin kenttää kuinka kaukaa komponentista tahansa. /18/



Kuva 47: Teoreettinen pintaliitoskelan magneettivuoviivojen muoto ilman piirilevyn vaikutusta

Tämän teorian mukaan paras mittaustulos pitäisi saada hieman kelasta irti, noin kelan alapuolen tasalta, mikä tarkoittaa mittaamista hieman piirilevystä irti, jolloin magneettivuot ovat kaikkein symmetrisimminkin toisiinsa nähden. Toiseksi paras mittauskohda pitäisi olla noin hieman irti kelasta, mutta hieman yläviihstoon. Näille teorioille yritetään saada tästä mittauksesta tukea.

Mitattu komponentti oli Valmistajan 2 valmistama  $10 \mu H$  kela, jota mitattiin kolmelta etäisyydeltä, mittapään ollessa 0.4mm irti PCB:stä. Valitut mittaus etäisyydet olivat 0mm, eli mittapää oli kiinni mitattavassa komponentissa, 1mm sekä 2mm. Korkeuden vaikutusta mitattiin 2mm päästä mitattavasta komponentista, korkeuksien ollessa 0mm, eli mittapään ollessa kiinni PCB:ssä, 1.2mm sekä 2mm. Etäisyydet tarkistettiin rakotukilla ennen jokaista mittausta.

Ensiksi Valmistajan 2  $10 \mu H$  kela mitattiin 0mm etäisyydeltä, eli mittapään ollessa kiinni komponentissa ja korkeuden ollessa 0.4mm. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15: Mittaustulokset Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle etäisyyden ollessa 0mm ja korkeuden 0.4mm

5	5	5	5	5	5	5	5
-51.065	-49.683	-43.568	-43.408	-50.322	-48.238	-51.631	-51.33
15	15	15	15	15	15	15	15
-70.915	-69.552	-63.281	-62.924	-69.052	-68.498	-71.984	-71.583
16	17	18	19	20	21	22	23

Tuloksista nähdään, että mitattaessa komponentista kiinni, kentänvoimakkuudet ovat lähes samanarvoisia jokaisen mittauspisteen kesken. Tämä johtuu luultavimmin siitä, että mittapää mittaa suurimmaksi osaksi kelan päältä lähtevää, kaikkein voimakkainta

magneettivuota. Siirryttäessä 1mm päähän mitattavasta kelasta, alkavat mittaustulokset eri mittauspisteissä muuttua (taulukko 16). Tämä etäisyys on ensimmäinen etäisyys, jolta mittapää ei mittaa enää kelan päältä nousevaa magneettivuota, vaan mitattu kenttä on se kenttä, joka kyseisen mittauspisteen kohdassa säteilee kelasta ulos.

Taulukko 16: Mittaustulokset Valmistajan 2 10  $\mu H$  kelalle etäisyyden ollessa 1mm ja korkeuden 0.4mm

5	5	5	5	5	5	5	5
-69.788	-49.937	-47.301	-47.5	-78.869	-59.48	-60.237	-65.92
15	15	15	15	15	15	15	15
-83.797	-69.521	-67.17	-67.268	-86.751	-78.336	-78.388	-79.299
24	25	26	27	28	29	30	31

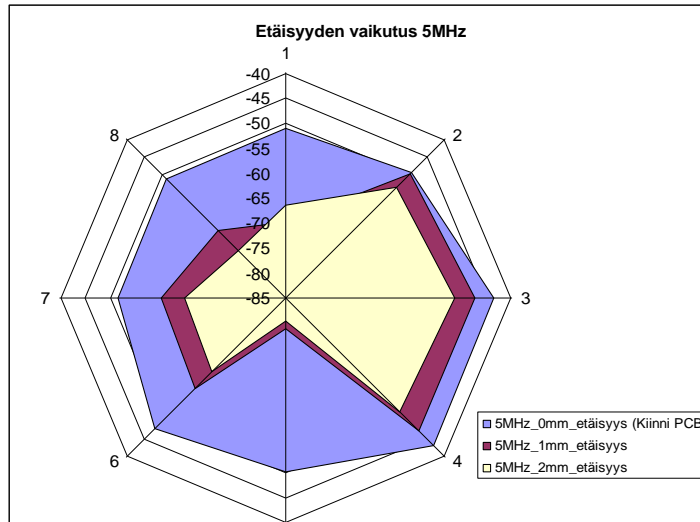
Siirryttäessä 2mm päähän mitattavasta kelasta, kentänvoimakkuudet alkavat jo hieman heiketä verrattuna 1mm päästä mitattuihin arvoihin. Heikkenemistä 1mm etäisyydeltä mitattuihin arvoihin tapahtuu noin 3dBm:ä jokaisessa mittauspisteessä. Mittaustulokset mittapään ollessa 2mm etäisyydellä mitattavaan kelaan on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17: Mittaustulokset Valmistajan 2 10  $\mu H$  kelalle etäisyyden ollessa 2mm ja korkeuden 0.4mm

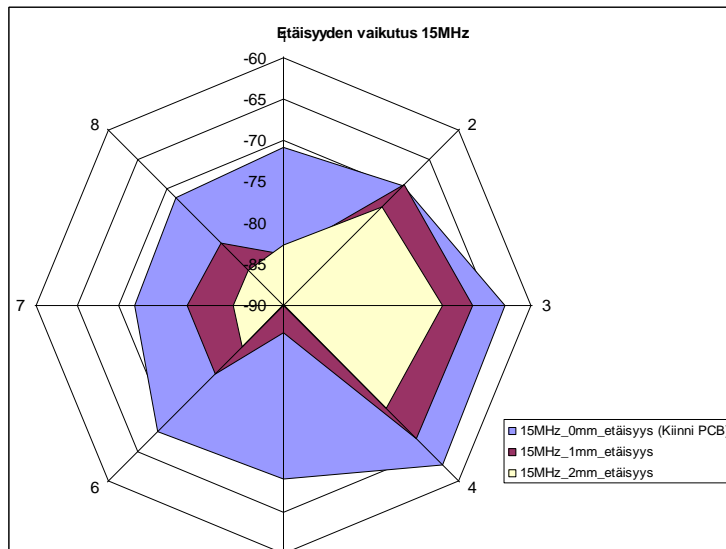
5	5	5	5	5	5	5	5
-66.415	-53.666	-51.351	-52.763	-80.426	-64.186	-64.806	-71.722
15	15	15	15	15	15	15	15
-82.703	-73.243	-70.784	-72.523	-90.173	-82.965	-83.884	-84.029
32	33	34	35	36	37	38	39

Vertaamalla 2mm etäisyydeltä mitattuja arvoja, (taulukko 17), 1mm etäisyydeltä mitattuihin arvoihin, (taulukko 16), voidaan päätellä, että paras mittausetäisyys on jossakin 1mm ja 2mm välissä, mutta todennäköisimmin lähempänä 2mm kuin 1mm. Kuvaajassa 7 on esitetty kaikilla kolmella mittausetäisyydellä saatujen magneettikenttien muodot 5MHz:stä mitattuna ja samat arvot 15MHz:stä mitattuna (kuvaaja 8). Nämä kuvaajat havainnollistavat yllä olevaa päätelmää parhaasta mittausetäisyydestä.





Kuvaaja 7: Kolmen mittausetäisyyden vaikutus mittaustuloksiin 5MHz:lla



Kuvaaja 8: Kolmen mittausetäisyyden vaikutus mittaustuloksiin 15MHz:lla

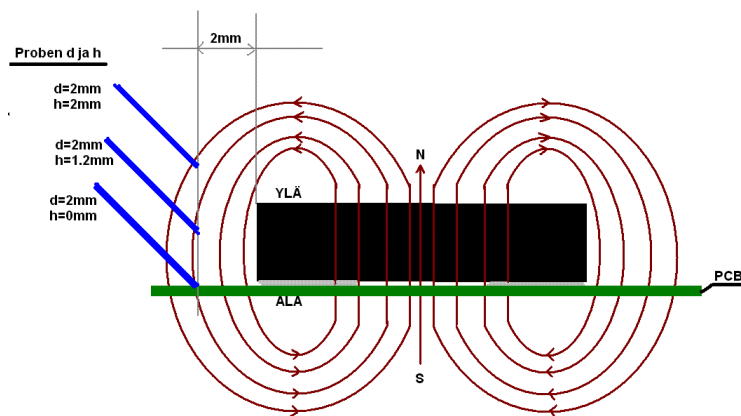
On kuitenkin huomioitavaa, että mittausetäisyyden päättely olisi tarvinnut useampia mittauksia samoilla Valmistajan 2 valmistamilla  $10\ \mu H$  keloilla, jotta mittaustulokset kelpaisivat tarkempaan vertailuun eri komponenttivalmistajien kesken. Tässä mittausprosessissa etäisyydet mitattiin vain kaksi kertaa, joilla katsottiin muuttuvatko mittaustulokset radikaalisti eri mittauskertojen välillä.

Seuraavaksi tutkittiin mittauskorkeuden vaikutusta mittaustuloksiin. Tässäkin mittauksessa täytyy huomioida, että magneettivuot ovat vektorisuureita ja, että magneettivuot lähtevät lähellä komponentin yläpintaa ensin lähes suoraan ylöspäin, jonka jälkeen ne alkavat kääntyä puolielliptisesti kohti komponentin alapintaa tai tässä tapauksessa piirilevyä. Sivulla 54 oleva kuva 47 selventää yllä esitettyä selitystä.

Näiden päätelmien perusteella voidaan arvioida, että paras mittaustulos pitäisi tulla noin komponentin tasalta, eikä sen päältä tai yläviistosta, jolloin magneettivuot kulkevat mahdollisesti pitkin mittapäätä, vääristäen näin mittaustuloksia. Tämän mittauksen avulla oli tarkoitus tutkia pitääkö tämä arvio mittauskorkeudesta paikkaansa ja kulkevatko magneettivuot teorian mukaisesti komponentin ympärillä.

Mitään kolmiulotteista mallinnusta mittausjärjestelmällä on tällä hetkellä mahdoton tehdä, sillä se vaatisi jonkinlaisen robotin säätämään etäisyyden ja korkeuden vakioksi, sekä mittauksia pitäisi tehdä tähän tutkimukseen hyvin paljon enemmän. Tässä mittauksessa tutkittiin vain kolmea eri mittauskorkeutta (0mm, 1.2mm ja 2mm) vakioetäisyydellä (2mm), joiden perusteella arvioitiin karkeasti, millä mittauskorkeudella voitaisiin saada kaikista luotettavimmat mittaustulokset. Mittaukseen käytettiin samaa Valmistajan 2 valmistamaa  $10 \mu H$  kela, jota käytettiin mittausetäisyyden tutkimisessakin. Mittauksissa mittapää oli samassa 45 asteen kulmassa mitattavaan komponenttiin nähden kuin se oli ollut kaikissa muissa aiemmissa mittauksissa.

Kuva 48 selventää mittausprosessin suoritustapaa, sekä magneettivuon sijoittumista mittapäähän nähden. Mittapään sijoittuminen kolmella eri mittauskorkeudella on piirretty kuvaan sinisellä.



Kuva 48: Mittauskorkeuden vaikutusmittausprosessin suoritustapa sekä magneettivuon sijoittuminen mittapäähän

Mittaukset aloitettiin mittauskorkeudelta 0mm, eli mittapää oli kiinni piirilevyssä. Tälle mittaukselle saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18: Mittaustulokset Valmistajan 2 10  $\mu H$  kelalle etäisyyden ollessa 2mm ja korkeuden 0mm

5	5	5	5	5	5	5	5
-66.415	-53.666	-51.351	-52.763	-80.426	-64.186	-64.806	-71.722
15	15	15	15	15	15	15	15
-82.703	-73.243	-70.784	-72.523	-90.173	-82.965	-83.884	-84.029
32	33	34	35	36	37	38	39

Mittaustuloksista nähdään, että mitattu magneettikenttä on symmetrisin komponentin oikealla puolella (mittauspisteet 2-4), kun taas lopuista mittauspisteistä saadut tulokset ei synnytä minkäänlaista symmetriaa komponentin eri puolille. Magneettikenttä on voimakaimmillaan juuri komponentin oikealla puolella (mittauspisteet 2-4) ja pienimmillään se on kelan maa-johtimen kohdassa (mittauspiste 5). Nämä mittaustuloksien epäsymmetrisisyys johtuu todennäköisimmin siitä, että lähikenttämittapäätä pitkin siihen indusoitui magneettivuota (kuva 48), joka näin ollen vaikutti mittaustuloksiin eri mittauspisteissä. Toinen syy epä-symmetrisisyydelle voi olla se, että piirilevyssä oleva maa on voimakkaampi kuin signaalipuoli, jolloin magneettivuot kaartuvat lähellä piirilevyä voimakkaammin kuin komponentin yläpuolella, aiheuttaen näin mittaustuloksien vääristymisen.

Seuraavaksi kela mitattiin 1.2mm korkeudelta. Tämän mittauksen tulokset on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19: Mittaustulokset Valmistajan 2 10  $\mu H$  kelalle etäisyyden ollessa 2mm ja korkeuden 1.2mm

5	5	5	5	5	5	5	5
-62.627	-84.696	-74.525	-71.741	-57.823	-56.804	-58.204	-59.614
15	15	15	15	15	15	15	15
-81.832	-89.181	-92.399	-87.039	-77.232	-76.546	-77.094	-79.164
40	41	42	43	44	45	46	47

Tuloksista voidaan nähdä se, että kaikista tasaisimmat arvot magneettikentälle on mitattu mittauspisteistä 5-8, mikä tarkoittaa sitä, että tällä korkeudella symmetrisyys on kääntynyt komponentin vasemmalle puolelle (mittauspisteet 5-8), kun se 0mm korkeudella oli komponentin oikealla puolella. Tämä johtuu luultavimmin samasta tekijästä kuin 1.2mm korkeudella, eli magneettivuot indusoituvat mittapähän vaikuttaen mittaustuloksiin joissakin mittauspisteissä enemmän kuin toisissa.

Viimeinen mittauskorkeus oli 2mm ja tälle mittauskorkeudelle saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 20.

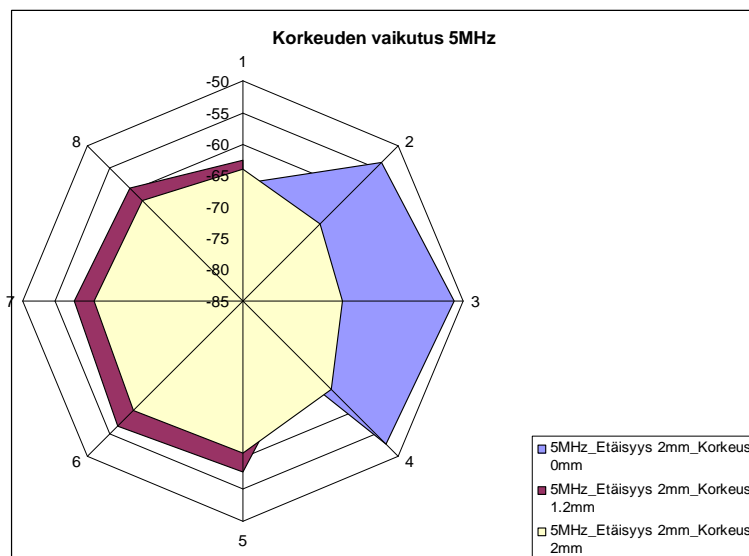
Taulukko 20: Mittaustulokset Valmistajan 2 10  $\mu H$  kelalle etäisyyden ollessa 2mm ja korkeuden 2mm

5	5	5	5	5	5	5	5
-64.108	-67.73	-69.131	-65.056	-60.756	-60.367	-61.396	-62.366
15	15	15	15	15	15	15	15
-82.261	-84.772	-85.347	-82.436	-79.256	-80.197	-79.734	-80.721
56	57	58	59	60	61	62	63

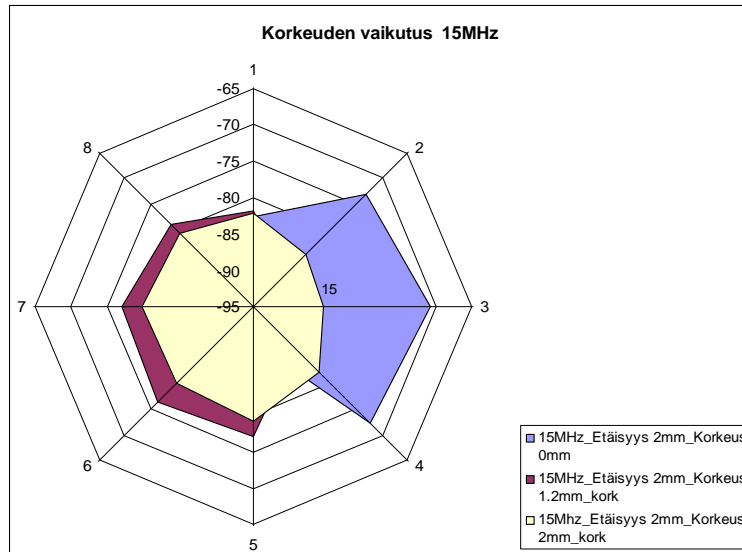
Mittaustuloksista nähdään, että magneettikenttä tällä korkeudella on hyvin symmetrinen, sillä eroa pienimmän ja suurimman mitatun arvon välille ei tule kuin noin 9dBm (5MHz:llä) ja 5dBm (15MHz:llä), kun ne 0mm korkeudelta mitattuna olivat noin 29dBm (5MHz:llä) ja 20dBm (15MHz:llä) ja 1.2mm korkeudelta mitattuna noin 18dBm (5MHz:llä) ja 16dBm (15MHz:llä).

Magneettikentän symmetrisyys johtunee siitä, että tällä korkeudella mittapää on lähes 90 asteen kulmassa säteileviin magneettikenttävektoreihin nähden, eivätkä mittapään metalliosat muuta magneettivuon vektoreiden suuntaa, koska mittapään mittasilmukka ei ole kohtisuorassa vuon vektoreihin, näin ollen muuttuen saatuja mittaustuloksia. Näin on epätarkasti mahdollista todeta, että paras mittaustulos saataneee joko noin 2mm korkeudelta tai sitten vain hieman irti piirilevystä. Tarkempi parhaan mittauskorkeuden selvittäminen vaatii enemmän mittauksia, joista saatuja tuloksia täytyy sitten vertailla keskenään.

Alla oleviin kuvaajissa 9 ja 10, on esitetty kuinka mittauskorkeus vaikuttaa mittaustuloksiin 5MHz:llä (kuvaaja 9) ja 15MHz:llä (kuvaaja 10).



Kuvaaja 9: Mittauskorkeuden vaikutus mittaustuloksiin 5MHz:lla



Kuvaaja 10: Mittauskorkeuden vaikutus mittaustuloksiin 15MHz:lla

Näiden kolmen mittausetäisyyttä sekä kolmen mittauskorkeutta tutkivien mittausten perusteella voidaan sanoa, että mittausetäisyys ja korkeus vaikuttavat saattaviin mittaustuloksiin. Mittausten mukaan voidaan päätellä, että paras mittausetäisyys komponentista on 1mm ja 2mm välissä, mutta silti lähempänä 2mm kuin 1mm. Parhaat mittaustulokset saadaan testimittausten perusteella mitattua, joko melko lähellä piirilevyä tai noin 2mm korkeudesta. Tarkempi mittausetäisyyden ja korkeuden määrittäminen vaatii useita toistoja ja mittaukset täytyy suorittaa myös useilla sampeleilla, eli useilla kappaleilla saman valmistajan valmistamia, samantyyppisiä komponentteja. Luotettavin tulos parhaaksi mittausetäisyydeksi ja korkeudeksi saadaan mittaamalla samaa komponenttia vähintään 12 kertaa. Tässä mittauksessa samasta mittauskorkeudesta ei mitattu kuin kaksi tai kolme kertaa, jonka seurauksena nämä tulokset eivät ole täysin luotettavia, mutta ne antavat kuitenkin suuntaa mistä korkeusluokasta mittaukset olisi hyvä suorittaa. Näiden mittausten perusteella on päätetty, että mittaukset tulee suorittaa siten, että lähikenttämittapää on sijoitettu 0.4mm korkeudelle ja 1.2mm etäisyydelle mitattavasta komponentista.

## 8. PÄÄTELMÄT

Tässä kappaleessa pohditaan tutkintotyön, Pintaliitoskelojen magneettikentän mittausjärjestelmän kehittäminen, eri vaiheiden onnistumista sekä virheiden, puutteiden ja poikkeamien aiheutumista. Päätelmissä vertaillaan myös kuinka työn alussa määritetyt tavoitteet ovat täyttyneet. Kappaleessa mietitään myös tulosten käyttökelpoisuutta sekä työn ja saatujen tuloksien sovellusmahdollisuuksia. Kappaleen lopussa pohditaan työlle jatko-tutkimuskohteita, mietitään miten työtä voitaisiin kehittää sekä arvioidaan millaisia jatkotoimenpiteitä nämä kehittämismallit mahdollisesti aiheuttaisivat.

Työn tavoitteena oli suunnitella, kehittää ja tehdä sellainen mittausjärjestelmä, joka pystyy automaattisesti mittaamaan halutun komponentin säteilemän magneettikentän voimakkuuden koko komponentin ympäriltä. Mittausjärjestelmällä täytyi myös pystyä suorittamaan mittauksia, jotta se voitaisiin todeta toimivaksi. Mittaus täytyi pystyä suorittamaan vähintään kahdeksasta mittauspisteestä komponentin ympäriltä ja nämä mittauspisteet tuli olla sijoitettuna vakio välein, jotta saatuja tuloksia voitaisiin vertailla toisista komponenteista mitattuihin tuloksiin.

Näissä tavoitteissa tutkintotyö on hieman asetettuja tavoitteita parempi, sillä käyttäjä pystyy määrittämään kuinka monta mittausta mittausjärjestelmä tekee kullekin komponentille. Mittausjärjestelmä toimii täysin automaattisesti kannettavasta tietokoneesta käsin, jossa oleva käyttöliittymä on graafinen sekä täysin ymmärrettävissä sellaisellekin käyttäjälle, joka ei järjestelmää ole aiemmin käyttänyt. Mittauksen valmistuttua, mittausjärjestelmä tallettaa saaduista mittauksista tehdyn Microsoft Excel -muotoisen mittauspöytäkirjan tietokoneen kovalevylle. Koska mittauspöytäkirja talletetaan MS Excel-muodossa, sen voi avata missä maassa tahansa sijaitsevassa tietokoneessa, johon kyseinen sovellus on asetettu. Näin saadut tulokset eivät ole paikasta riippuvaisia ja ne saadaan hyvinkin pian lähetettyä sinne missä niitä sillä hetkellä tarvitaan.

Tämän tutkintotyön voi raa'asti jakaa kolmeen eri vaiheeseen: suunnitteluun, toteuttamiseen ja mittausjärjestelmän käyttämiseen. Ensimmäinen työn vaihe oli suunnittelu. Koska työ onnistui niin hyvin kuin edellisissä osioissa on esitelty, on järjestelmään käytetty suunnittelu ollut vähintäänkin riittävällä tasolla. Mittalaitteen suunnittelussa käytettiin runsaasti aikaa eri toteutustapojen miettimiseen, jonka seurauksena löytyi luonnollisin tapa toteuttaa itse mittalaite. Koska suunnittelu suoritettiin huolellisesti, ei mittalaitteen valmistuksessa tullut eteen suurempia häiriötekijöitä, jotka olisivat hidastaneet laitteen valmistumista. Tämän seurauksena mittalaiteesta valmistui lähes identtinen ensimmäisiin suunnitelmiin verrattuna.

Samalla kun mittalaitetta valmistettiin, käytettiin riittävästi aikaa toisen tutkintotyön vaiheen suorittamiseen, LabVIEW-ohjelmointiin tutustumiseen, sillä tämä ohjelmointiympäristö oli tuntematon mittausjärjestelmän toteuttaneelle henkilölle. Kun ohjelmistoon oli tutustuttu riittävästi, alettiin hahmoitella tarvittavan mittaussovelluksen runkoa. Samalla mietittiin

useita eri mahdollisuuksia toteuttaa mittaussovellus. Sovellus päätettiin tehdä eri lohkoista, jotka lopuksi integroitaisiin yhdeksi kokonaiseksi sovellukseksi. Tämä tapa osoittautui erinomaiseksi, vaikka veikin useita kymmeniä työtunteja, sillä kun lohkot oli saatu valmistettua, oli niiden integrointi huomattavasti yksinkertaisempaa kuin yhden suuren ohjelman ohjelmoiminen olisi ollut. Integroinnin jälkeen järjestelmän ohjaussovellus oli valmis. Kun ohjelmointiosa integroitiin loppuun mittausjärjestelmään, oli mittausjärjestelmä kokonaisuudessaan valmis.

Viimeisenä vaiheena oli mittausjärjestelmän käyttäminen. Vaikka tutkintotyön valmistumiselle asetettu aikaraja alkoikin lähestyä, mittauksen suorittamiseen etsittiin riittävästi parasta mahdollista tapaa. Kun tällä hetkellä paras tapa oli löytynyt, mittauksia voitiin suorittaa.

Koska tutkintotyössä valmistunut mittausjärjestelmä on täysin uusi, mittauksissa saadut tulokset eivät ole täysin absoluuttisia, vaan vain suuntaa antavia. Kunhan mittauksia saadaan suoritettua enemmän ja niiden tekemiseen tulee jonkinlainen rutiini ja kokemus, on uskottavaa, että näiden seurauksena myös mittausvirheet laskevat.

Alustavasti saadut mittaustulokset vaikuttavat hyvin luotettavilta, ja jo muutaman eri valmistajan pintaliitoskeloille tehtyjen mittauksen perusteella voidaan nähdä, kuinka paljon eri valmistajien samoilla ominaisarvoilla valmistamien pintaliitoskelojen magneettikentät eroavat toisistaan. Tulevaisuudessa työn tilanneella yrityksellä on tällä mittausjärjestelmällä saatujen mittaustulosten perusteella mahdollisuus valita minkä valmistajan keloja he tuotteissaan käyttävät. Tämä valinta voi mahdollisesti parantaa kyseessä olevan yrityksen valmistamien tuotteiden laatua ja muita ominaisuuksia.

Tulevaisuudessa työn tilannut yritys voi myös käyttää mittausjärjestelmää muidenkin komponenttien magneettikenttien mittaamiseen ja saada näiden tulosten perusteella lisää tietoa käyttämistään komponenteista, jonka seurauksena he voivat valita käyttöönsä parhaan mahdollisen komponentin.

Työhön jäi varmasti monia jatkotutkimuskohteita, joiden perusteella mittauksen tehokkuutta, tarkkuutta ja luotettavuutta voitaisiin kehittää. Suoranaisia kehitysideoita, joilla näitä ominaisuuksia saataisiin parannettua, voisi olla mittaussovelluksen yksinkertaistaminen, sillä tässä versiossa mittaussovellus on rakennettu sellaisen henkilön toimesta, joka ei aiemmin ollut käyttänyt LabVIEWiä. Tämän seurauksena mittaussovelluksessa on varmasti monia kohtia, jotka joku kokeneempi LabVIEW-ohjelmoija voisi kehittää ja näin parantaa mittauksen tehokkuutta.

Toinen asia, jolla mittauksen luotettavuutta voitaisiin parantaa, voisi olla sovellukseen lisätty, eri mittausinstrumenteista tuttu keskiarvotoiminto (average). Keskiarvotoimintoa hyödyntämällä järjestelmä mittaisi yhtä mittauspistettä esimerkiksi 10 kertaa ja laskisi saaduista mittaustuloksista keskiarvon. Nykyisessä mittausjärjestelmässä jokainen

mittauspiste mitataan yhden kerran. Keskiarvotoiminnolla saataisiin parannettua mittaustuloksien luotettavuutta, sillä kun jokainen mittauspiste mitattaisiin 10 kertaa, ei jollakin mittauskerralla vaikuttanut häiriötekijä vaikuttaisi niin paljon saatuun mittaustulokseen. Tällä hetkellä satunnaisella häiriötekijällä voi olla vaikutusta, kun yhtä mittauspistettä mitataan vain yhden kerran.

Mittausjärjestelmää voitaisiin myös automatisoida lisää, lisäämällä oskilloskooppimittaus tietokoneella käytettäväksi. Tämä vaatisi lisäohjelmointia ja oskilloskoopin mittapään integroimista mittalaitteeseen. Mittapäänpidikettä voisi myös jatkokehittää siten, että komponentti voitaisiin mitata 3-uloitteisesti. Tämä vaatisi jonkinlaisen robottikäden tai muunlaisen robotiikan kehittämistä.

Lopuksi mainittakoon, että tutkintotyölle annetusta tiukasta aikataulusta huolimatta työ valmistui ajallaan. Tätä edesauttoi se, että työtä edeltävä suunnittelu tehtiin riittävällä tarkkuudella ja huolellisuudella.

Tästä johtuen työ onnistuikin erinomaisesti annettuihin lähtökohtiin ja määritelmiin nähden. Myös muissa tutkintotyön vaiheissa käytetty riittävä suunnitelmallisuus ja aikataulutus auttoivat saamaan tutkintotyö valmiiksi ajallaan.

Lopuksi todettakoon vielä, että tutkintotyö onnistui kokonaisuudessaan yli odotusten ja sen onnistuminen on suurimmaksi osaksi kiinni tutkintotyön tekijän motivaatiosta saada työ suoritettua ajallaan valmiiksi.



## LÄHDELUETTELO

### Painetut lähteet

- 1 Aaltonen, Juha – Kousa, Seppo, Stor-Pellinen, Jyrki. *Elektroniikan perusteet*. Limes Ry. 2004. s. 20
- 2 Coombs, Clyde F Jr. *Coombs' Printed Circuit Handbook: Fifth Edition. Assembly Processes*. R.R. Donnelley & Sons Company. 2001. s.41.11-41.13
- 3 Coombs, Clyde F Jr. *Coombs' Printed Circuit Handbook: Fifth Edition. Physical Characteristics of the PCB*. R.R. Donnelley & Sons Company. 2001. s.13.15-13.16
- 4 National Instruments. *Measurement and Automation Catalog 07*. S.23-29. National Instruments. 2007
- 5 Acarnley, P. P. *Stepping Motors: a guide to modern theory and practice*. Second Edition. Peter Peregrinus Ltd. 1984. s.1-14

### Sähköiset lähteet

- 6 Advanced Micro Systems Incorporated. *Step Motor Reference Guide: Stepper Motor Basics*. Sähköinen dokumentti. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://www.ams2000.com/stepping101.html>. s.1-9
- 7 Turun Yliopisto. Tuominen, Aulis. *Elektroniikan komponentit ja materiaalit IV: Kela*. Sähköinen luentomateriaali. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: [http://users.utu.fi/tpakk/xerox/Elektroniikan\\_komponentit\\_ja\\_materiaalit/Materiaalit4.pdf](http://users.utu.fi/tpakk/xerox/Elektroniikan_komponentit_ja_materiaalit/Materiaalit4.pdf)
- 8 Huber-Suhner. *Huber-Suhner EF400 RF-kaapelin datalehti*. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://www.hubersuhner.com/mozilla/products/hs-p-rf/hs-rf-product-search/hs-sup-search-prod-rf-cab-2g.htm?applied=1&search=&display=12&unit=si&step=1&col=&sort=&vt=12416&list=d&listed=2&prm=96C0DAF946E30AB4B63DF15DA33FFFDD#top>
- 9 Filtronic Sage Laboratories. *Rotary Joint 345-adapterin datalehti*. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: [http://www.filss.com/comp/rotary\\_joints/345%20Series%20Rotary%20Joints%20Rev041906.pdf](http://www.filss.com/comp/rotary_joints/345%20Series%20Rotary%20Joints%20Rev041906.pdf)

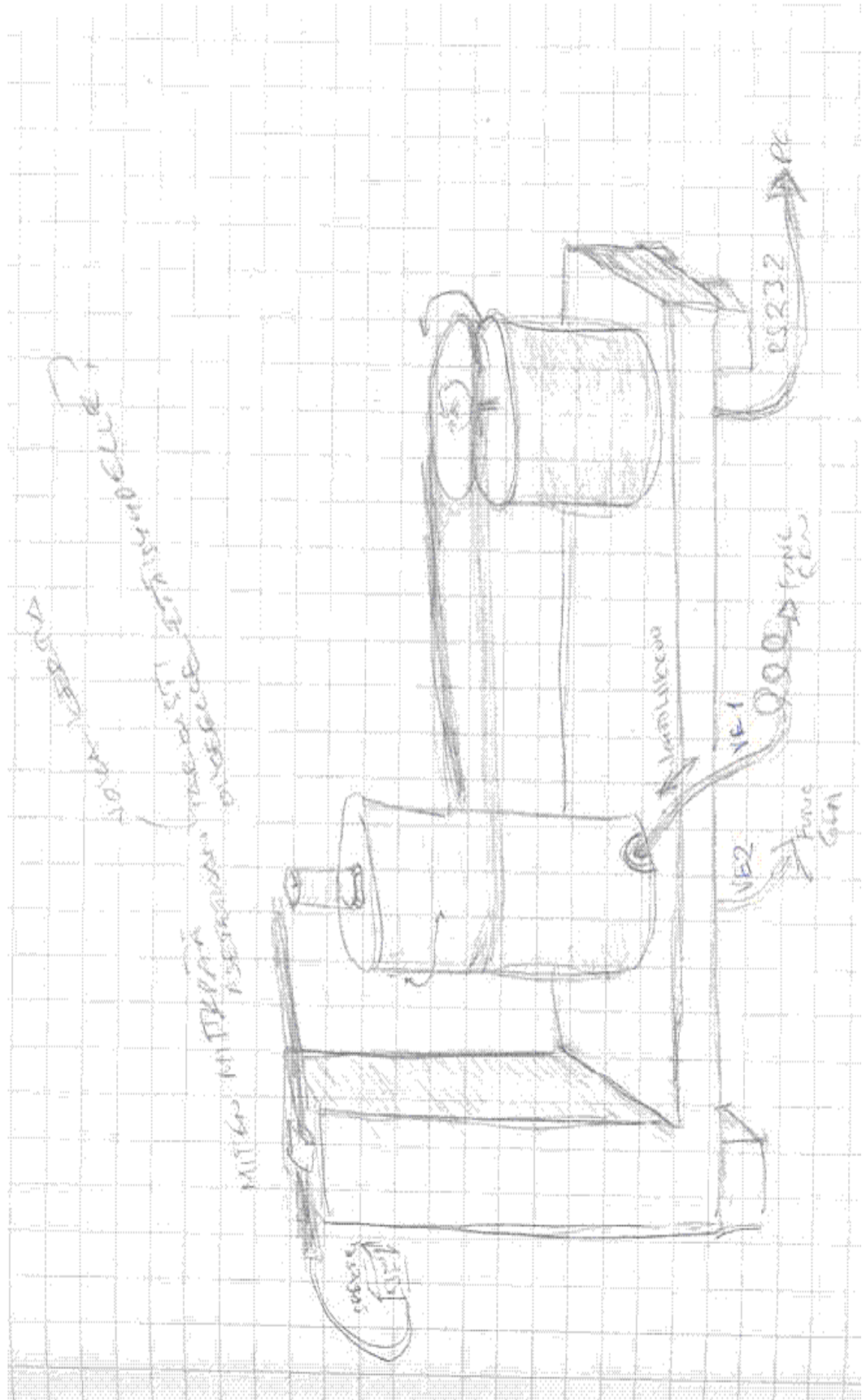
- 10 LabVIEW Tutorial 5.1. [www-sivu]. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://www-ee.eng.buffalo.edu/faculty/paololiu/edtech/roaldi/tutorials/labview.htm>
- 11 LabVIEW for Dummies. [www-sivu]. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://www.iit.edu/~labview/Dummies.html>
- 12 National Instruments LabVIEW 8.0. [www-sivu]. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://www.ni.com/labview>
- 13 Configuring and Controlling Agilent 332220A signal generator... - LabVIEW - NI Discussion Forums. [www-sivu]. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://forums.ni.com/ni/board/message?board.id=170&message.id=132266&query.id=24818#M132266>
- 14 Control Step Motor in LabVIEW via Step Motor Driver - Motion Control and Motor Drives. [www-sivu]. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://forums.ni.com/ni/board/print?board.id=240&message.id=3482&page=1&format=all>
- 15 Interactive Tutorials - Webcasts - National Instruments. [www-sivu]. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://www.ni.com/events/tutorials/campus.htm>
- 16 Can I Represent Frequency Domain Data Using the Waveform Data Type - KnowledgeBase - Support - National Instruments. [www-sivu]. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/09707d68e4edee7b86256938005bdb4a>
- 17 LabVIEW Graphical Programming Course. [www-sivu]. [Viitattu 02.03.2007]. Saatavissa: <http://cnx.org/content/col10241/latest/>

#### **Painamattomat lähteet**

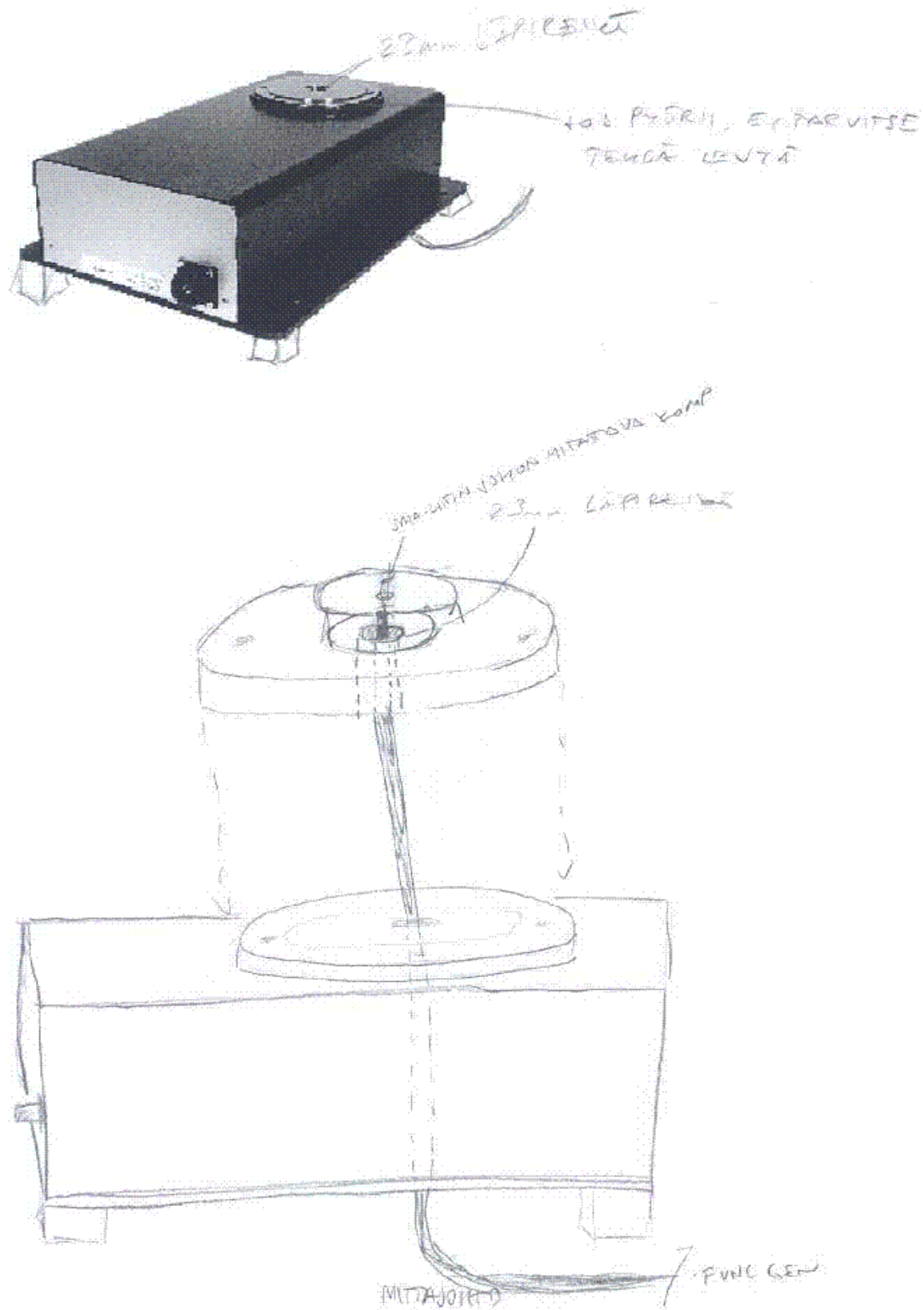
- 18 Suhonen, Sami, Sähköoppi ja magnetismi. Luennot 2003-2004. Tampereen ammattikorkeakoulu

## LIITELUETTELO

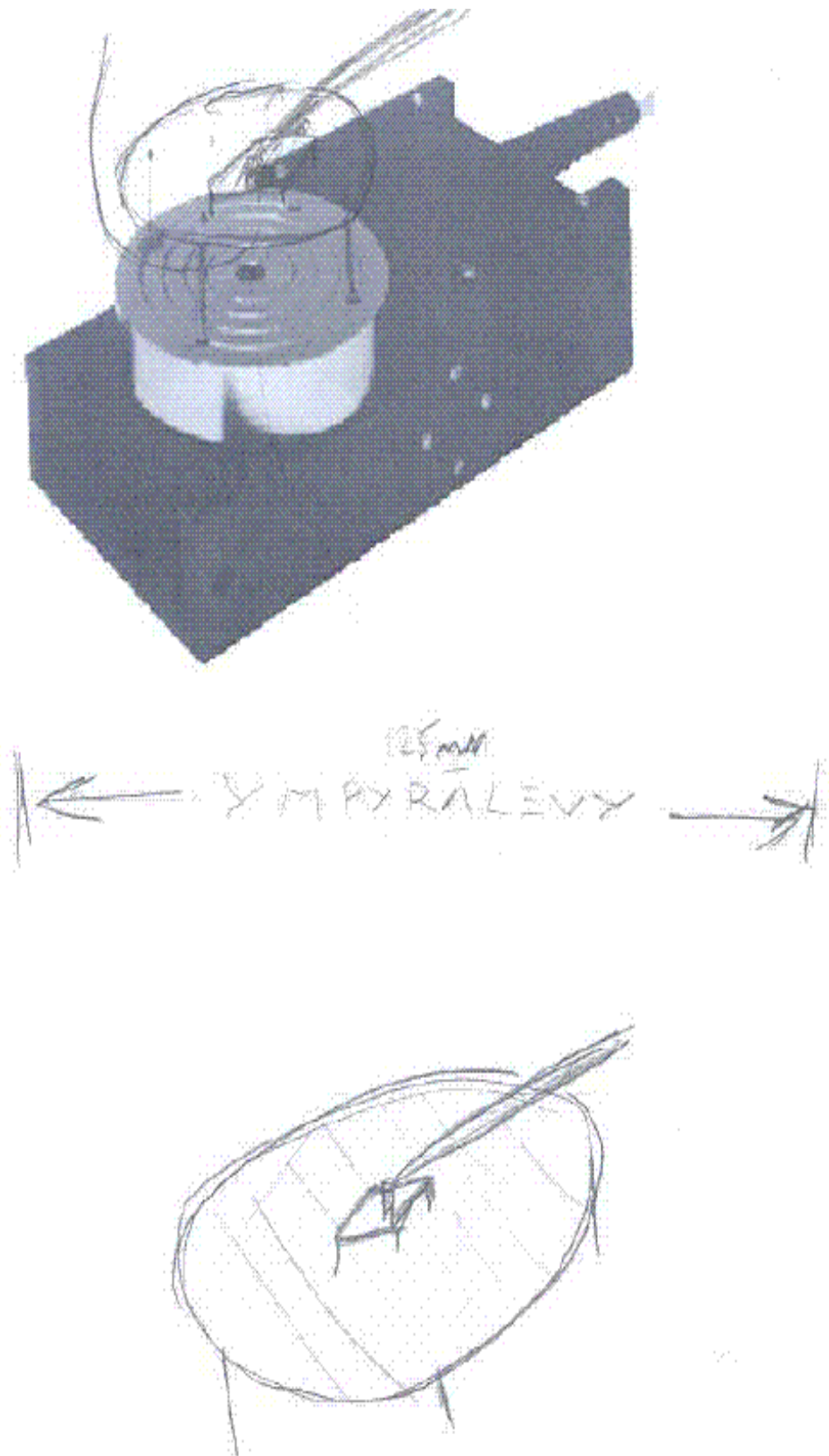
- 1 Yksi mittausjärjestelmän ensimmäisistä luonnostelmista
- 2-4 Mittausjärjestelmästä tehdyt hahmotelmat käyttämällä Techno Inc:n Rotation Table:ja
- 5 Spektrianalysaattorin ohjaaminen LabVIEW 8.0:lla
- 6 JVL MIS234 askelmoottorin ohjaaminen LabVIEW 8.0:lla
- 7 Pop-Up kyselyikkunan toteutus 8.0:lla sekä kuvakaappaus valmiista Pop-Up kyselyikkunasta
- 8 Mittauspöytäkirjan generointi Microsoft Excel muotoon LabVIEW 8.0:lla
- 9 Mittauspöytäkirja Valmistajan 1  $10 \mu H$  kelalle
- 10 Mittauspöytäkirja Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle
- 11 Mittauspöytäkirja Valmistajan 3  $10 \mu H$  kelalle
- 12 Valmistajien 1-3  $10 \mu H$  kelojen magneettikenttien kuvaajat 5MHz:llä ja 15MHz:llä
- 13 Mittauspöytäkirja Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle, ennen kun komponenttia on vaurioitettu rautaviilalla
- 14 Mittauspöytäkirja Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelalle, sen jälkeen kun komponenttia on vaurioitettu rautaviilalla mittauspisteiden 3-5 välistä
- 15 Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelan magneettikenttä 5MHz:stä ja 15MHz:stä mitattuna, ennen komponentin muokkaamista rautaviilalla ja komponentin muokkaamisen jälkeen
- 16 Valmistajan 2  $10 \mu H$  kelan magneettikenttä 5MHz:sta ja 15MHz:sta mitattuna, komponentti oikeinpäin padille asennettuna ja komponentti väärinpäin padille asennettuna



Kuva 1: Yksi mittausjärjestelmän ensimmäisistä luonnostelmista



Kuva 1: Mittalaitteen luonnostelma 1 käyttäen Techno Inc:n Rotation Tableja



Kuva 1: Mittalaitteen luonnostelma 2 käyttäen Techno Inc:n Rotation Tableja

KISETTELI

40mm

$P = 2\pi \cdot 314$

$2000$

$2000 / 25 = 80$

$80 \cdot 40 = 3200$

EWC ROFLER 400, 16

mitä  $r = 40$  mm ( $d = 80$ )

$P = 2\pi \cdot 40 = 251$  mm

Mitä jos  $d = 100$

$P = \pi \cdot 100 = 314$  mm

$\Delta P = P_2 - P_1 = 63$  mm

$\frac{471 \text{ mm}}{63 \text{ mm}} = 7.5$

100mm

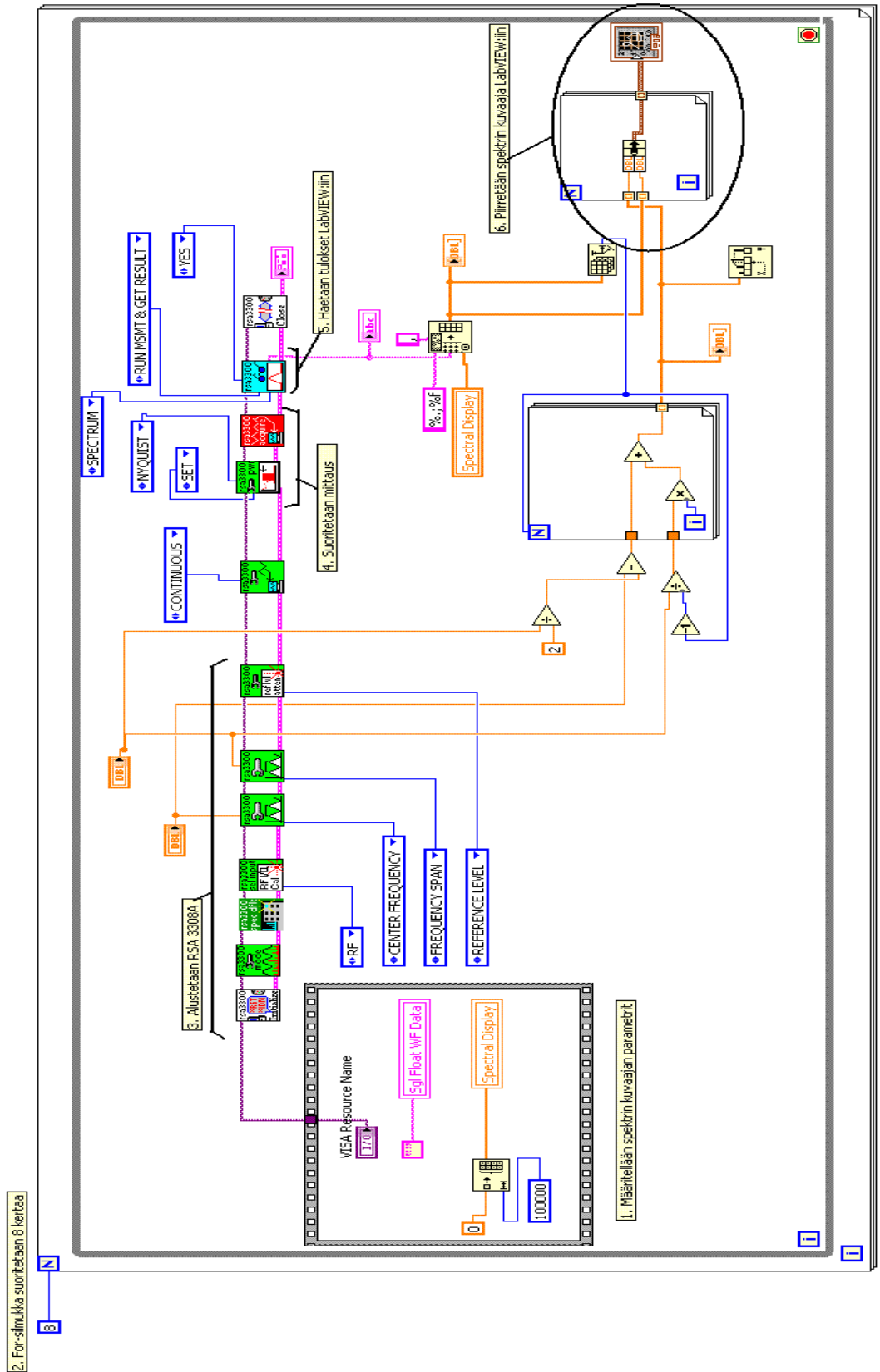
EWC GER

EWC GER

MITÄ JOS KUNNITYS

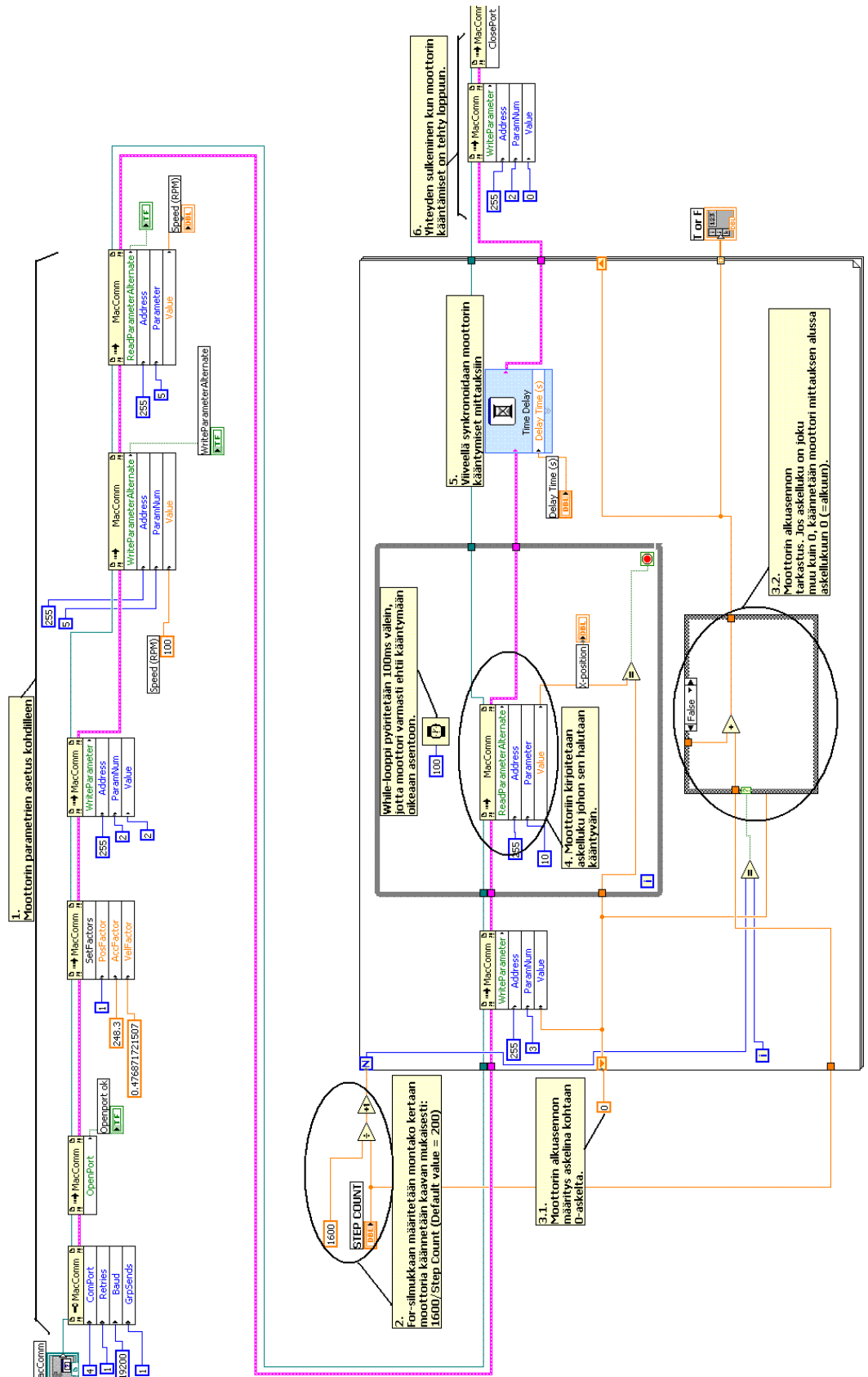
- TÄRKEÄ KUNNITUSJONONNEN TEKNISEEN TÄRKEÄ

Kuva 1: Mittalaitteen luonnostelma 3 käyttämällä Techno inc:n Rotation Tableja

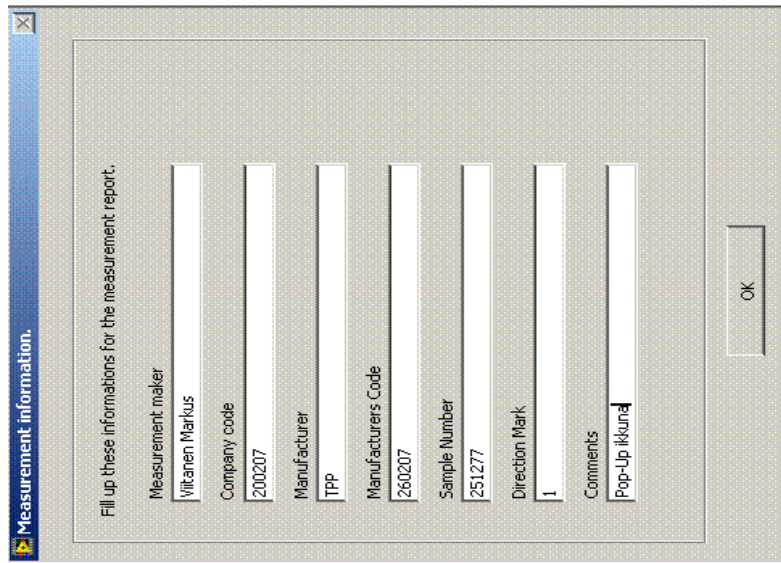


Kuva 1: Spektrianalysaattorin ohjaaminen LabVIEW 8.0:lla.

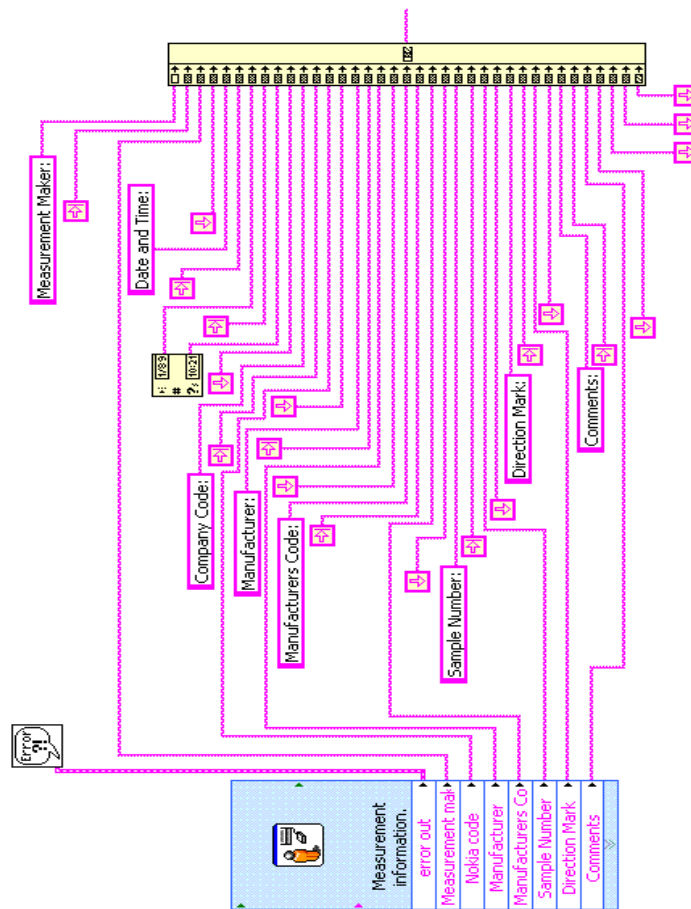




Kuva 1: JVL MIS234 askelmoottorin ohjaaminen LabVIEW 8.0:lla.

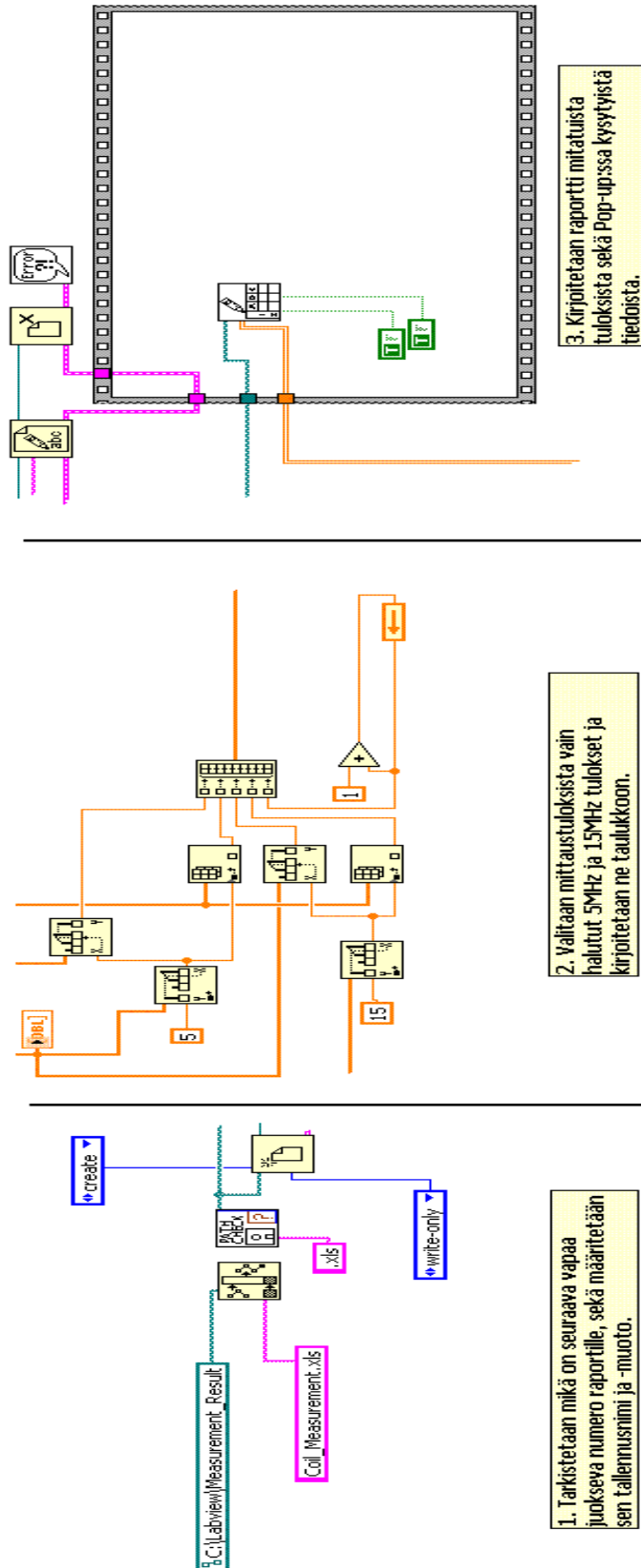


Ennen kuin mittaus aloitetaan kysytään käyttäjältä tietoja mittauksesta Pop-Up ikkunassa



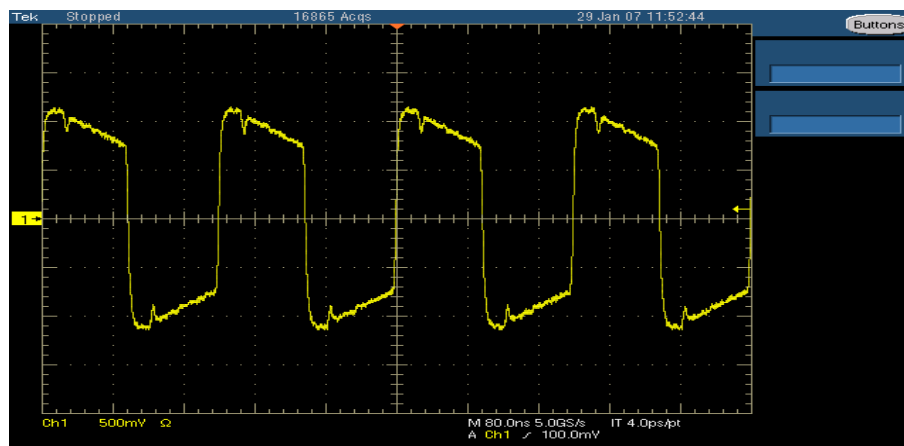
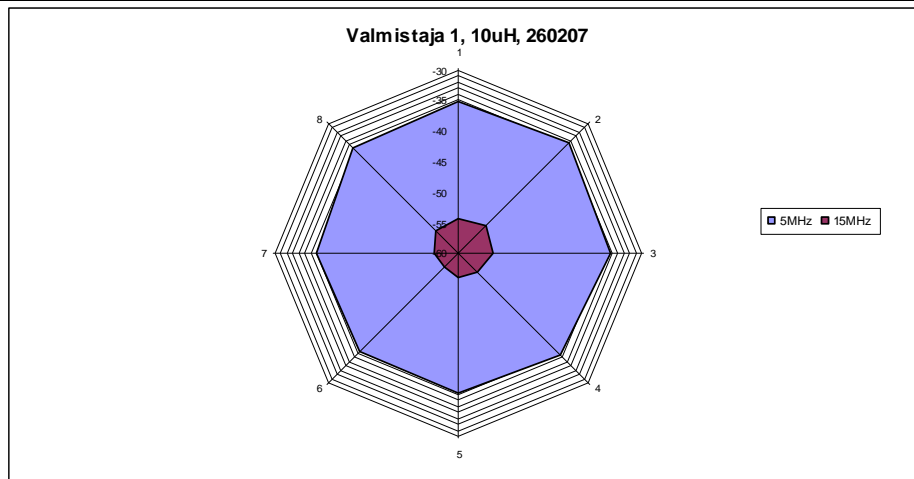
Pop-Up kyselyikkunan toteutus LabVIEW:ssä

Kuva 1: Pop-Up kyselyikkunan toteutus 8.0:lla sekä kuvakaappaus valmiista Pop-Up kyselyikkunasta.



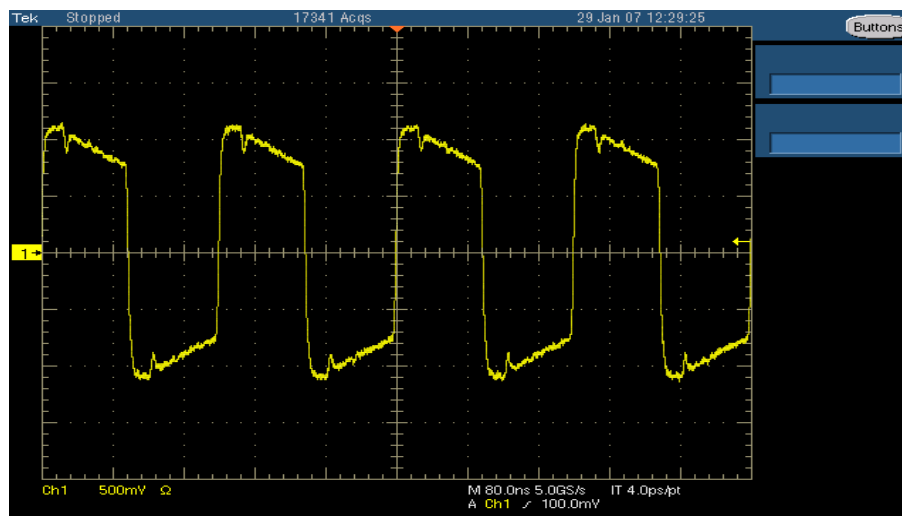
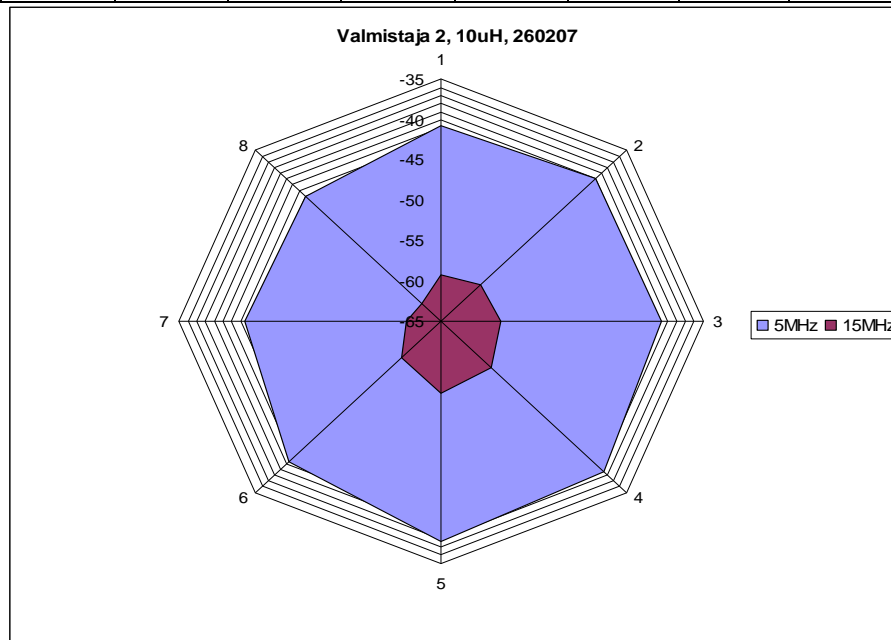
Kuva 1: Mittauspöytäkirjan generointi Microsoft Excel muotoon LabVIEW 8.0:lla.

Measurement							
Maker:	Viitanen Markus						
Date and Time:	26.02.2007	12:34					
Company Code:	200207						
Manufacturer:	Valmistaja 1						
Manufacturers Code:	260207						
Sample Number:	S1						
Direction Mark:	1						
Comments:	Valmistaja 1: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia ei modifioitu.						
5	5	5	5	5	5	5	5
-35.344	-34.731	-35.441	-36.407	-37.166	-37.567	-37.096	-35.876
15	15	15	15	15	15	15	15
-54.373	-53.657	-54.31	-55.479	-56.168	-56.496	-55.947	-54.802
1	2	3	4	5	6	7	8



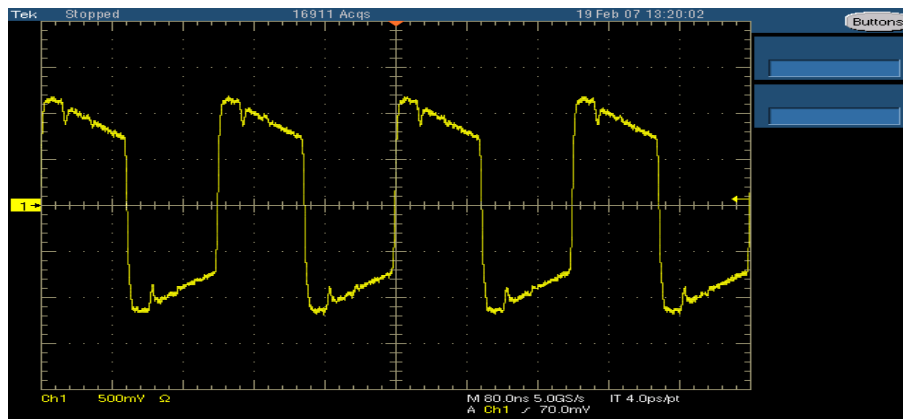
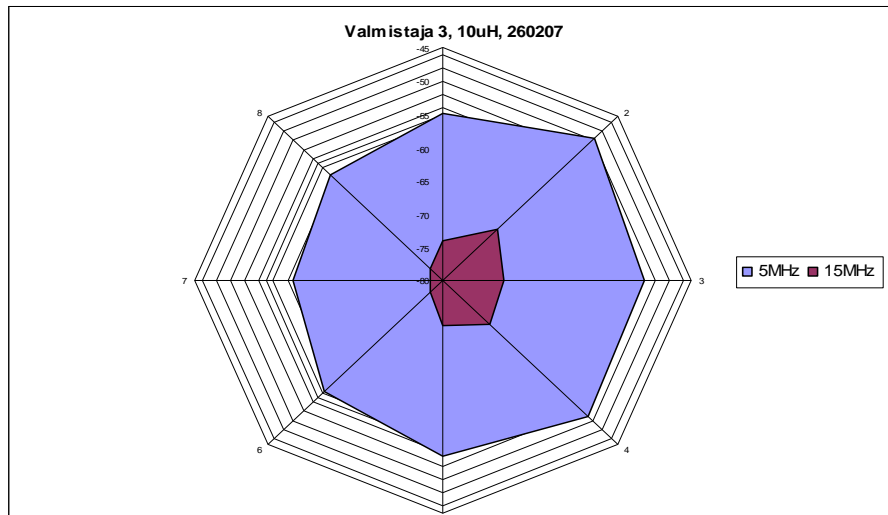
Mittauspöytäkirja Valmistajan 1 10  $\mu H$  kelalle

Manufacturer:		Valmistaja 2					
Manufacturers Code:		260207					
Sample Number:		S1					
Direction Mark:		1					
Comments:		Valmistaja 2: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia ei modifioitu.					
5	5	5	5	5	5	5	5
-40.764	-40.127	-39.771	-38.61	-37.77	-40.373	-42.573	-43.085
15	15	15	15	15	15	15	15
-59.232	-58.674	-58.158	-56.951	-56.053	-58.758	-61.078	-61.848
56	57	58	59	60	61	62	63

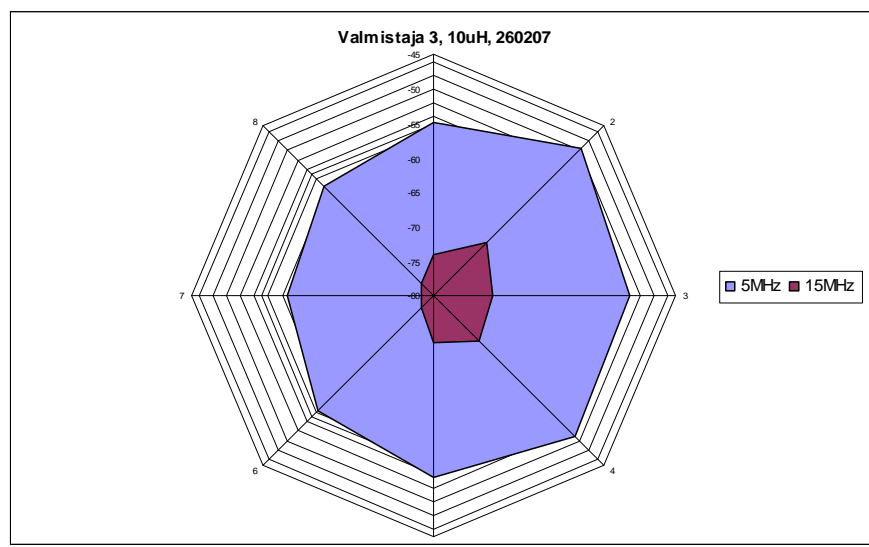
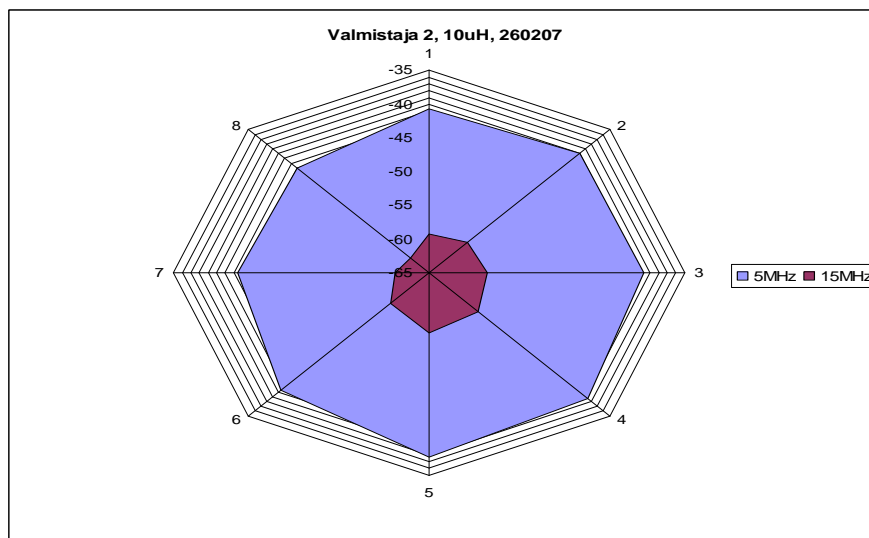
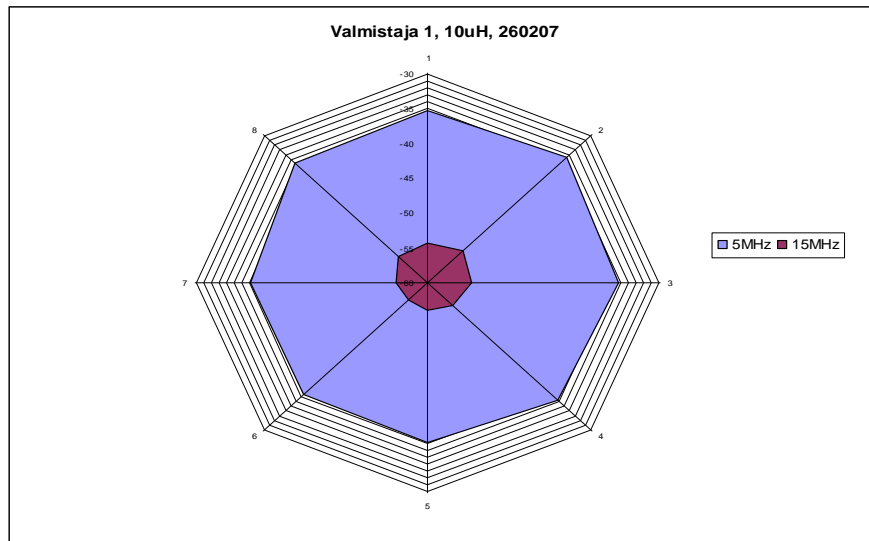


Mittauspöytäkirja Valmistajan 2 10  $\mu H$  kelalle

Measurement Maker:	Viitanen Markus						
Date and Time:	26.02.2007	12:13					
Company Code:	200207						
Manufacturer:	Valmistaja 3						
Manufacturers Code:	260207						
Sample Number:	S1						
Direction Mark:	1						
Comments:	Valmistaja 3: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia ei modifioitu.						
5	5	5	5	5	5	5	5
-54.809	-49.809	-51.588	-50.858	-53.534	-56.198	-58.819	-57.646
15	15	15	15	15	15	15	15
-74.058	-69.316	-71.342	-70.789	-73.165	-77.279	-78.323	-77.457
24	25	26	27	28	29	30	31

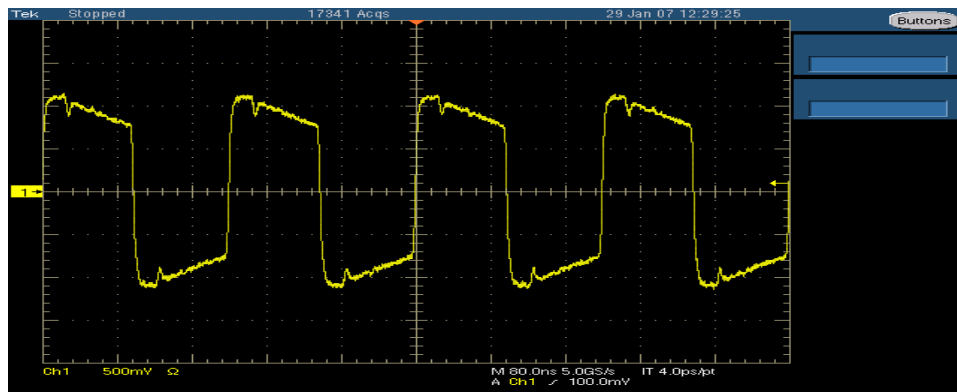
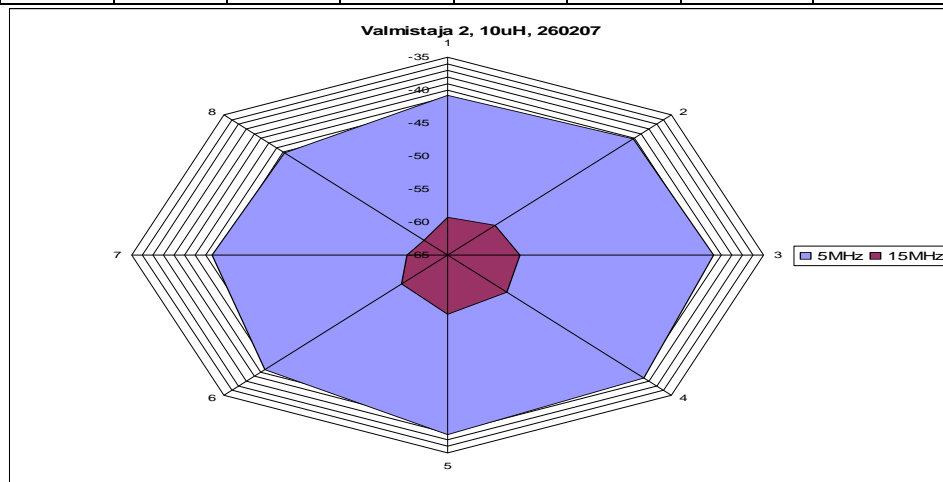


Mittauspöytäkirja Valmistajan 3 10  $\mu H$  kelalle



Valmistajien 1-3 10  $\mu H$  kelojen magneettikenttien kuvaajat 5MHz:llä ja 15MHz:llä

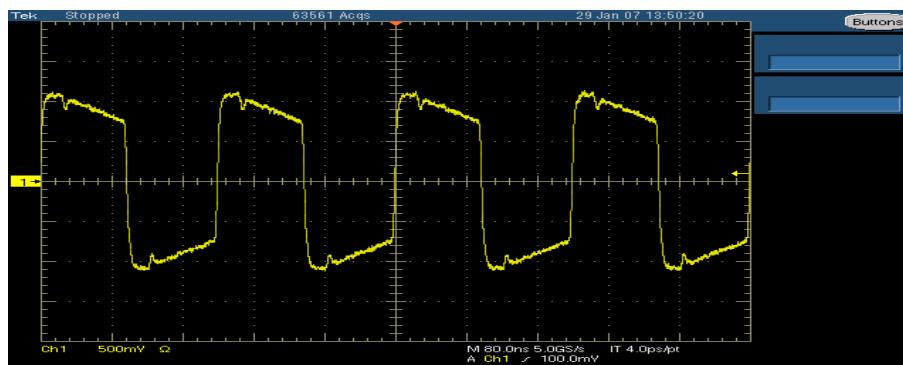
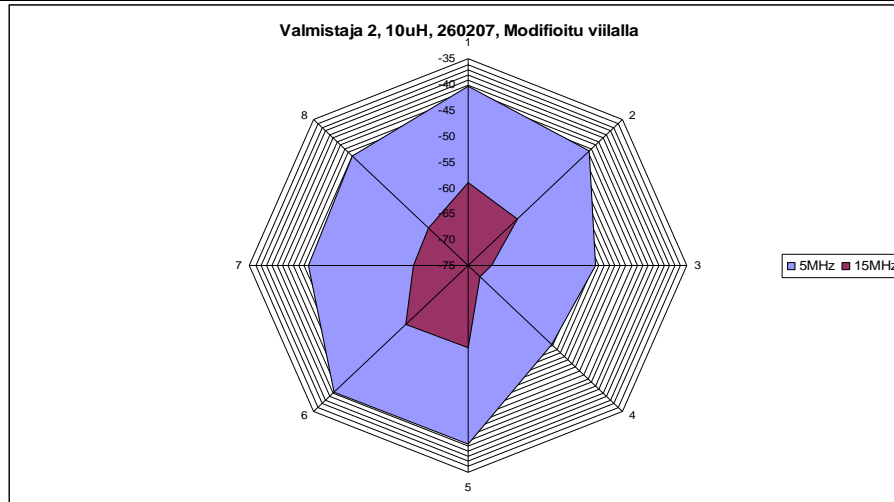
Measurement Maker:	Viitanen Markus						
Date and Time:	29.01.2007					12:33	
Nokia Code:	3649037						
Manufacturer:	Valmistaja 2						
Manufacturers Code:	260207						
Sample Number:	S2						
Direction Mark:	1						
Comments:	Valmistaja2: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia EI modifioitu.						
5	5	5	5	5	5	5	5
-40.764	-40.127	-39.771	-38.61	-37.77	-40.373	-42.573	-43.085
15	15	15	15	15	15	15	15
-59.232	-58.674	-58.158	-56.951	-56.053	-58.758	-61.078	-61.848
56	57	58	59	60	61	62	63



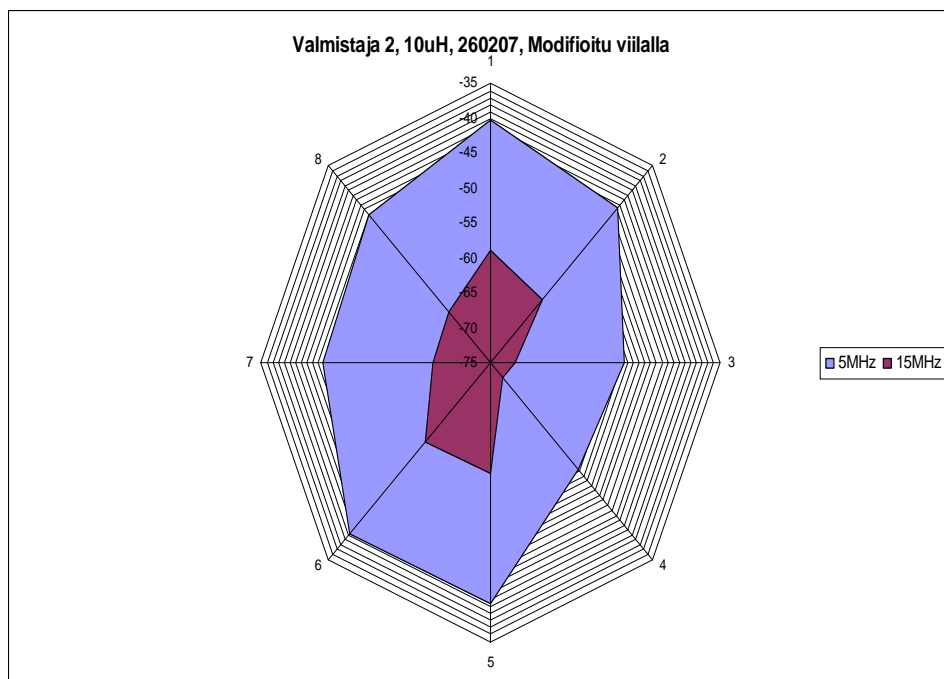
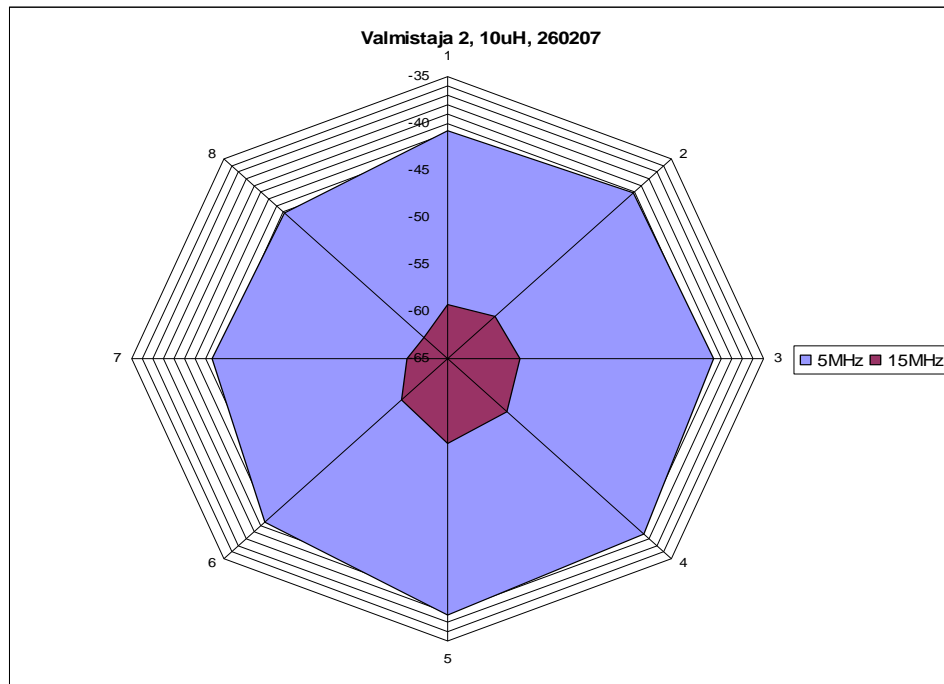
Mittauspöytäkirja Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelalle, ennen kun komponenttia on vaurioitettu rautaviilalla



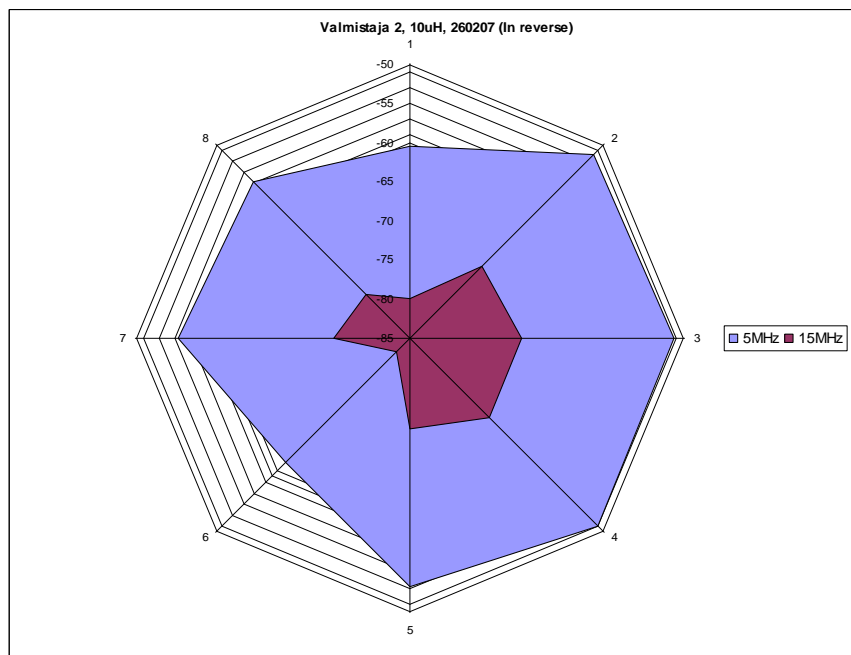
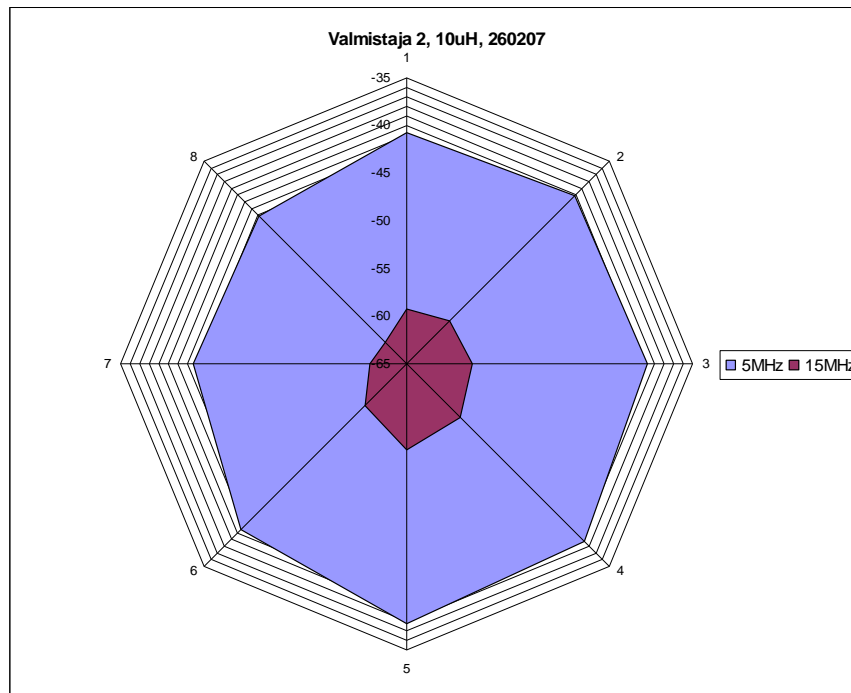
Measurement Maker:	Viitanen Markus						
Date and Time:	29.01.2007					12:44	
Nokia Code:	200207						
Manufacturer:	Valmistaja 2						
Manufacturers Code:	260207						
Sample Number:	S2						
Direction Mark:	1						
Comments:	Valmistaja2: Etäisyys komponentista 1.0mm; korkeus 0.4mm. Komponenttia modifioitu rautaviilalla mittauspisteiden 3-5 välistä.						
5	5	5	5	5	5	5	5
-40.241	-43.563	-51.705	-53.322	-40.575	-40.235	-45.763	-45.009
15	15	15	15	15	15	15	15
-58.985	-62.31	-70.776	-72.015	-59.066	-58.962	-65.008	-64.828
1	2	3	4	5	6	7	8



Mittauspöytäkirja Valmistajan 2  $10\mu H$  kelalle, sen jälkeen kun komponenttia on vaurioitettu rautaviilalla mittauspisteiden 3-5 välistä



Valmistajan 2 10  $\mu H$  kelan magneettikenttä 5MHz:stä ja 15MHz:stä mitattuna, ennen komponentin muokkaamista rautaviilalla (Yllä) ja komponentin muokkaamisen jälkeen (Alla)



Valmistajan 2  $10\ \mu H$  kelan magneettikenttä 5MHz:sta ja 15MHz:sta mitattuna, komponentti oikeinpäin padille asennettuna (Yllä) ja komponentti väärinpäin padille asennettuna (Alla)