

Markus Törmänen

**TX-mittausten automatisointi LabVIEW-ohjelmalla**

## **TX-mittausten automatisointi LabVIEW-ohjelmalla**

Markus Törmänen  
Insinööriyö  
Kevät 2011  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

## ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Nokia Siemens Networks Oy:lle, Oulun Ruskon tuotekehitysosastolle. Haluan kiittää työnantajaani ja tuotekehitysosaston RF-tiimin vetäjää Helena Helistenä mielenkiintoisen opinnäytetyön saamisesta. Erityisesti haluan kiittää ohjaajaani Aki Tienviertä kannustamisesta ja hyvistä neuvoista työn etenemisen eri vaiheissa. Haluan kiittää myös Oulun seudun ammattikorkeakoulun, Raahen tekniikan ja talouden yksikön valvovaa opettajaa lehtori Leo Ilkkoa, joka omalla ajalla jaksoi pitää palavereja työn eri vaiheissa.

Oulussa 24.1.2011

Markus Törmänen

## TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä: Markus Törmänen  
Opinnäytetyön nimi: TX-mittausten automatisointi LabVIEW-ohjelmalla  
Työn ohjaajat: Aki Tienvieri, Leo Ilkko  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2011

Sivumäärä: 45 + liitteet

---

## TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö on tehty Nokia Siemens Networks, Oulun Ruskon tuotekehityksen RF-laboratorioon. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella LabVIEW-ohjelmointiympäristössä käyttöliittymä, jolla saadaan automatisoitua tietyt TX-mittaukset tuotekehitysvaiheessa oleviin TRX-moduuleihin. Aikaisemmin nämä mittaukset ja tulosten kirjaamiset on suoritettu manuaalisesti käyttäen apuna yksittäisiä LabVIEW-ohjelmia, jolloin yhden levyn mittaamiseen ja tulosten kirjaamisiin on kulunut yhdessä lämpötilassa noin viikko. Käyttöliittymän tavoitteena olikin tehdä mittaukset ja tulosten kirjaamiset automaattisesti ja nopeammin aikaisempaan malliin verrattuna. Käyttöliittymän pitäisi olla myös luotettava, helppokäyttöinen ja englanninkielinen.

Oulun seudun ammattikorkeakoulun, Raahen tekniikan ja talouden yksikön opintoihin kuului LabVIEW -peruskurssi, joka antoi hyvät valmiudet ohjelman käyttöön ja aikaa itse ohjelman käyttämisen opetteluun ei tarvinnut käyttää. LabVIEW'ille löytyi myös paljon perusmateriaalia, jota työssä pystyi käyttämään hyödyksi.

Työn eri vaiheet koostuivat yksittäisten aliohjelmien tekemisestä, joten työ eteni hyvin järjestelmällisesti ja jokainen valmis aliohjelma tuli testattua heti sen valmistuttua. Käyttöliittymällä tehtiin lopuksi testimittaus, joka osoittautui todella nopeaksi. Mittauksiin käytetty uusi aika oli noin yksi tunti. Käyttöliittymästä tuli luotettava, helppokäyttöinen ja englanninkielinen.

---

Asiasanat:

*LabVIEW, Ohjelmointiympäristö, Automaatio, ACLR, SEM, EVM*

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme in Information Technology

---

Author: Markus Törmänen  
Title of thesis: Automatization of TX-measurements with LabVIEW  
Supervisors: Aki Tienvieri, Leo Ilkko  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2011  
Number of pages: 45 + appendices

---

## ABSTRACT

The purpose of this thesis work was to design a user interface with LabVIEW for Nokia Siemens Networks, Oulu Rusko plant's R&D RF-laboratory. The user interface should make certain TX-measurements automatically for TRX-modules in the R&D phase. Earlier, the measurements and result savings were made manually, by using some LabVIEW-programs. It took approximately one week to measure one TRX-board in one temperature. Result savings are included in that one week. The intention of the user interface was to make the measurements and result savings automatically, faster than earlier. The user interface should also be reliable, easy to use and in English.

There was a basic course of LabVIEW at Oulu University of Applied Sciences, Raahe School of Engineering and Business. That course provided this thesis work because there was no need to learn to use the labVIEW program any more. I also found a lot of basic materials for LabVIEW and I used that material in this thesis work.

This thesis work proceeded periodically, because the code consists of many procedures and every procedure was tested immediately after accomplishment. Finally, I made a test measurement and I noticed that it was very fast compared to manual tests. It took approximately one hour to make that measurement. The user interface also became reliable, easy to use and it is in English.

---

Keywords:

*LabVIEW, Programming environment, Automation, ACLR, SEM, EVM*

## SISÄLLYS

ALKULAUSE	1
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO JA MÄÄRITELMÄ	5
2 LABVIEW	6
2.1 LabVIEW-ohjelma	6
2.2 GPIB-väylä	7
3 3GPP	8
4 SUORITETTAVAT MITTAUKSET	9
4.1 ACLR	10
4.2 SEM	11
4.3 EVM, PCDE ja Frequency error	12
4.4 Spurious emissions	14
4.5 Gain control range	14
5 TOIMINTAYMPÄRISTÖ	15
6 MITTAUSOHJELMAN KÄYTTÖLIITTYMÄ	17
6.1 Käyttöliittymän etupaneeli	19
6.2 Tab control	23
6.3 Setup and measurements main	24
6.4 Device init	27
6.5 Carrier setup main	28
6.6 Script file execution	29
7 ACLR-MITTAUSALIOHJELMA	30
8 KÄYTTÖLIITTYMÄN TESTAUS	38
8.1 Testipenkki	38
8.2 Ohjelman toimivuus	39
9 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET	41
10 YHTEENVETO	42
LÄHDELUETTELO	44
LIITTEET	45

# 1 JOHDANTO JA MÄÄRITELMÄ

Nokia Siemens Networks Oy on yksi maailman suurimmista laitteisto-, ohjelmisto- ja niihin liittyvien palvelujen tuottajista tietoliikennealalla. Oulun Ruskon tehtaalla on suunniteltu ja valmistettu kolmannen sukupolven tukiasemia jo vuosia. Viime vuosina lähetinmittausten tekeminen tietokonepohjaisten mittaus- ja testausohjelmien avustuksella on ollut erittäin runsasta aina tuotekehityksestä tuotantoon.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä käyttöliittymä lähetinmittauksia varten LabVIEW 2010 -ohjelmalla. Käyttöliittymän tuli suorittaa lähetin-/vastaanotinmoduulille tuotekehityksessä suoritettavat tietyt lähetinmittaukset automaattisesti käyttäjän asettamien asetusten mukaisesti sekä tulostaa mittaustulokset Excel-taulukkoon.

Mittaukset tulosten kirjaamisineen on aiemmin suoritettu manuaalisesti, käyttäen apuna yksittäisiä valmiita LabVIEW -pohjaisia ohjelmia. Yhdessä lämpötilassa suoritettavat mittaukset ovat kestäneet noin 1 työviikon. Tässä työssä tehtävän käyttöliittymän tulisi nopeuttaa huomattavasti tehtäviä mittauksia ja vapauttaa samalla suunnittelijan aikaa enemmän itse suunnitteluun.

Käyttöliittymän tulisi olla mahdollisimman joustava eri mittalaitteiden ja mitattavien moduulien kanssa, eli siinä tulisi olla mahdollisimman kattavasti laboratoriossa käytössä olevat mittalaitteet, joita mittauksissa voidaan käyttää. Käyttöliittymän tulee olla luotettava ja helppo käyttää. Myös testausten onnistuminen eri moduulivaihtoehdoilla täytyy varmistaa. Käyttöliittymä tuli tehdä englanninkieliseksi ja koodin selitykset koodiin englanniksi.

Itse toteutettavan koodin tulee suorittaa mittalaitteiden initialisointi, mittausparametrien haku Excel-taulukosta, mitattavan moduulin initialisointi, lämpökaapin lämpötilan säätö kolmelle eri lämpötilalle, moduulin käyttöjännitteen säätö kolmelle eri käyttöjännitteelle, moduulin taajuuden säätö, moduulin lähtötehon säätö, valinta 1 – 4 kantoaallolle, moduulille tehtävien mittausten valinnat, ohjelman etenemisen seuraaminen sekä mittaustulosten tallennus Excel-taulukkoon. Koodin tulee olla modulaarinen ja sitä kautta selkeä.

## 2 LABVIEW

### 2.1 LabVIEW-ohjelma

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) tarjoaa graafisen ohjelmointiympäristön testaus-, mittaus- ja ohjaussovelluksien kehittämiseen. LabVIEW'hun on integroitu tuhansien kovopohjaisten laitteiden tiedot, ja se sisältää satoja sisäänrakennettuja kirjastoja erilaisiin mittaustulosten analysointiin ja visualisointiin liittyviin tehtäviin. Järjestelmää voidaan soveltaa useissa erilaisissa käyttöjärjestelmissä, useiden erilaisten prosessoripiirien (esim. x86-tyypiset), reaaliaikaisten käyttöjärjestelmien (RTOS) sekä FPGA-piirien kanssa. (Uutistiedotteet, National Instruments, hakupäivä 11.10.2010).

Virtuaali-instrumentoinnissa mittaukset ja automaatio toteutetaan tietokonetta ja tietokonetekniikoita hyödyntäen, mikä mahdollistaa tehokkaamman tuotannon ja alhaisemmat kehityskustannukset hyvin integroituvien ohjelmointityökalujen avulla. Näihin kuuluu graafinen LabVIEW-ohjelmointiympäristö sekä eri väylävaihtoehdoille (PXI, PCI, PCI Express, USB ja Ethernet) soveltuvat modulaariset mittaus- ja ohjauslaitteet. (Tuotetietoa, National Instruments, hakupäivä 9.11.2010).

LabVIEW:ssa tehtävät ohjelmat ovat jokainen omia virtuaali-instrumentteja, jotka koostuvat kolmesta osasta: etupaneeli (front panel), kaaviodiagrammi (block diagram) ja kuvake + liitäntäpari (icon + connector pane). Kuvakkeen liitäntäpariin liitetään aliohjelman etupaneelissa halutut kontrollit (inputs) ja indikaattorit (outputs), jolloin aliohjelma voidaan langoittaa toiseen aliohjelmaan. Valmiita ohjelmia voidaan käyttää toisten ohjelmien aliohjelmina, jolloin koodista saadaan selkeämpi, kun yksittäisen ohjelman koodi ei kasva kohtuuttoman suureksi. Lopullinen käyttäjälle näkyvä käyttöliittymä on myös etupaneelissa ja sille on oma kaaviodiagrammi sekä kuvake.

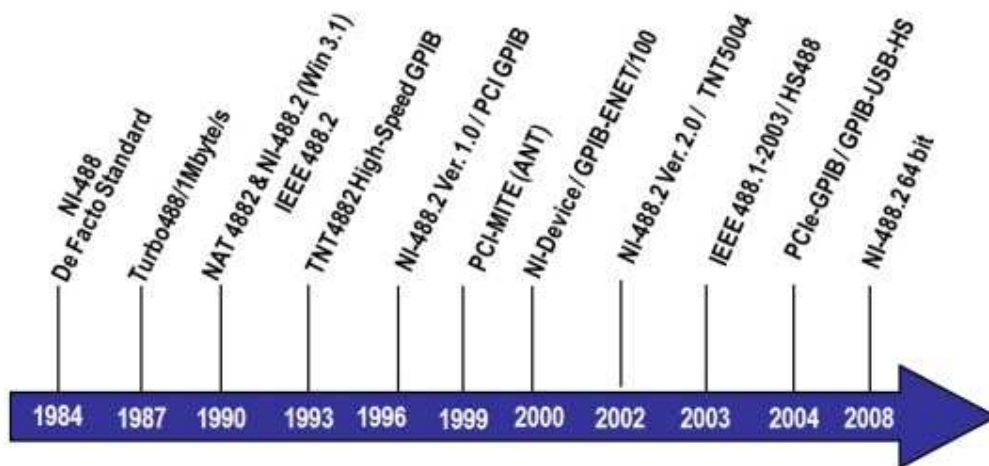


## 2.2 GPIB-väylä

Alkuperäinen GPIB kehitettiin Hewlett-Packardin toimesta 1960-luvun lopulla, mikä oli nimeltään HP-IB. Liitännällä kytkettiin ja ohjattiin ohjelmoitavia laitteita, joita Hewlett-Packard valmisti. IEEE (the Institute of Electrical and Electronic Engineers) julkaisi ANSI/IEEE standardin 488-1975, joka sisälsi liitäntäjärjestelmän sähköisen, mekaanisen ja toiminnallisen määrittelyn. Tätä väylää käytetään maailmanlaajuisesti ja tunnetaan kolmella nimellä:

- General Purpose Interface Bus (GPIB)
- Hewlett-Packard Interface Bus (HP-IB)
- IEEE 488 Bus

National Instruments (NI) perustettiin 1976 ja sen tuli tuottaa ohjelmistoja ja laitteistoja, jotka ovat yhteensopivia IEEE-standardin 488-1975 kanssa. Vuonna 1977 National Instruments julkaisi ensimmäisen GPIB (General Purpose Interface Bus) -liitäntänsä. Siitä lähtien National Instruments on kehittänyt GPIB-liitäntöjä laajalle valikoimalle minitietokoneita, mikrotietokoneita ja työasemia. Kuvassa 1 nähdään aikajana NI GPIB -liitäntän kehitykselle. (History of GPIB, National Instruments, hakupäivä 2.12.2010).



KUVA 1. NI GPIB -liitäntän kehitys

### 3 3GPP

3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) on perustettu joulukuussa 1998 ja sen alkuperäinen tarkoitus oli tuottaa teknisiä määrittelyjä ja teknisiä selvityksiä 3G-matkaviestinjärjestelmälle perustuen kehitettyihin GSM-ydinverkkoihin ja radioliityntäteknologioihin joita ne tukevat, esim. UTRA (Universal Terrestrial Radio Access), FDD (Frequency Division Duplex) ja TDD (Time Division Duplex). 3GPP:n tarkoitus on jälkeenpäin tarkennettu sisällyttämään GSM:n (Global System for Mobile telecommunications) tekniset määrittelyt ja tekniset selvitykset sisältäen kehitettyjen radioliityntäteknologioiden esim. GPRS (General Packet Radio Service) ja EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) ylläpidon ja kehityksen. Kuvassa 2 on esitetty kehitys 2G:stä eteenpäin (3GPP, hakupäivä 10.11.2010.)



KUVA 2. Kehitys 2G:stä eteenpäin

## 4 SUORITETTAVAT MITTAUKSET

Tässä työssä tehdyllä käyttöliittymällä pystytään suorittamaan myötäsuuntaisia mittauksia W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), FDD perustekniikalla, tuotekehityksessä oleville lähetin/vastaanotinmoduuleille.

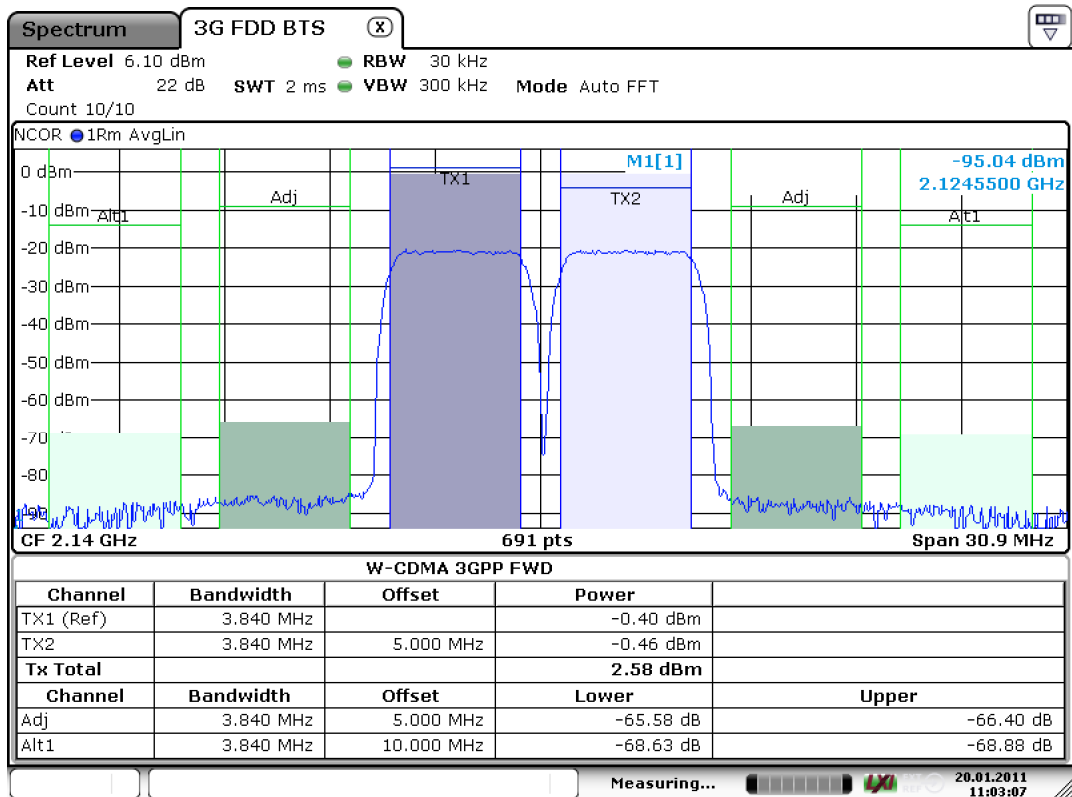
W-CDMA tukee kahta perustekniikkaa: FDD:tä (Frequency Division Duplex) ja TDD:tä (Time Division Duplex). FDD-tekniikka perustuu siihen, että myötäsuunnalle (downlink) ja paluusuunnalle (uplink) on annettu omat 5 MHz:n taajuusalueet, joita päätelaitteet ja tukiasemat voivat käyttää. Taajuudet 1920 - 1980 MHz on varattu paluusuunnan käyttöön ja taajuudet 2110 - 2170 MHz myötäsuunnalle. Karkeasti tämä järjestely sallii noin 250 samanaikaisen puhekanavan käyttämisen. FDD:ssä fyysinen kanava muodostuu TDMA (Time Division Multiple Access) -kehyksestä ja sen sisällä olevista aikaväleistä. TDMA-kehys sisältää 15 aikaväliä, joista jokainen aikaväli sisältää 2 560 lastua. TDMA-kehys muodostuu täten 68 400 lastusta.

TDD-tekniikassa puolestaan samaa taajuusaluetta käytetään tiedonsiirrossa molempiin suuntiin. Siirrossa toimitaan vuoro- ja suuntaisesti samalla taajuusalueella ja tätä tekniikkaa varten on varattu taajuusalueet 1900 - 1920 MHz sekä 2020 - 2025 MHz. Tämä sallii vain noin 120 yhteyttä, mutta se myös vaatii vain puolet kaistanleveydestä. TDD:ssä TDMA-kehys sisältää edelleen 15 aikaväliä. Kunkin aikavälin lähetyssuuntaa voidaan tarpeen mukaan vaihdella, jolloin saamme aikaiseksi sekä symmetrisiä että asymmetrisiä yhteyksiä. TDD-siirrossa aikaväleihin sijoitetaan purskeita (Granlund, K. 2001. 209-216.)

Moduulille tullaan suorittamaan seuraavat myötäsuuntaiset mittaukset: ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio), SEM (Spectrum Emission Mask), EVM (Error Vector Magnitude), PCDE (Peak Code Domain Error), Frequency error, Spurious emissions ja Gain Control Range. ACLR-, SEM-, EVM-, PCDE-, Frequency error- ja Spurious emissions -mittaukset perustuvat 3GPP-standardin mukaisiin mittauksiin. Gain Control Range -mittauksella saadaan mitattua eri TX-ketjujen minimi- ja maksimitehon välinen dynamiikka. 3GPP-standardi määrittelee tietyt vaatimukset mittaustuloksille. EVM-, PCDE- ja Frequency error -mittauksille on määritelty omat vaatimuksensa eri testimalleilla mitattuna. Tässä työssä testimittaus tullaan tekemään ainoastaan TM1:llä.

## 4.1 ACLR

Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen kahden kantoaallon ACLR-mittaus spektrianalysaattorin näytöllä. ACLR-mittaus tehdään sekä negatiivisella että positiivisella 5 MHz:n ja 10 MHz:n offseteilla valitun kanavan keskitäajuudesta. 3GPP:n määrittämät ACLR-vaatimukset on 45 dBm +/-5 MHz:n offsetilla (ACLR1) ja 50 dBm +/-10 MHz offsetilla (ACLR2). ACLR2:lla on pienempi vaikutus järjestelmän suorituskykyyn kuin ACLR1:llä. (Sanggee K. Heonjin H. Hyungsoo L. Sungyong H. 2001).

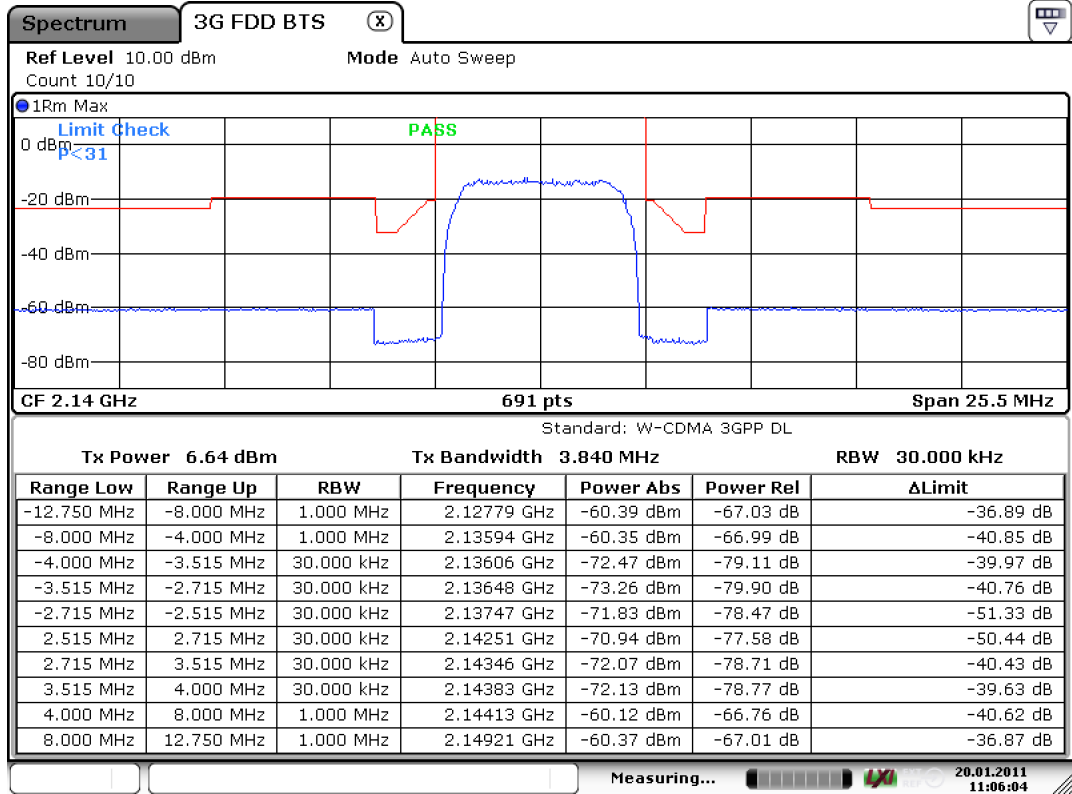


Date: 20.JAN.2011 11:03:07

KUVA 3. ACLR-mittaus spektrianalysaattorin näytöllä.

## 4.2 SEM

Kuvassa 4 on esitetty tyypillinen SEM-mittaus spektrianalysaattorin näytöllä. SEM-mittaus on ns. "Out-of-Band emissions" -mittaus, joka tehdään sekä negatiivisella että positiivisella 2,515 – 12,750 MHz:n offsetilla valitun kanavan keskitäajuudesta. SEM-mittaus tehdään ainoastaan yhdellä kantoaallolla.

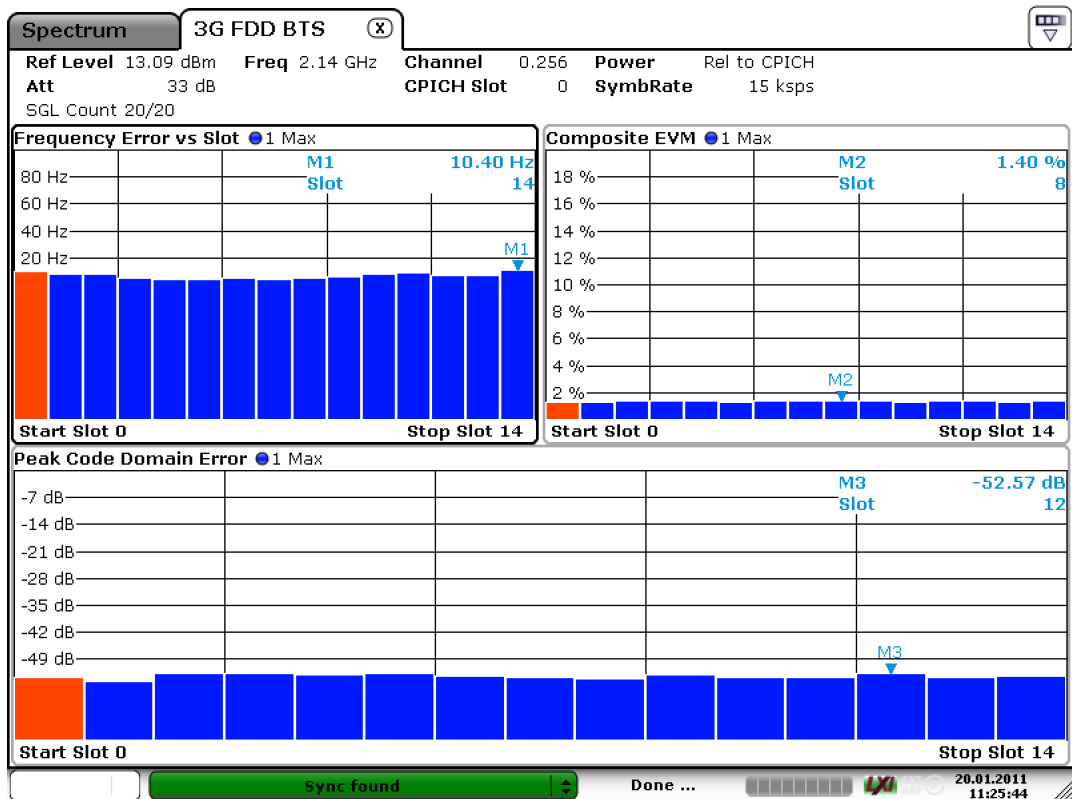


Date: 20.JAN.2011 11:06:04

KUVA 4. SEM-mittaus spektrianalysaattorin näytöllä

### 4.3 EVM, PCDE ja Frequency error

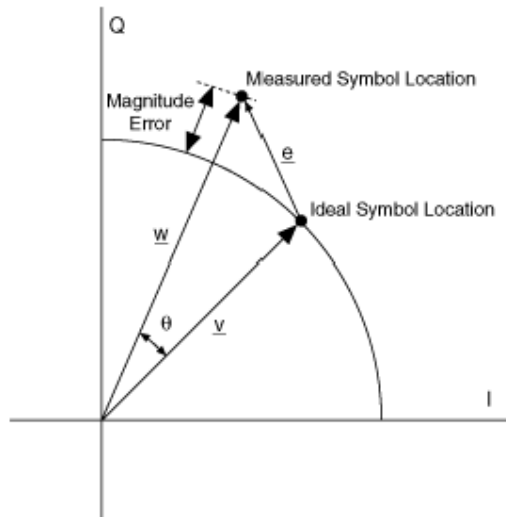
EVM-mittaukselle on määritelty vaatimukset testimalleille TM1, TM4 ja TM5. Jokaiselle testimallille on omat rajansa. PCDE-mittaukselle on määritelty vaatimukset testimalleille TM1 ja TM5. Kummallekin testimallille on omat rajansa. Kuvassa 5 on esitetty tyypillinen yhden kantoaallon ja TM1:n (testimalli 1) EVM-, PCDE- ja Taajuusvirhe-mittaus spektrianalysaattorin näytöllä. Spektrianalysaattorin näytölle saadaan yhtä aikaa kaikki kolme mittausta. EVM:lle on valittu *Composite EVM*, PCDE:lle on valittu *Peak Code Domain Error* ja taajuusvirheelle *Frequency Error vs Slot*. Kaikki kolme mittausta ovat ns. "worst slot" -mittauksia, joissa saadaan huonoimman aikavälin tulokset.



Date: 20.JAN.2011 11:25:44

KUVA 5. EVM, PCDE ja Frequency error spektrianalysaattorin näytöllä

EVM (Error Vector Magnitude) on ero ideaalin ja toteutuneen lähetyksuvion välillä prosentteina (Kuva 6). EVM-metriikkaa käytetään lähettimen modulaation laadun mittaamiseen. (National Instruments, 2010.)



KUVA 6. Error Vector Magnitude

$\underline{v}$  = ideaali vektori

$\underline{w}$  = mitattu vektori

$\underline{w} - \underline{v}$  = amplitudivirhe (Magnitude error)

$\theta$  = vaihevirhe

$\underline{e} = \underline{w} - \underline{v}$  (virhevektori)

$\underline{e} / \underline{v} = \text{EVM}$

#### **4.4 Spurious emissions**

Spurious emissions -mittauksissa taajuusalue on välillä 9 kHz – 12.75 GHz, jolla mittaukset suoritetaan. Vaatimuksissa on määritelty eri taajuusalueille eri resoluutiokaistanleveydet. Spurious emissions -mittauksella saadaan mitattua ei-toivottuja häiriöpiikkejä kyseiseltä taajuusalueelta. Ei-toivotut häiriöpiikit voivat johtua sellaisista lähettimen aiheuttamista häiriöistä kuten harmonisista taajuuksista, loishäiriöistä, keskinäismodulaatiosta tai taajuuskomponenteista, mutta testissä jätetään itse kaistan aiheuttamat häiriöt pois. (Rohde & Shwartz, 2002. Hakupäivä 18.1.2011)

#### **4.5 Gain control range**

Gain control range -mittauksella halutaan selvittää moduulin jokaisen TX-ketjun dynamiikka mitaamalla minimi- ja maksimiteho. Minimiteho saadaan säätämällä vva (voltage variable attenuator) maksimiin ja maksimiteho vastaavasti säätämällä vva minimiin.

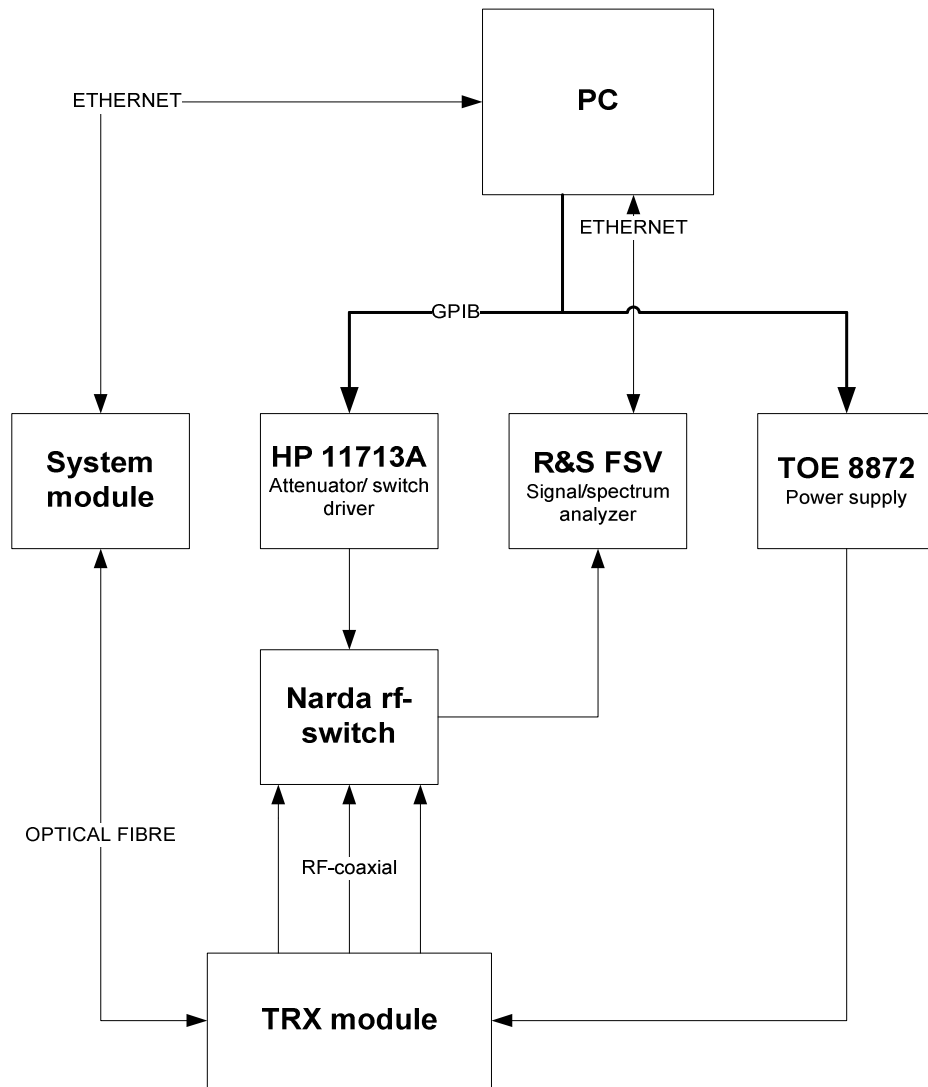


## 5 TOIMINTAYMPÄRISTÖ

Opinnäytetyön tekeminen alkoi toimintaympäristön rakentamisella tuotekehityslaboratorion mittauspaikalle. Toimintaympäristö sinänsä oli minulle ennestään tuttu, koska olin aikaisemmin ollut tekemässä manuaalisesti tässä työssä automatisoitavia mittauksia. Mittausten mahdollistamiseksi tarvittiin tietysti itse moduuli, jolle mittaukset tehdään, mutta myös moduulin käyttöjännitteen ohjaukseen jännitelähde TOE 8872, FSV-spektrianalysointilaite, releohjain HP11713A, rele, systeemimoduuli mittauksissa käytetyille testimalleille sekä PC-tietokone, jolla itse käyttöliittymä tullaan tekemään. Työssä päädyttiin käyttämään kyseisiä mittalaitteita, koska ne ovat tässä laboratorioissa yleisesti käytössä, joten uusia ei tarvinnut hankkia erikseen. LabVIEW-ohjelmalle löytyi hyvin mittalaittevalmistajien tekemiä valmiita ajurikirjastoja, joilla mittalaitteiden alustus ja ohjaus onnistui hyvin.

PC:n ja FSV-spektrianalysointilaitteen välille muodostettiin aluksi myös GPIB-yhteys, joka myöhemmin osoittautui huonoksi valinnaksi. GPIB-yhteys ei toiminut testeissä luotettavasti ja spektrianalysointilaite käyttäytyi todella hitaasti, joten tilalle vaihdettiin ethernet-yhteys. Spektrianalysointilaitteen ethernet-yhteyden määrittäminen käyttöliittymään onnistui pienten alkuvaikeuksien jälkeen hyvin National Instrumentsin Measurement & Automation Explorer -ohjelmalla.

Kuvan 7 lohkokaaviossa on havainnollistettu toimintaympäristö, josta näkyvät liittynyt eri laitteiden välillä. PC:n, HP11713A:n ja TOE 8872:n välille muodostettiin yhteys IEEE-standardin mukaisilla GPIB-kaapeleilla. GPIB-väylää pitkin kommunikoidaan PC:n ja ko. laitteiden kanssa. Mitattavan moduulin jokaisen TX-keijun ulostulosta on kytketty RF-koaksiaalikaapeli releeseen ja releestä edelleen spektrianalysointilaiteeseen, jolloin releen vaihtaessa tilaansa saadaan vuorollaan kytkettyä mitattavissa oleva TX-keijua spektrianalysointilaiteeseen. Releohjaimelta releelle menevä kaapeli mahdollistaa kytkennän kymmeneen kontaktiin releelle. Tässä työssä tarvitsi juottaa ainoastaan kolme johdinta releen nastoihin, koska mitattavassa moduulissa on kolme TX-keijua, joista mittaus suoritetaan.



KUVA 7. Toimintaympäristön lohkokaavio

## 6 MITTAUSOHJELMAN KÄYTTÖLIITTYMÄ

Opinnäytetyössä tehtävän käyttöliittymän tekeminen aloitettiin asentamalla laboratoripaikan PC:lle vanhan LabVIEW-version tilalle uusi LabVIEW 2010. National Instrumentsin omilta www-sivuilta löytyi myös UI control suite -paketti, jolla etupaneelin kontrollipaletteihin sai muutamia uusia NI theme -aiheisia kontrolleja, indikaattoreita, klustereita yms., joita työssä tuli käytettyä itse käyttöliittymän etupaneelissa sekä koodissa. Ensimmäisen viikon aikana oli hyvä tilaisuus käydä National Instrumentsin järjestämässä ”What’s new in LabVIEW 2010” -seminaarissa, missä tulikin paljon uutta asiaa. Mainittakoon yhtenä asiana siivoustyökalu, joka on todella kätevä koodin selkeyttämisen kannalta.

Kokonaisen käyttöliittymän teosta LabVIEW’illa minulla ei ollut entuudestaan kokemusta. Kokonaisuuden hahmottaminen olikin aluksi todella vaikeaa, mutta kokonaisuuden jakaminen pienempiin osiin auttoi ohjelman rakentamisessa. Pienempien aliohjelmien teon ja testauksien jälkeen havaitsi konkreettisesti, miten esim. mitattavalle moduulille onnistui tehdyllä aliohjelmalla ajamaan alustustiedoston.

Käyttöliittymään asetetaan tarvittavat asetukset mitattavan moduulin mukaan. Käyttäjä voi määrittellä mitattavan moduulin tyyppin, TX-ketjun, kantoaallon leveyden (*carrier spacing*), start- ja stop-taajuuden, taajuuspisteiden (*step*) määrän, testimallin, lähtötehon, kantoaaltojen määrän, haluamansa testit, lämpökaapin lämpötila-arvot (maksimissaan kolme lämpötilaa), jännitearvot (maksimissaan kolme jännitettä). Käyttäjän täytyy myös syöttää käyttöliittymään IP-osoite, johon yhteys (ping) moduulille muodostetaan, ja valita mittauksissa käytettävät mittalaitteet sekä niiden GPIB-osoitteet.

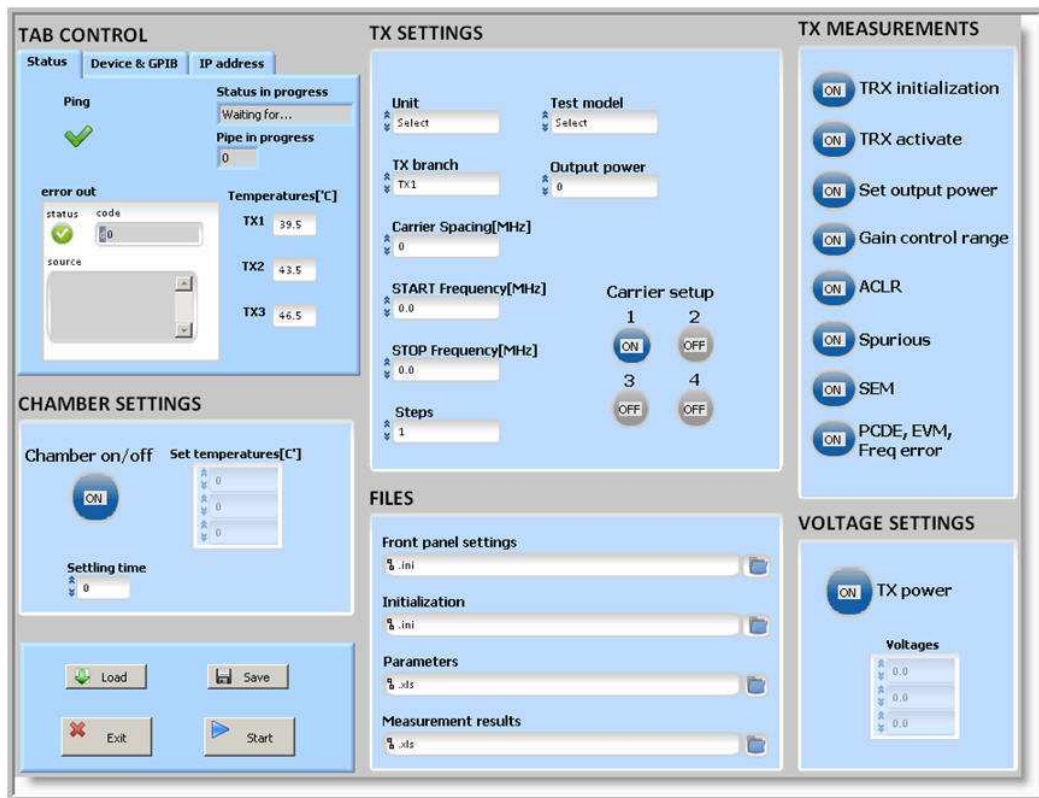
Käyttöjännitteen oletuksena on 5.3 V, jos käyttäjä jättää käyttöliittymässä painonapin OFF-asentoon. Samoin lämpötila-arvon oletuksena on huoneenlämpö (25°C), jos käyttäjä on jättänyt painonapin OFF-asentoon. Käyttöjännitteen (*Voltage settings*) ja lämpötilan (*Chamber settings*) painonappien ollessa ON-asennossa voidaan käyttöliittymässä asettaa yhdestä kolmeen lämpötila- ja jännitearvoa, joita käyttäjä haluaa käyttää. Lämpötila- ja jännitearvoja käytetään laiteohjaukseen sekä tulosten tallentamisen yhteydessä.

Käyttöliittymällä voidaan tallentaa etupaneelin asetukset käyttäjän tarpeen mukaan määrittelemällä tallennuspolku ja antamalla tiedostolle nimi *.ini*-päätteellä. Samoin käyttäjä voi ladata tallentamansa etupaneelin asetukset antamalla polku, missä *.ini* -tiedosto sijaitsee. Mittausparametrien haku tapahtuu antamalla etupaneeliin polku, missä Excel-tiedosto sijaitsee. Mittaustulosten tallennus tapahtuu annettuun polkuun annetulle nimelle Excel-tiedostona, kun kaikki valitut mittaukset on suoritettu kaikilla valituilla lämpötiloilla, jännitteillä ja kantoaalloilla.

Kaikista etupaneelin erillisistä lohkoista on tehty omat klusterit ja tallennettu erikseen *typedefiksi*. *Typedef* mahdollistaa sen, että avattaessa *typedef* missä tahansa koodissa tehdyt muutokset välittyvät myös muualle koodiin, missä on käytetty kyseistä *typedefiä*.

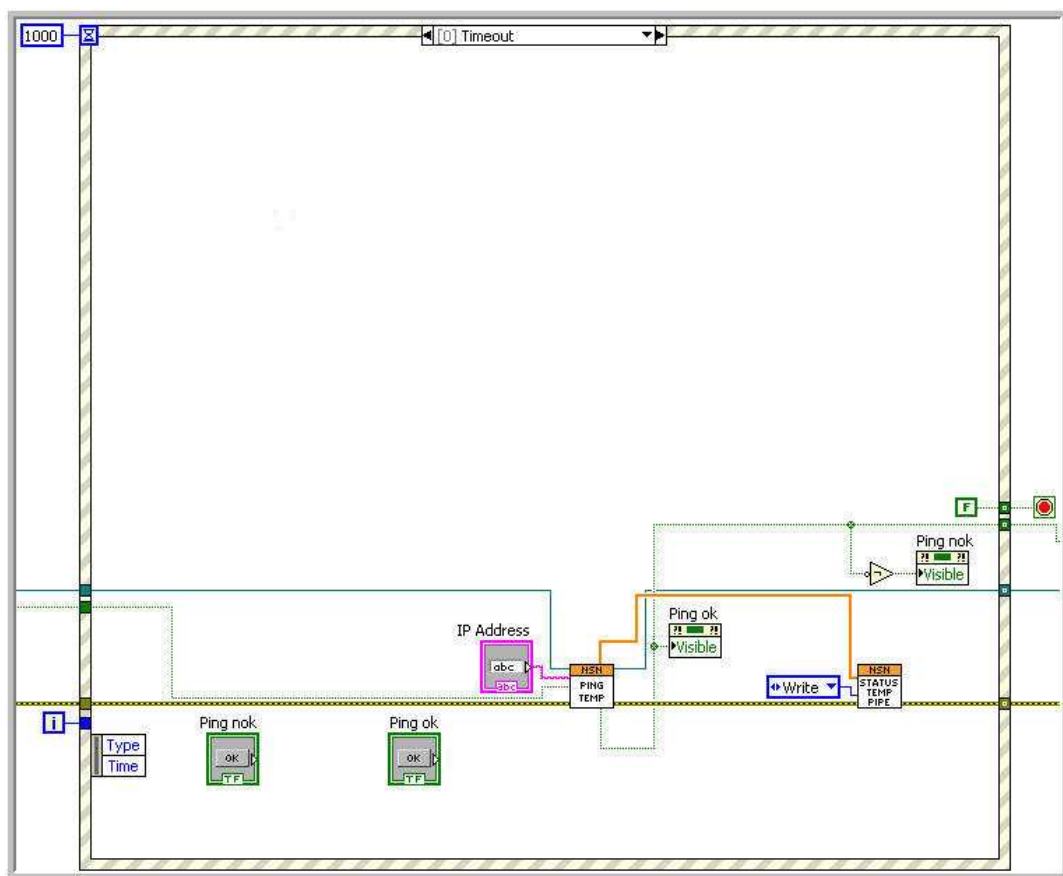
## 6.1 Käyttöliittymän etupaneeli

Käyttöliittymän etupaneeli sisältää 7 päälohkoa: TX SETTINGS, TX MEASUREMENTS, CHAMBER SETTINGS, VOLTAGE SETTINGS, FILES, TAB CONTROL (Status, Device & GPIB, IP address) ja paneeli, jossa on neljä painonappia Load, Save, Exit ja Start (Kuva 8).



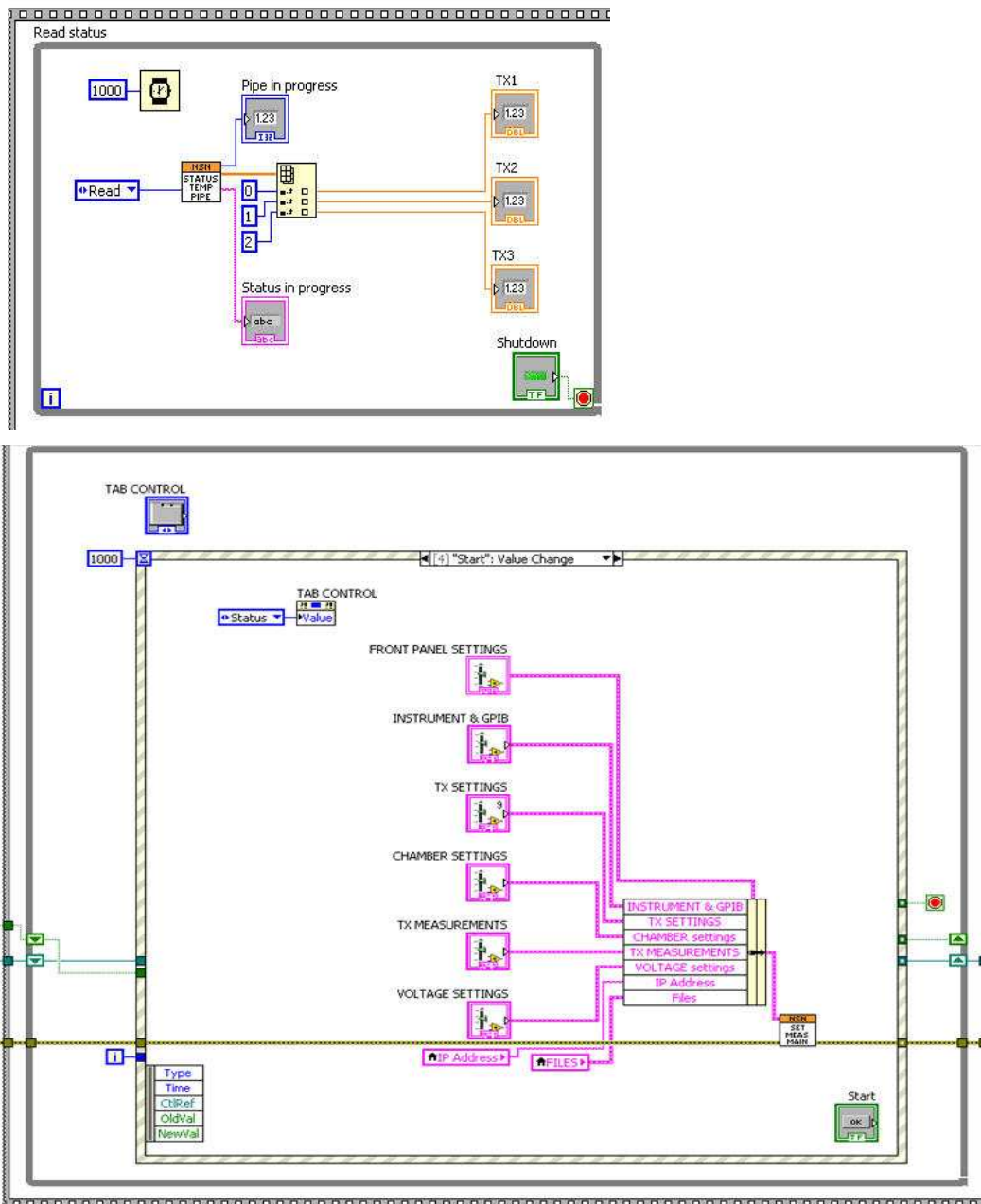
KUVA 8. Käyttöliittymän etupaneeli

Käyttöliittymän etupaneelin diagrammikuvista nähdään (Kuva 9 ja 10), että käyttöliittymän *Start-*, *Exit-*, *Load-* ja *Save-*toiminnot tapahtuvat ohjelman käynnistyksen jälkeen tapahtumaohjatusti *event*-tyyppisellä rakenteella. *Timeout event* huolehtii pingauksen visuaalisuuden *status*-välillehteen. Etupaneelissa olevat ping ok(vihreä)- ja ping nok(punainen)-kontrollit on sijoitettu fyysisesti päällekkäin ja kumpikin on vuorollaan asetettu näkyväksi tai näkymättömäksi. *Ping temp* -aliohjelmalta tulee true(ping ok) tai false(ping nok), jolloin true(tosi) tapauksessa ping ok = set visible true. Ping nok saadaan false(epätosi) tilasta todeksi loogisella not-operaatiolla, jolloin ping nok = set visible true, kuten kuvasta 9 voidaan havaita. Tässä tapauksessa kontrollit eivät ohjaa mitään vaan toimivat ainoastaan visuaalisessa tarkoituksessa.



KUVA 9. Timeout event

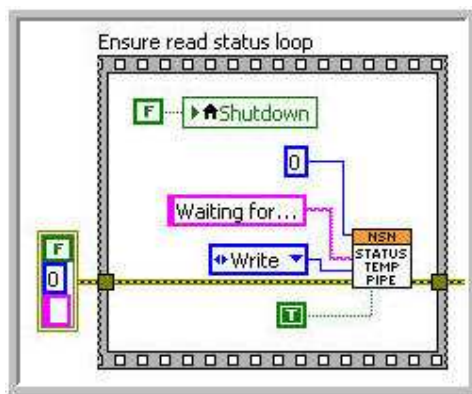
Käyttöliittymän etupaneelin kaikista lohkoista on tehty klusteri ja tallennettu *typedefiksi*, jolloin *start event* -rakenteessa etupaneelin asetukset (FRONT PANEL SETTINGS) saadaan *bundle by name* -toiminnolla langoitettua aliohjelmaan *set meas main.vi* (Kuva 10) ne asetukset, joita etupaneelin erillisissä lohkoissa on. Context help -toiminnolla nähdään *front panel settings.vi* -aliohjelman langoituksen sisältö (liite 1).



KUVA 10. Start event

*Read status while* -silmukassa luetaan statukset ja päivitetään lämpötilat 1000 millisekunnin välein, kunnes *Exit event* -tapahtuma aktivoituu. *Exit event* -rakenteeseen on laitettu *property node Shutdown = true*, jolloin *Read status while* -silmukan *Shutdown* aktivoituu. Tällä varmistetaan, että lopetustilanteessa myös statuksen päivitykset loppuvat.

*Ensure read status loop, flat sequence* -rakenteella (kuva 11) varmistetaan, että etupaneelin *status*-välilehdessä näkyy *Waiting for...* -teksti ja mistään piipusta ei lueta lämpötiloja, ennen kuin moduuli on vastannut käyttäjän asettamaan IP-osoitteeseen. Kyseinen rakenne on sijoitettu ennen varsinaista pää *flat sequence* -rakennetta, jonka sisällä event-rakenteet ovat. Tällä rakenteella varmistetaan myös se, että muistialiohjelman (kuva 12) status siirtorekisteriin jäänyt virheilmoitus saadaan pyyhittyä pois. Liitteessä 2 nähdään yhtenäinen kuva etupaneelin diagrammikuvasta.



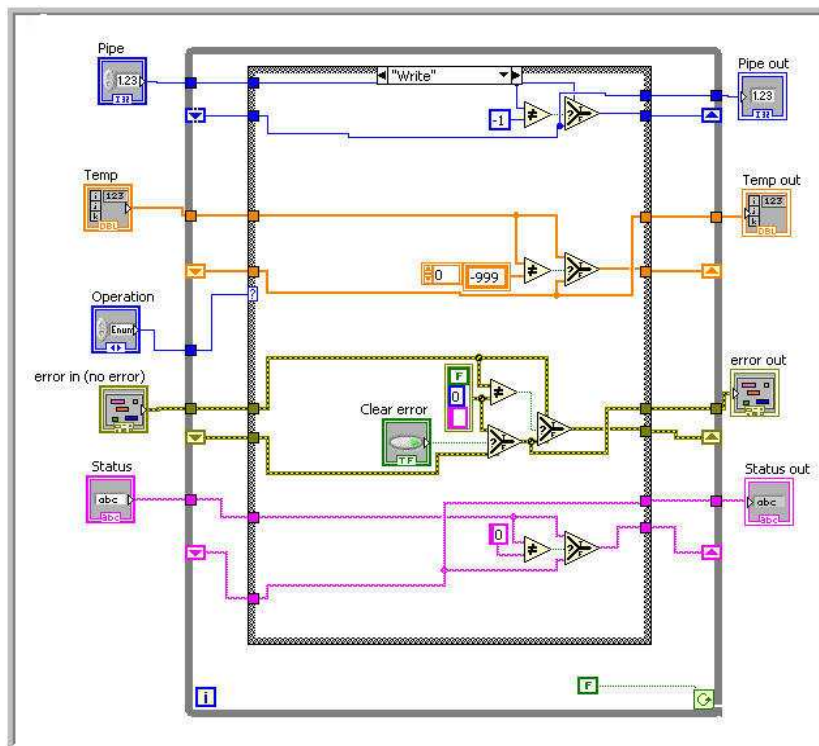
KUVA 11. *Ensure read status loop*



## 6.2 Tab control

Graafisen käyttöliittymän *TAB CONTROL* -lohkon *Status*-välilehdessä, *status in progress*- ja *pipe in progress*-kohdissa nähdään ohjelman suorituksen aikana, mitä ohjelma on milläkin hetkellä suorittamassa ja mille piipulle. *Temperatures TX1, TX2 ja TX3* näyttää mitattavan moduulin eri piippujen lämpötilat. *Ping* näyttää levyn vastaamisen pingiin annetulle IP-osoitteelle. *Error out*-kohdassa tulostuu näyttöön virheilmoitus, jos sellainen ohjelmassa havaitaan. Kyseisille toiminnolle on aliohjelma (kuva 12), joka toimii muistialiohjelmana suorituksessa olevalle piipulle, luetulle lämpötilalle, saadulle virheilmoitukselle ja statuksen päivitykselle.

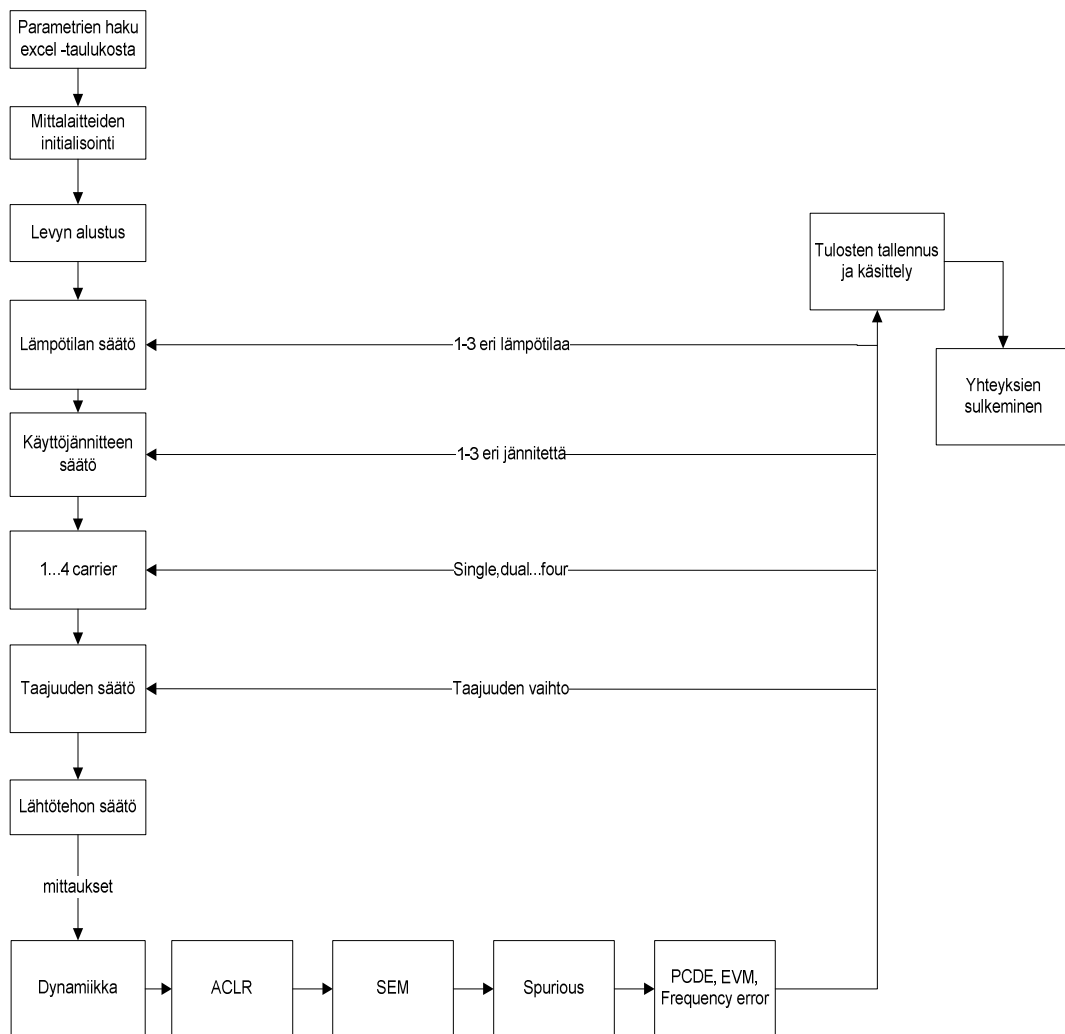
While-silmukan sisällä on kaksi case-rakennetta, *Write* ja *Read*. *Write*-casessä esim. status syötetään *Status*-kontrollista ja verrataan kyseistä syötettä 0:aan. Jos tulos on tosi, kontrollin merkkijono syötetään siirtorekisteriin. *Read*-case ainoastaan päivittää siirtorekisterissä olevan tiedon indikaattoriin status out.



KUVA 12.. Muistialiohjelma

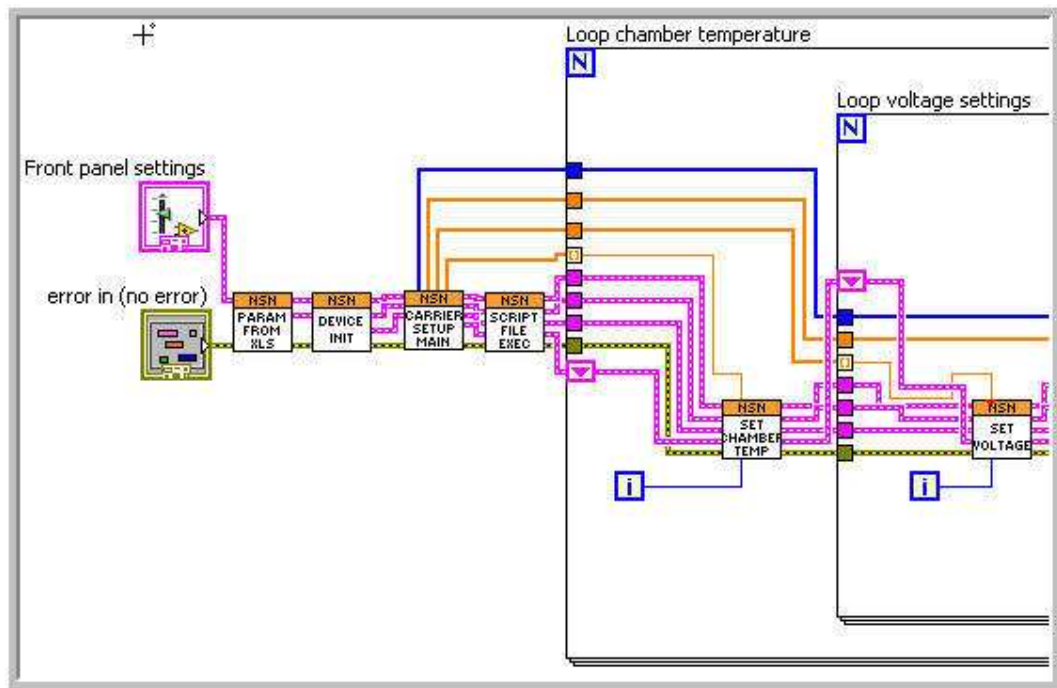
### 6.3 Setup and measurements main

Kuvan 13 lohkokaaavion mukaan on suunniteltu erillinen alemman tason *setup and measurements main.vi* (Liite 3), jolla parametrien haku, mittalaitteiden alustus, mitattavan levyn alustus, lämpötilan säätö, käyttöjännitteen säätö, 1 – 4 kantaosaston asetus, taajuuden säätö, lähtötehon säätö ja mittaukset tehdään. Diagrammin koon takia kyseisestä aliohjelmasta on otettu tähän dokumenttiin pienempiä osia (Kuva 14).



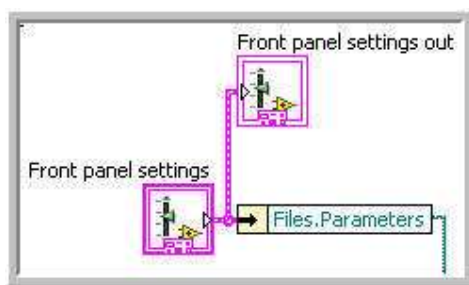
KUVA 13. Lohkokaavio *setup and measurements main*

Setup and measurements main.vi:n suoritus aloitetaan parameters from excel.vi:stä eli mittausparametrien haku Excel-taulukosta.



KUVA 14. Setup and measurements main.vi

Setup and measurements main.vi:n kaikkien aliohjelmien kautta on langoitettu front panel settings. Front panel settings -klusteriin on sijoitettu etupaneelin kaikkien lohkojen klusterit ja tallennettu typedefiksi, jolloin kyseistä langoitusta pitkin etupaneelin asetukset on helppo viedä mille aliohjelmalle tahansa. Langoituksesta saadaan helposti *unbundle by name* -toiminnolla (kuva 15) otettua etupaneelistä kullekin aliohjelmalle tarvittava tieto.



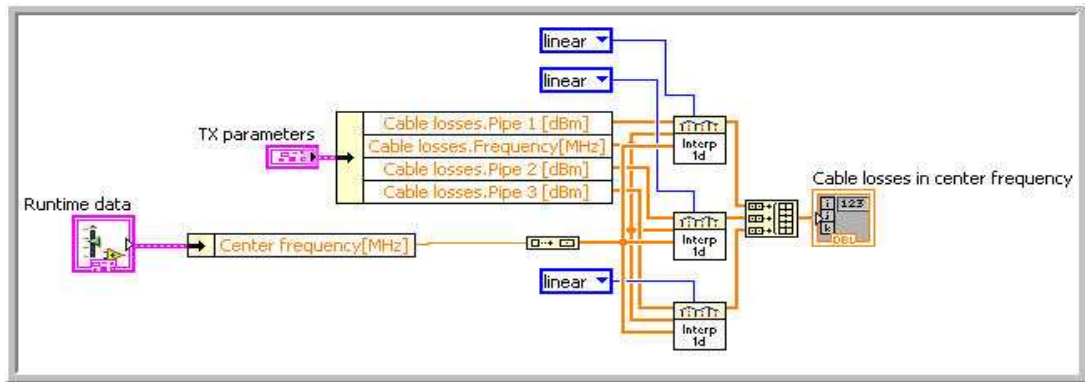
KUVA 15. Unbundle by name -toiminto

*Parameters from excel.vi* -aliohjelman tuodaan etupaneelista käyttäjän asettamasta polusta Excel-tiedosto, tässä tapauksessa *Files.Parameters*, jossa parametritaulukoihin on määritelty vaatimukset eri moduulivaihtoehdoille ja joiden rajoissa mittaustulosten täytyy olla. Jokaiselle mitattavan moduuliversion mitattavalle asialle on oma välilehtensä Excel-tiedostossa muotoa XXXX EVM, XXXX PCDE jne., joissa XXXX on mitattavan moduulin tyyppi ja välilyönnin jälkeen mitattava asia esim. EVM. Kun käyttäjä on valinnut etupaneelin TX SETTINGS -lohkon Unit-kontrollissa mitattavan moduulin tyyppiin XXXX, aliohjelma osaa hakea niiden välilehtien parametrit, joissa esiintyy kyseisen moduulin XXXX EVM, XXXX PCDE jne. Parametritaulukoissa on määritelty myös kaapelivaimennus eri taajuuksilla (Kuva 16).

	A	B	C	D
+	Frequency[MHz]	Pipe 1	Pipe 2	Pipe 3
2	1	0.1	0.1	0.1
3	1000	1	1	1
4	2000	2	2	2
5	3000	3	3	3

KUVA 16. Kaapelivaimennustaulukko

Mittauksissa kaapelivaimennus on otettu huomioon laskemalla vaimennus lineaarista interpolointia käyttäen annetun keskitaajuuden mukaan. Koodissa on tehty oma aliohjelma *Cable losses in center frequency.vi* (Kuva 17), jossa Y-akselille annetaan 1-ulotteisena taulukkona kaapelivaimennukset ja X-akselille annetaan 1-ulotteisena taulukkona taajuudet. LabVIEW'n kirjastosta löytyy valmis *Interpolate 1D.vi*, jolla kyseinen toiminto suoritetaan. Syöttämällä Runtime datasta saatu keskitaajuus *Interpolate 1D.vi*:lle saadaan 1-ulotteiseen taulukkoon sijoitettua valmiit kaapelivaimennukset annetuilla keskitaajuuksilla.



KUVA 17. Cable losses in center frequency.vi

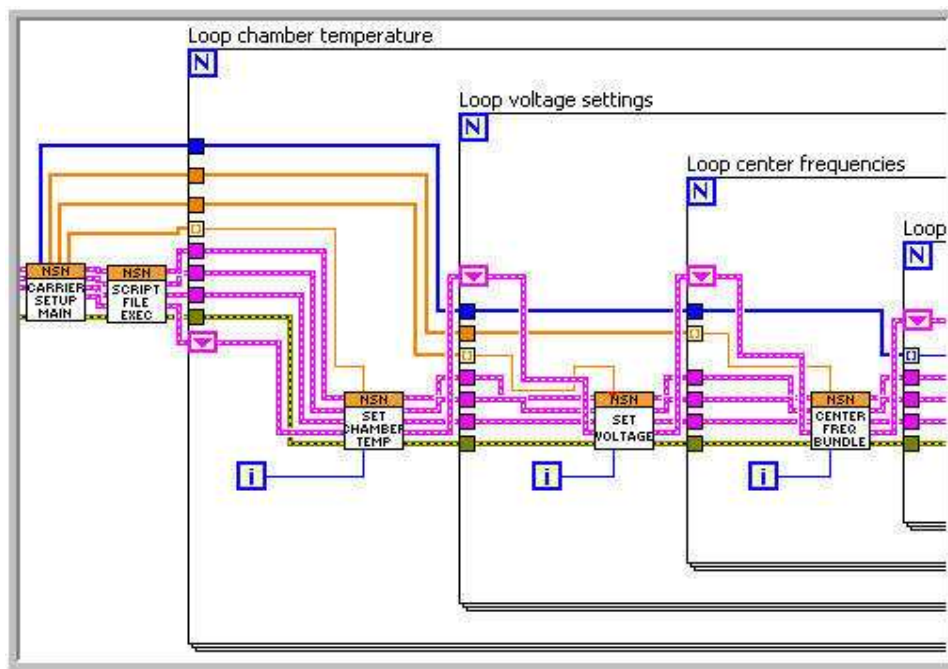
Käyttöliittymällä tehtiin myös seuraavanlainen Spurious emissions -tarkistusmittaus kaapelivaimennukselle. Parametritaulukkoon vaihdettiin reference level 0 dBm kaikille taajuusalueille ja tehtiin mittaus. Samalla syötettiin signaaligeneraattorilla -10 dBm:n signaali 2140 MHz:n taajuudella. Mittauksessa saatiin tulokset: Pipe1 -7,68 dBm, Pipe2 -7,69 dBm ja Pipe3 -7,68 dBm. Mittausten aikana alkuperäinen syötetty signaali oli ryöminyt -10 dBm:stä -9,79 dBm:ään, joten  $9,79 - 7,68 = 2,11$  ja  $9,79 - 7,69 = 2,10$ . Kaapelivaimennus ohjelmalla interpoloituina tuottaa 2140 MHz taajuudella 2,14 dBm, joten  $2,14 \text{ dBm} - 2,11 \text{ dBm} = 0,03 \text{ dBm}$  ja  $2,14 \text{ dBm} - 2,10 \text{ dBm} = 0,04 \text{ dBm}$ . Laskettujen tulosten perusteella voidaan todeta, että virhe on marginaalinen.

## 6.4 Device init

Käyttäjä asettaa käytettävät mittalaitteet käyttöliittymän *Device & GPIB* -välilehdessä, jolloin device init.vi alustaa kyseiset laitteet. Liitteessä 4 esimerkkinä AG34970, FSV, HP66xxA, joille löytyy valmiita initialize-aliohjelmaa mittalaitevalmistajien tekemistä ajurikirjastoista. Spektrianalysaattorin alustusrakenteeseen on lisätty spektrin kytkentä 3GPP-tilaan, määritetty ulkoinen referenssi/vertailukello 10 MHz, reflevel offset nollaan ja näytön päivitys = true, jolloin käyttäjä näkee spektriltä kaikki tapahtumat reaaliajassa.

## 6.5 Carrier setup main

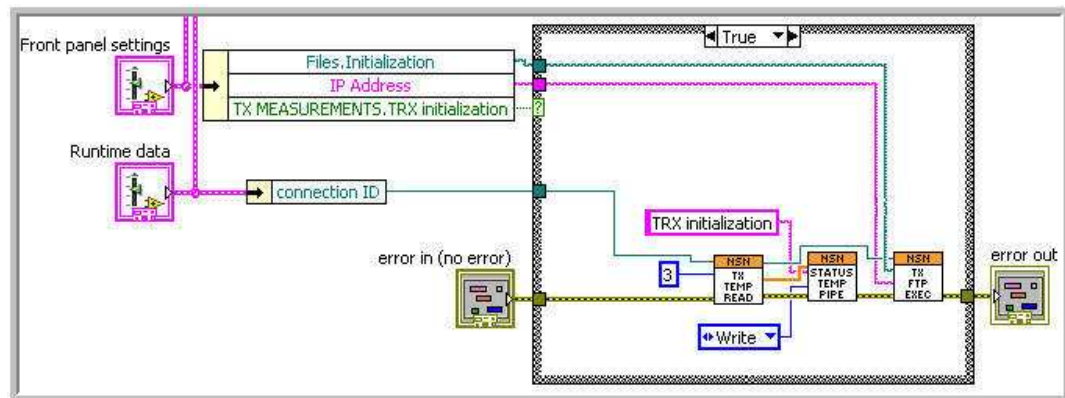
Tämä aliohjelma tekee käyttäjän etupaneeliin asettamista asetuksista 1-ulotteiset taulukot kantoaaltojen määrän mukaan, keskitäajuudet steppien määrän mukaan, lämpökaapin lämpötila-arvot lämpötilojen määrän mukaan, käyttöjännitearvot käyttöjännitteiden määrän mukaan ja syöttää taulukot *Runtime data* -langoitukseen. Aliohjelmasta saadaan indikaattoreista langoitettua taulukot tarvittaville for -silmukoille. Taulukoiden koon mukaan saadaan lämpötila-, jännite-, keskitäajuus- ja kantoaalto for -silmukat pyörähtämään oikean määrän verran, kun *Auto Index* on päällä. Aliohjelma luo myös taulukoiden koot kaikille mittauksille ja syöttää taulukot *Measured data* -langoitukseen. Langoitukset näkyvät kuvassa 18.



KUVA 18. Langoitukset for-silmukoille

## 6.6 Script file execution

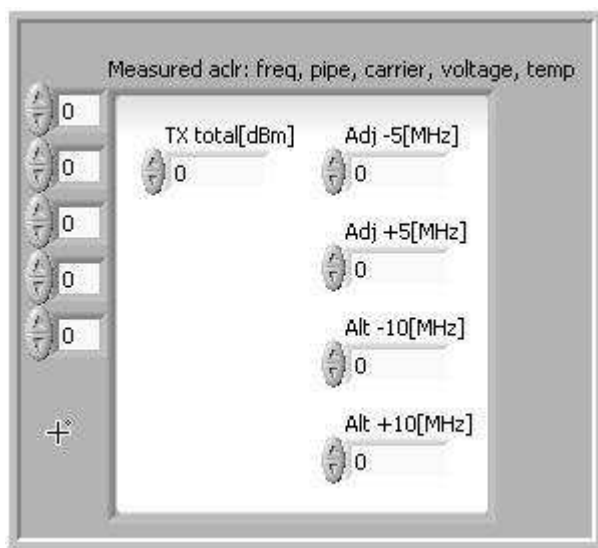
Script file execution.vi (kuva 19) hakee etupaneelissa syötetystä polusta halutun alustustiedoston ja alustaa mitattavan moduulin oikeilla alustusparametreilla. Tähän aliohjelmaan tuli myös lämpötilojen luku ja statuksen päivitys sekä jo käytössä oleva valmis aliohjelma *TX FTP EXEC*, joka siirtää alustustiedoston moduulin muistiin.



KUVA 19. Script file execution -aliohjelma

## 7 ACLR-MITTAUSALIOHJELMA

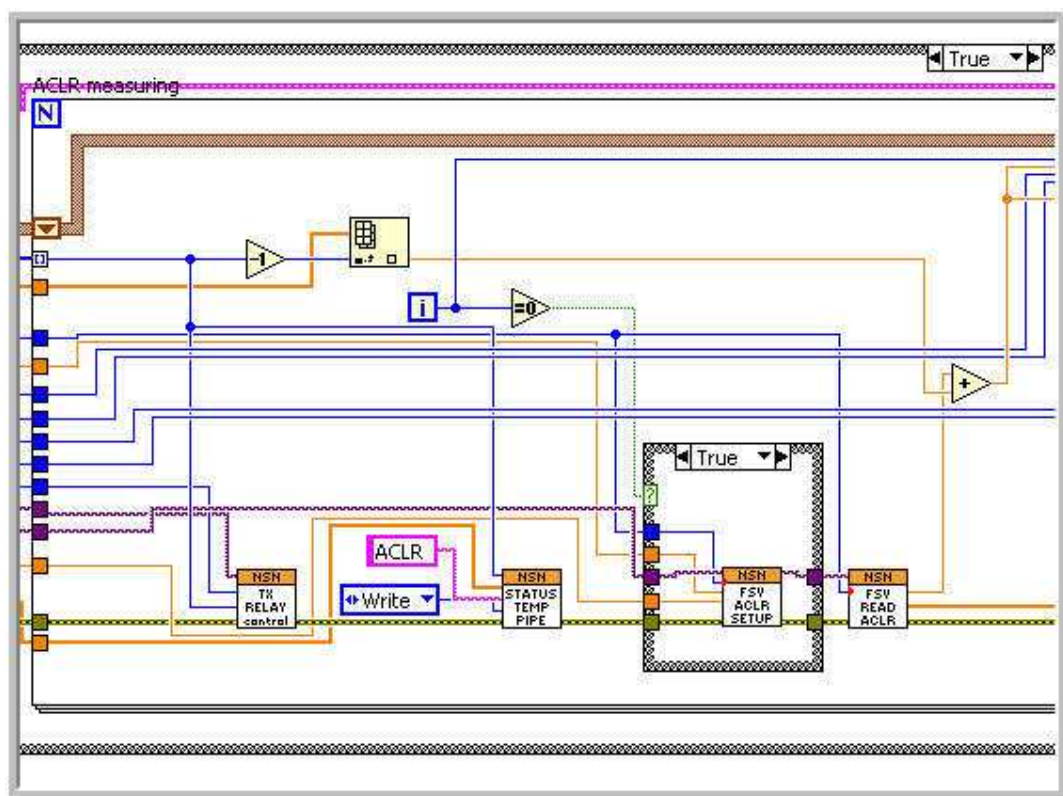
Kaikki mittaukset koodiin on tehty käytännössä samalla periaatteella, joten on järkevämpää käydä yksi mittaus läpi. Otan esimerkkinä ACLR -mittauksen. ACLR -mittausten tuloksille (kuva 20) TX total[dBm], Adj -5[MHz], Adj +5[MHz], Alt -10[MHz], Alt +10[MHz] on tehty 5-ulotteinen taulukko. Jokaiselle mittaustulokselle on oma indikaattori ja jokainen indikaattori on sijoitettu samaan klusteriin, jolloin klusteri sisältää 5 elementtiä ja klusteri on tallennettu typedefiksi. Sama voidaan todeta paremmin LabVIEW'n context help -toiminnolla, josta nähdään myös, mitä muotoa tulokset ovat. Tässä tapauksessa liukuluku double (liite 5).



KUVA 20. ACLR-klusteri



ACLR-mittaus suoritetaan ACLR measurement.vi -aliohjelmassa (kuva 21). ACLR-mittauksessa asetetaan rele mitattavalle piipulle. Releen ohjaus tapahtuu *TX relay control* -aliohjelmalla, jonka kontrolleina ovat tiedot asetettavasta piipusta ja käytettävästä releohjaimesta. *TX relay control* -aliohjelman case-rakenteessa on kullekin releohjaimelle oma aliohjelmansa, joka kytkee oikean tilan releohjaimelle. Jokaisessa mittausaliohjelmassa on myös statuksen päivitys etupaneeliin (check status.vi), jotta käyttäjä näkee, missä mittauksessa ohjelma on menossa. Tässä tapauksessa statukseen syötetään string-merkkijono ACLR ja operandina "write", koska ohjelmasta ei haluta lukea tilaa, vaan kirjoittaa tilaksi ACLR.



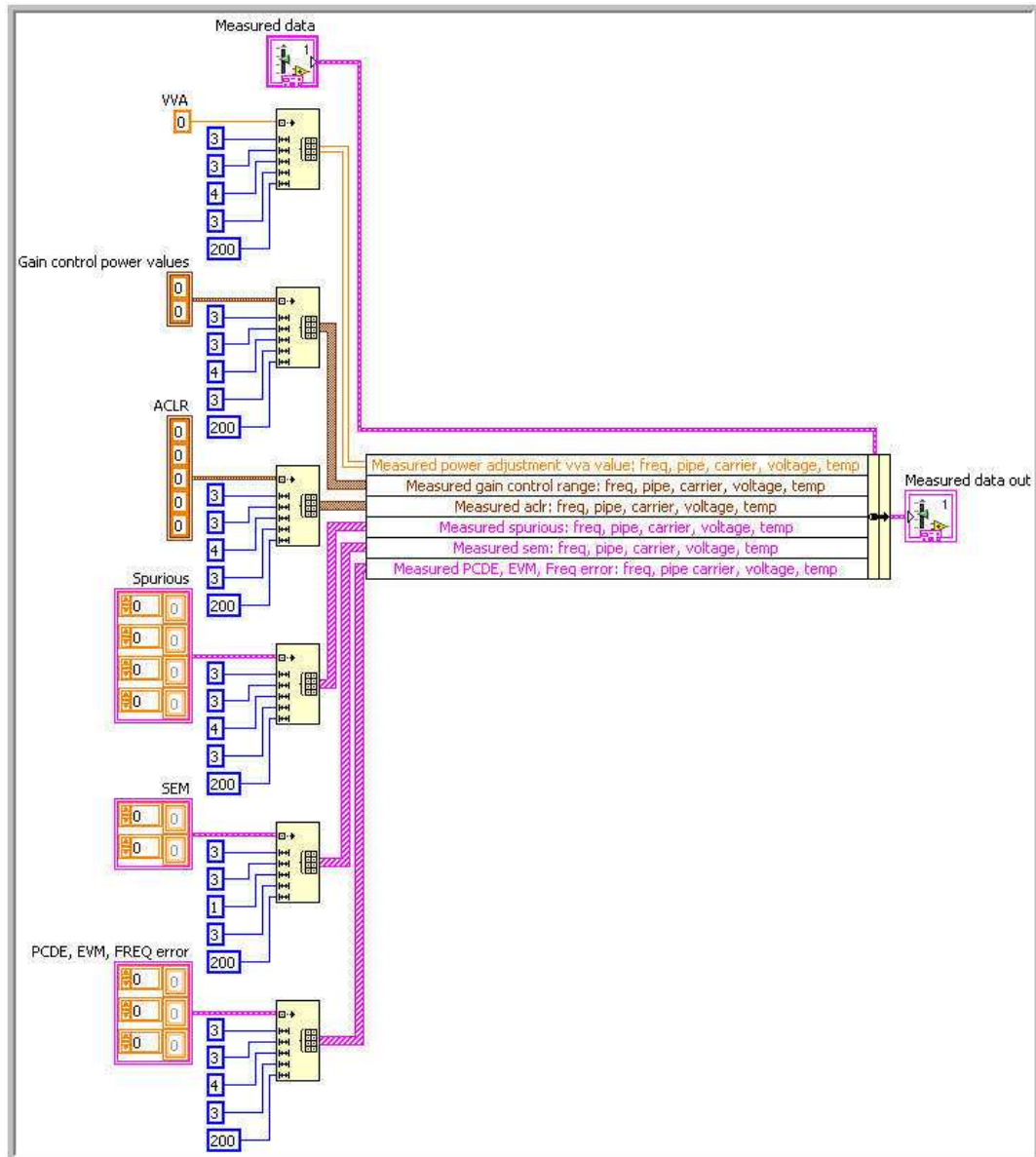
KUVA 21. ACLR-mittaus

FSV ACLR setup.vi (Liite 6) asettaa spektrianalysaattoriin oikeat asetukset ACLR-mittausta varten. Asetuksille on olemassa valmiita mittalaittevalmistajien tekemiä ajurikirjastoja, joita tässä on käytetty. Jokaisen mittaustapahtuman alussa spektrianalysaattori asetetaan ensin 3GPP-tilaan, jonka jälkeen tulevat muut asetukset. Aliohjelmassa kontrolleja ovat RF center frequency, Carriers ja Carrier spacing.

Spektrianalysaattorille asetetaan laskettu keskitaajuus Carrier setup.vi -aliohjelmasta ja lasketulle keskitaajuudelle suoritetaan aliohjelmassa *multiply*-toiminto luvulla  $10^6$ , jotta saadaan spektrille syötettyä luku hertseinä. Carriers saadaan *Runtime data* -langoituksesta johon se on syötetty TRX activate main -aliohjelmassa. Carrier spacing saadaan suoraan etupaneeliin syötetystä arvosta. Etupaneelissa syötetään arvo MHzinä, joten luku kerrotaan luvulla  $10^6$ , saadaan luku syötettyä spektrianalysaattorille hertseinä.

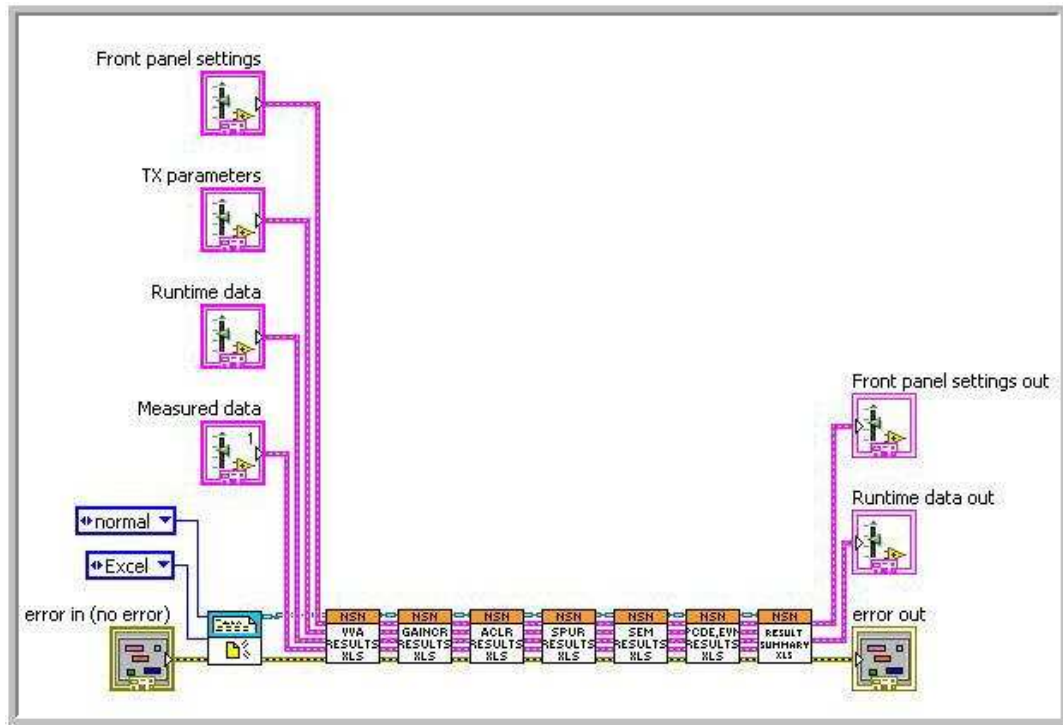
Liitteessä 7 nähdään kokonaiskuva ACLR measurement.vi -aliohjelmasta, jossa syötetään carrier setup.vi:ssä luotuun taulukkoon (kuva 22) saadut mittaustulokset aliohjelman Table of aclr.vi kautta edelleen *Measured data* -langoitukseen.

Tulostaulukoiden kooksi on määritelty 200 taajuuspistettä, 3 piippua, 4 kantaaltoa, 3 jännitettä ja 3 lämpötilaa. Tyhjtä taulukot saadaan vietyä *bundle by name* -toiminnolla *Measured dataan* ja *unbundle by name* -toiminnolla otettua *Measured data* -langoituksesta ulos. SEM-mittausta varten luotu taulukko poikkeaa muista kantaaltojen määrän suhteen, koska mittaus tehdään ainoastaan yhdellä kantaallolla.



KUVA 22. Mittaustaulukoiden luonti

ACLR measurement.vi -aliohjelmasta taulukko saadaan edelleen vietyä *Measured data* -langoitusta pitkin *write measurement results to excel.vi* -aliohjelmaan (kuva 23). Kuvassa 23 oleva ACLR RESULTS XLS suorittaa ACLR-mittauksen tulosten tulostuksen Excel-taulukkoon.



KUVA 23. Write measurement results to excel.vi

Kuvan 24 taulukosta nähdään, että mittaus on tehty yhdessä lämpötilassa, yhdellä jännitteellä, yhdellä kantoaallolla, kahdella taajuuspisteellä ja kolmella TX-keijulla. Taulukkoon tulostuu mitatun TX-keijun taajuuspisteiden minimi-, maksimi- ja keskiarvo.

	A	B	C	D	E	F
1	25°C					
2	5.3V					
3	1 Carrier(s)					
4	<b>Power[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
5	1	1.411661	2.013981	1.411661	2.013981	1.712821
6	2	1.976001	2.027036	1.976001	2.027036	2.001518
7	3	1.903253	2.054971	1.903253	2.054971	1.979112
8	<b>Adj.Low[-5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
9	1	-65.318194	-66.282617	-66.282617	-65.318194	-65.800406
10	2	-68.81696	-67.616189	-68.81696	-67.616189	-68.216574
11	3	-68.233091	-67.224294	-68.233091	-67.224294	-67.728693
12	<b>Adj.High[+5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
13	1	-64.904099	-66.455459	-66.455459	-64.904099	-65.679779
14	2	-66.419075	-67.87561	-67.87561	-66.419075	-67.147342
15	3	-67.561771	-67.610808	-67.610808	-67.561771	-67.58629
16	<b>Att.Low[-10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
17	1	-69.323426	-69.981131	-69.981131	-69.323426	-69.652279
18	2	-69.293085	-69.87774	-69.87774	-69.293085	-69.585412
19	3	-69.552706	-69.447019	-69.552706	-69.447019	-69.499863
20	<b>Att.High[+10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
21	1	-69.156476	-70.571076	-70.571076	-69.156476	-69.863776
22	2	-68.59411	-70.477794	-70.477794	-68.59411	-69.535952
23	3	-70.24685	-70.460698	-70.460698	-70.24685	-70.353774
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						

KUVA 24. Taulukko mittaustuloksista

Ohjelmaan tuli myös mittaustulosten vertailu parametritaulukossa määriteltyjen raja-arvojen kanssa. ACLR-välilehdessä solu, joka ei ole määritellyissä rajoissa, värjäytyy punaisella värillä (Kuva 25).

	A	B	C	D	E	F
1	25°C					
2	5.3V					
3	1 Carrier(s)					
4	<b>Power[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
5	1	1.940768	1.399967	1.399967	1.940768	1.670367
6	2	2.004988	2.070018	2.004988	2.070018	2.037503
7	3	1.678732	1.853315	1.678732	1.853315	1.766023
8	<b>Adj.Low[-5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
9	1	-67.833378	-64.804967	-67.833378	-64.804967	-66.319173
10	2	-68.417362	-67.974647	-68.417362	-67.974647	-68.196004
11	3	-66.18318	-64.914428	-66.18318	-64.914428	-65.548804
12	<b>Adj.High[+5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
13	1	-66.552627	-65.303497	-66.552627	-65.303497	-65.928062
14	2	-66.572813	-67.989321	-67.989321	-66.572813	-67.281067
15	3	-58.045239	-57.251913	-58.045239	-57.251913	-57.648576
16	<b>Alt.Low[-10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
17	1	-69.455795	-69.446586	-69.455795	-69.446586	-69.45119
18	2	-69.281248	-69.588665	-69.588665	-69.281248	-69.434956
19	3	-67.752675	-66.894647	-67.752675	-66.894647	-67.323661
20	<b>Alt.High[+10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
21	1	-69.072508	-70.625259	-70.625259	-69.072508	-69.848884
22	2	-68.392932	-70.77947	-70.77947	-68.392932	-69.586201
23	3	-68.21955	-68.305311	-68.305311	-68.21955	-68.262431
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						

KUVA 25. ACLR-välilehti

Excel-taulukkoon tulostuu myös *summary*-välilehti, johon on koottu kaikkien suoritettujen mittausten huonoimmat tulokset eri lämpötiloissa. Taulukkoon tulostuu myös vaatimukset raja-arvoista sekä marginaali (*Margin.*) huonoimman tuloksen ja vaatimuksen (*Spec.*) välillä. Jos tulos on punainen, marginaali on negatiivinen. Jos tulos ei ole punainen, marginaali on positiivinen (Kuva 26).

	A	B	C	D
1				
2	1 Carrier(s)			
3	<b>VVA</b>	<b>25°C</b>		
4	Max	1750		
5	Min	1430		
6				
7				
8	1 Carrier(s)			
9	<b>ACLR</b>	<b>25°C</b>	<b>Spec.</b>	<b>Margin.</b>
10	Adj. Low[-5MHz]	-64.8	-58	6.8
11	Adj. High[+5MHz]	-57.3	-58	-0.7
12	Alt. Low[-10MHz]	-66.9	-61	5.9
13	Alt. High[+10MHz]	-68.2	-61	7.2
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				

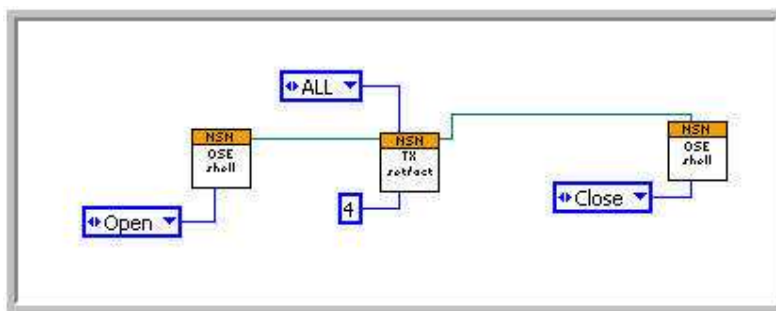
KUVA 26. Summary-välilehti

## 8 KÄYTTÖLIITTYMÄN TESTAUS

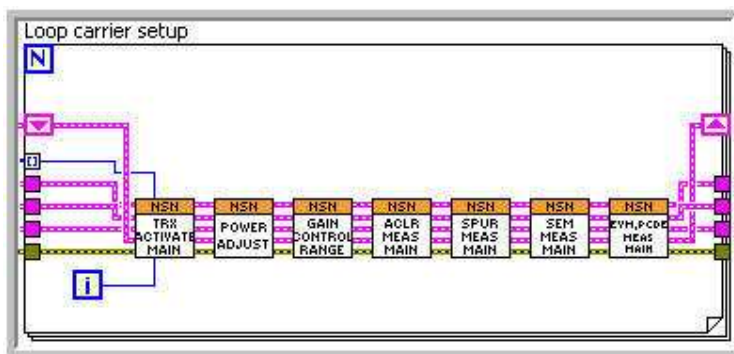
Tämän työn lopullisesta testauksesta olin erityisen kiinnostunut, koska aiemmin olin tehnyt kyseisiä mittauksia ja mittaustulosten kirjauksia manuaalisesti. Tiedossa oli, että ajallisesti ohjelma suoriutuisi tehtävästä hyvin, mutta kuinka hyvin. Yksittäisiä aliohjelmaa ja kokonaisuutta olin tietysti testannut paljon ohjelman tekovaiheessa, koska toimivan aliohjelman jälkeen oli luonnollista siirtyä tekemään toista aliohjelmaa.

### 8.1 Testipenkki

Työn alkuvaiheessa ensimmäisten ohjelmien toimivuus testattiin yksinkertaisella testipenkillä, johon sijoittamalla eri aliohjelmaa pystyttiin testaamaan niiden toimivuus. Kuvassa 27 esimerkkinä *set and activate tx carriers* -aliohjelmaa (TX set/act). Kuvan esimerkissä aliohjelmaa aktivoi mitattavan levyn 1 - 4 kantaaltojen määrälle ja halutuille TX-ketjuille. Kyseinen ohjelmaa on mittausketjussa olevan *TRX ACTIVATE MAIN* -aliohjelman aliohjelmaa (Kuva 28). Aliohjelmaa vaihtamalla saatiin samalla testipenkillä testattua myös muita aliohjelmaa.



KUVA 27. Testipenkki



KUVA 28. TRX ACTIVATE MAIN -aliohjelmaa

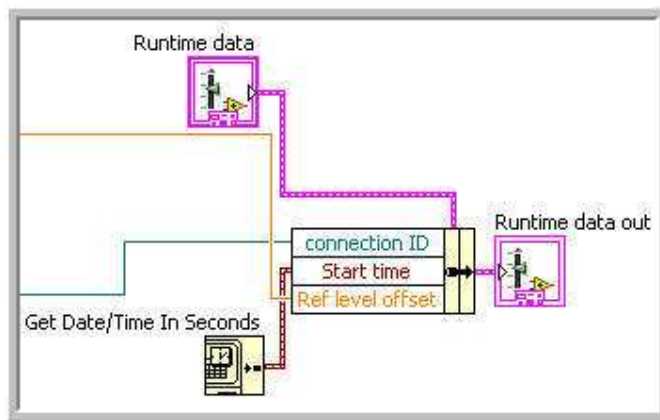


## 8.2 Ohjelman toimivuus

Ohjelman toimivuus ja nopeus tuli testattua visuaalisesti, ajallisesti ja mittaustulosten tulostuksen kannalta. Visuaalinen puoli näkyi ping-kontrollien muuttumisena punaisesta vihreäksi ja päinvas-toin sekä status-välilehdessä ohjelman etenemisen seuraamisena. Lämpötilat päivittyivät 1 se-kunnin välein tai aina kun eri mittausta vaihtuu. Status-välilehdessä kohdissa status in progress ja pipe in progress pystyi koko ajan seuraamaan testauksen etenemistä. Ohjelman lopuksi näyttöön *Status in progress* tuli teksti *Measurements ready* sekä *pipe in progress* kohtaan 0, kuten ohjel-malla oli tarkoitus.

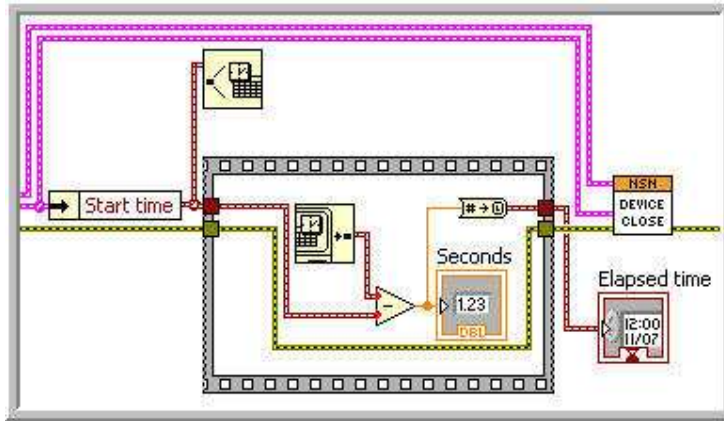
Työn alkuvaiheessa spektrianalysaattorin näytön päivitys ei ollut laitettu päälle koodissa, joten näytön samanaikainen seuraaminen ei ollut mahdollista. Tämä kuitenkin korjautui, kun koodiin lisättiin spektrianalysaattorin näytön päivitys.

Testimittauksen ajallinen testaus suoritettiin asettamalla etupaneeliin yksi lämpötila (25 °C), kol-me jännitettä (5.2 V, 5.3 V ja 5.4 V), kantoaalto 1 ja 2, step 3 eli kolme taajuuspistettä (start 2120 MHz ja stop 2160 MHz) ja kaikki mittaukset. Ohjelma laski ajan Device init -aliohjelman koodiin laitettun LabVIEW'n oman aliohjelman Get Date/Time In Seconds avulla, joka asettaa oletuskäyn-nistysajan. Aika syötetään kyseisessä aliohjelmassa Runtime dataan (Kuva 29). Testimittauksen tulokset on esitetty liitteissä 8 - 12.



KUVA 29. Get Date/Time In Seconds

Viimeisenä mittaustulosten tallennusohjelman jälkeen ennen *device close* -aliohjelmää, otetaan uusi tämän hetken aika, josta vähennetään aloitusaika. Tällöin saadaan erotus sekunteina ja käytetty aika lähtien oletusaloitusajasta (Kuva 30).



KUVA 30. Käytetyn ajan laskeminen

Kuten kuvasta 31 voidaan todeta, testimittaukseen kului aikaa yhteensä 52 minuuttia ja 53 sekuntia.



KUVA 31. Testimittaukseen kulunut aika

## 9 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

Työn edetessä heräsi monia kysymyksiä, mutta ehkä laajin kysymys kuitenkin oli se, että millä muutoksilla käyttöliittymälle voisi tuoda lisäarvoa siten, että ohjelman koodi tai itse etupaneeli pysyisi yhä selkeänä. Ehkä koodin modulaarisuutta olisi vielä voinut parantaa joiltakin osin, mutta mielestäni se onnistui hyvin, koska tässä työssä tehtyä käyttöliittymää voidaan laajentaa hyvin paljon tekemään erilaisia mittauksia, esim. *setup and measurements main.vi* -aliohjelmaan voidaan helposti lisätä uusi mittaus tarvittaessa ja *write measurements to excel.vi* -aliohjelmaan voidaan helposti lisätä uusi mittaustulostus Excel-taulukkoon.

Onko samassa ohjelmassa ääretön määrä eri mittauksia sitten järkevää, jolloin ohjelma paisuu kohtuuttoman suureksi? Mielestäni tämä ohjelmaa antaa siihen hyvän mahdollisuuden, kunhan itse koodi pidetään mahdollisimman selkeänä.

Tämän päivän työpaikoilla ei tarvitse huolehtia henkilökohtaisten tietokoneiden suorituskyvystä eikä tallennuskapasiteetista, joten tässä ohjelmassa voisi käyttää hyväksi myös kuvankaappausta spektrianalysaattorilta joko huonoista tuloksista tai mahdollisesti käyttäjän haluamista tuloksista.

Käyttöliittymässä Chamber settings -lohkossa on kontrollina settling time, missä ajassa moduuli nousee haluttuun lämpötilaan ennen mittauksen alkamista lämpökaapin jo ollessa asetetussa lämpötilassa. Käyttäjän täytyy kuitenkin tietää oman kokemuksensa perusteella, kuinka kauan tämän kestää saavuttaa asetettu lämpötila. Ohjelmaan voisi lisätä mittausten alkamisen, kun mitattava moduuli on saavuttanut tietyn lämpötilan, koska ohjelmassa on jo olemassa lämpötilan luku mitattavalta moduulilta.

## 10 YHTEENVETO

Tässä työssä toteutettiin käyttöliittymä, jolla saadaan tehtyä tietyt lähetinmittaukset lähetin/vastaanotinmoduulille tuotekehityksessä. Toimintaympäristö rakennettiin GPIB-pohjaiseksi, johon sisällytettiin Ethernet-yhteys PC:n ja spektrianalysoitsijan välille. Toimintaympäristön rakenne sisälsi PC:n, FSV-spektrianalysoitsijan, releohjaimen ja releen, jännitelähteen, GPIB-kaapelit, USB 2.0 ethernet -adapterin ja Ethernet-kaapelin.

Mittausohjelma toteutettiin LabVIEW 2010 -ohjelmistolla, koska kyseistä ohjelmistoa on käytetty toimeksiantajan tuotekehitysympäristöissä ja näin ollen muutamia aikaisempia jo valmiita ohjelmia pystyi työssä käyttämään hyödyksi. Esimerkiksi lämpökaapin ohjaukseen käytetty ohjelma oli valmiina, joten mittausohjelmaan tuli tehdä lämpötila-arvojen osalta ainoastaan kolmen eri lämpötila-arvon ohjaus ja lisätä olemassa oleva aliohjelma työssä tehtävään aliohjelmaan. Myös jännitelähteen ohjaukseen oli käytettävissä mittalaitteiden valmistajan oma aliohjelma, jonka kontrolliin tuli syöttää haluttu jännite, joten mittausohjelmaan tuli tehdä jänniteohjauksen osalta ainoastaan kolmen eri jännitearvon ohjaus ja lisätä olemassa oleva aliohjelma työssä tehtyyn aliohjelmaan. LabVIEW sisältää todella kattavasti eri mittalaitteiden valmiita alustusohjelmia, joten käyttöliittymään pystyi laittamaan suhteellisen kattavasti laboratorioissa käytössä olevat mittalaitteet alustukseen.

Käyttöliittymän toiminta testattiin testimittauksella, johon sisällytettiin kaikki ohjelmassa käytössä olevat mittaukset eli ACLR-, SEM-, PCDE-, EVM-, taajuusvirhe-, spurious- ja dynamiikan mittaukset. Testimittaukset tehtiin yhdessä lämpötilassa, kolmella jännitteellä, 1 ja 2 kantaaltoa, 3 TX-keijua ja kolme taajuuspistettä. Spurious-mittauksessa olisi voinut käyttää notch-filtteriä asetetuille keskitaajuuksille, jolloin kantaaltoa olisi saatu vaimennettua mittausten ajaksi alas. Mittaustuloksissa nämä kantaaltojen maksimiarvot näkyvät selvästi, mutta se ei kuitenkaan ollut ohjelman testaamisen kannalta olennaista.

Mielestäni ohjelma suoriutui todella hyvin sille asetetusta tehtävästä, koska aikaa testimittaukseen, käyttöjännitteiden asetukseen ja mittaustulosten tulostukseen Excel-taulukkoon kului 52 minuuttia ja 53 sekuntia. Manuaalisesti samat mittaukset tulosten kirjaamisineen kestäisivät noin viikon. Testimittauksessa ei käytetty lämpökaappia, koska mittaukset suoritettiin huoneenlämmössä. Tehtäessä mittaukset kylmässä (-10 °C) tai kuumassa (+85 °C), lopulliseen aikaan tulee lisätä aika, jossa lämpökaappi asettuu sille asetettuun lämpötilaan. Asetetun lämpötilan saavut-

tamiseen kulunut aika riippuu sekä asetetusta lämpötilasta että lämpökaapin koosta. Tyypillisesti tämä aika on 20 minuutista 60 minuuttiin. Vaikka lämpökaapin asettumisaika on noin 30 prosentista lähes 100 prosenttiin itse testiin käytetystä ajasta, niin yhteenlaskettu aika vanhaan malliin verrattuna ei olennaisesti heikennä lopputulosta. Mittauksissa käytettiin tuotekehityksen testilevyä, joten mittaustulokset eivät ole kaikilta osin vaatimusten mukaiset. Testimittauksesta on esitetty erilliset tulokset liitteissä.

Automaattisten ja manuaalisten mittausten mittaustulosten tarkasteluun tehtiin myös pieni vertailumittaus. Ero pysyy pienenä, koska spektrianalysaattoriin asetetaan ohjelmallisesti samat asetukset kuin manuaalisesti mitattuna eli lähtötilanne on sama. Vertailumittauksissa on käytetty ACLR-mittausta. ACLR-mittaus suoritettiin viisi kertaa peräkkäin sekä ohjelmalla että manuaalisesti. Tulosten erot on esitetty liitteessä 13. Voidaan myös todeta, että mittaustulosten oikeellisuus on parempaa inhimillisen tekijän jäädessä pois mittaustulosten kirjaamisesta eli ihminen voi kirjata tulokset väärin.

Tehdyn käyttöliittymän etuna on myös se, että mittaustuloksia voidaan tallentaa aiempaa enemmän, jolloin saadaan kattavuutta testeihin. Käyttöliittymä esimerkiksi tallettaa ylimääräisiä tuloksia taulukkoon, joita ei välttämättä testiraportointiin tarvita, mutta jotka suunnittelija haluaa tietää. Ylimääräinen tieto tässä työssä on VVA-arvo säädetylle teholle. VVA-arvon tallennus on toteutettu samalla tavalla muiden mittausten kanssa ja tulostus Excel-taulukkoon omalle välilehdelle samaan tiedostoon.

## LÄHDELUETTELO

Anritsu, 2010. Practical tips on WCDMA measurements. Hakupäivä 7.10.2010,  
<http://www.us.anritsu.com/downloads/files/11410-00378.pdf>.

Granlund, K. 2001. Langaton tiedonsiirto. 1. painos. Docendo.

National Instruments, 2010. Modulation Error Ratio(MER) and Error Vector Magnitude(EVM).  
Hakupäivä 7.10.2010, <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3652>.

National Instruments, 2010. History of GPIB. Hakupäivä 2.12.2010,  
<http://sine.ni.com/np/app/culdesac/p/ap/ictl/lang/en/pg/1/sn/n17:ictl,n21:25/docid/tut-3419>.

National Instruments, 2010. Uutistiedotteet. Hakupäivä 11.10.2010,  
[http://digital.ni.com/worldwide/bwcontent.nsf/web/all/807198743F1D24CEC125777B0031CD67?  
OpenDocument&node=162680\\_sf](http://digital.ni.com/worldwide/bwcontent.nsf/web/all/807198743F1D24CEC125777B0031CD67?OpenDocument&node=162680_sf).

National Instruments, 2010. Tuotetietoa. Hakupäivä 9.11.2010,  
[http://digital.ni.com/worldwide/finland.nsf/sb/Product+Information?OpenDocument&node=201840  
\\_sf](http://digital.ni.com/worldwide/finland.nsf/sb/Product+Information?OpenDocument&node=201840_sf).

Rohde & Swartz, 2002. Spurious Emission Measurement on 3GPP Base Station Transmitters.  
Hakupäivä 18.1.2011, [http://www2.rohde-schwarz.com/file\\_1249/1EF45\\_0E.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file_1249/1EF45_0E.pdf).

Sanggee K., Heonjin H., Hyungsoo L., Sungyong H. 2001. The Characteristics of a Transmitter's  
ACLR for WCDMA. Hakupäivä 16.1.2011,  
<http://ieeexplore.ieee.org.ezp.oamk.fi:2048/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1008715>.

3GPP, 2010. About 3GPP. Hakupäivä 10.11.2010, <http://www.3gpp.org/About-3GPP>.

## LIITTEET

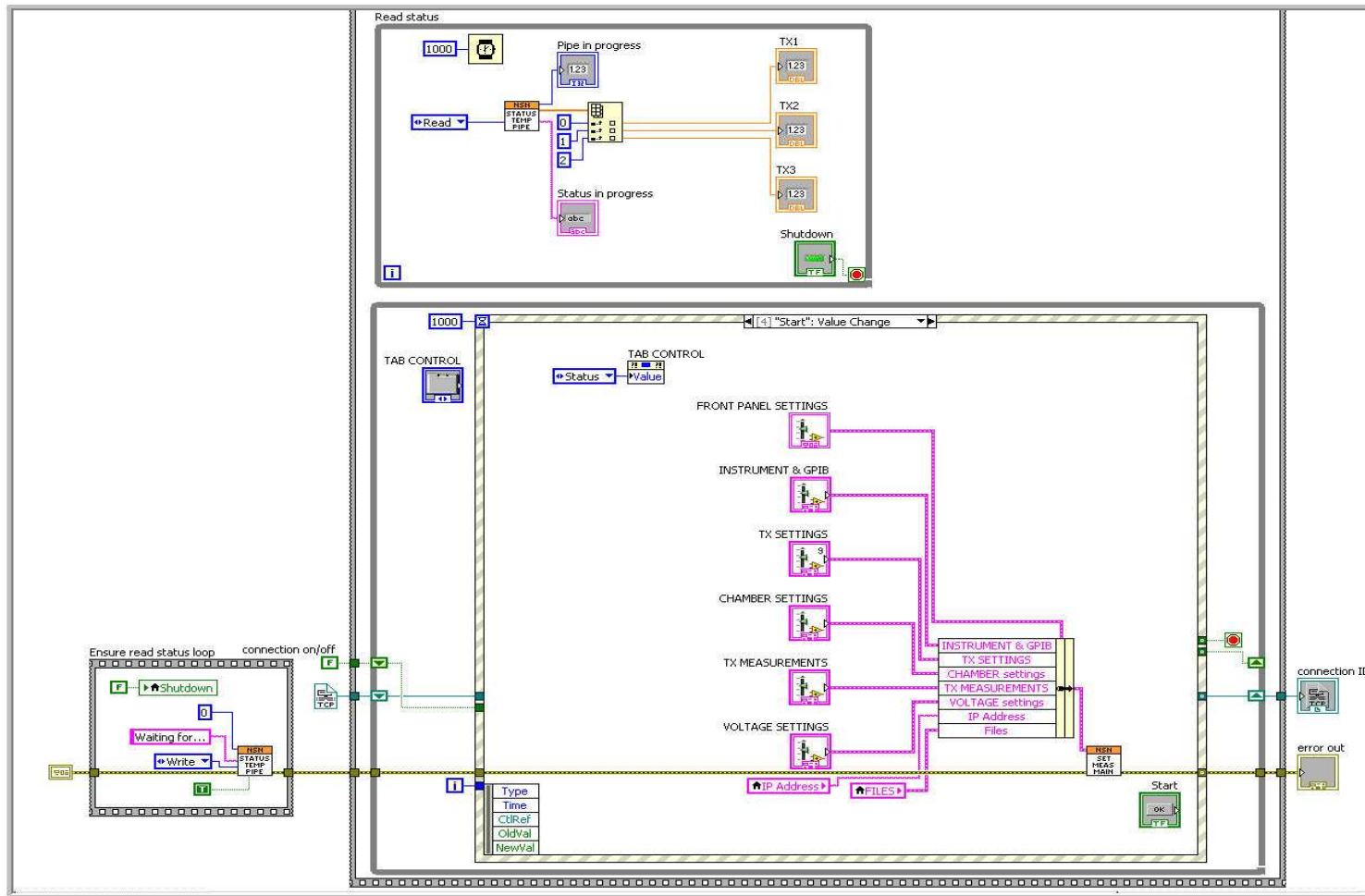
LIITE 1	Context help, Front panel settings
LIITE 2	Etupaneelin diagrammikuva
LIITE 3	Setup and measurements main.vi
LIITE 4	Device init.vi
LIITE 5	Context Help, ACLR
LIITE 6	FSV ACLR setup.vi
LIITE 7	ACLR measuring.vi
LIITE 8	Testimittauksen mittaustulokset, Gain Control Range -välilehti
LIITE 9	Testimittauksen mittaustulokset, ACLR -välilehti
LIITE 10	Testimittauksen mittaustulokset, Spurious -välilehti
LIITE 11	Testimittauksen mittaustulokset, SEM -välilehti
LIITE 12	Testimittauksen mittaustulokset, EVM, PCDE, Freq error -välilehti
LIITE 13	Vertailumittauksen taulukko

## LIITE 1. Front panel settings, Context help

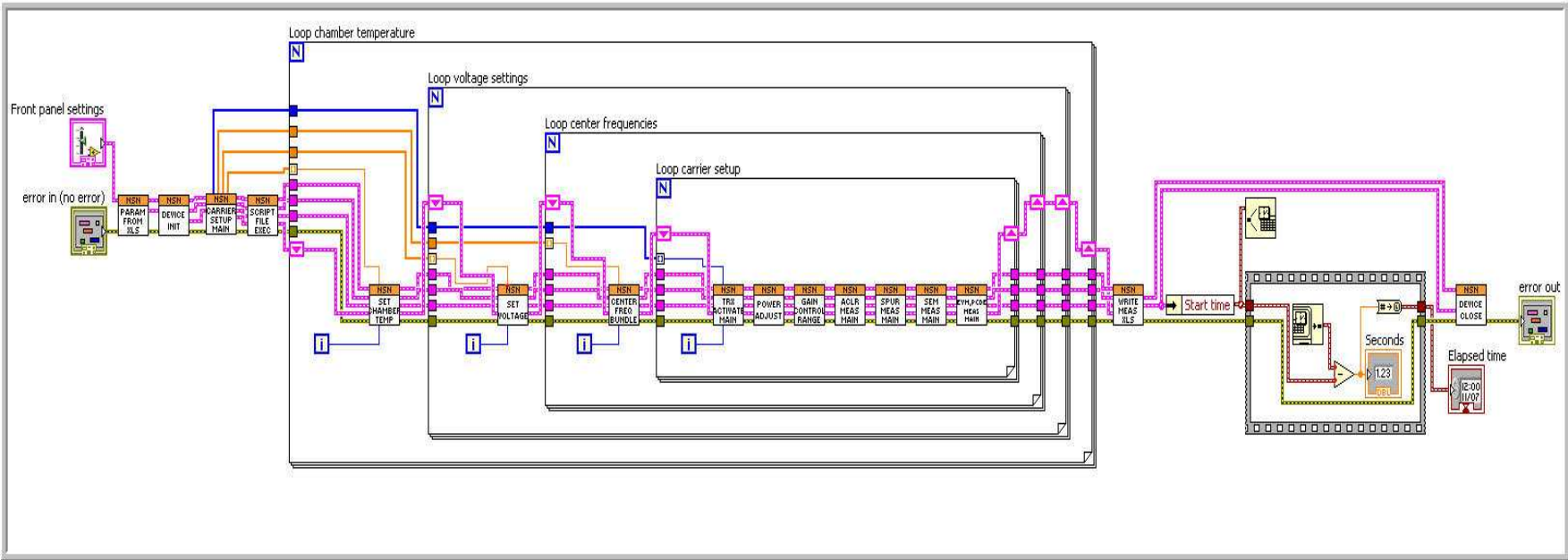




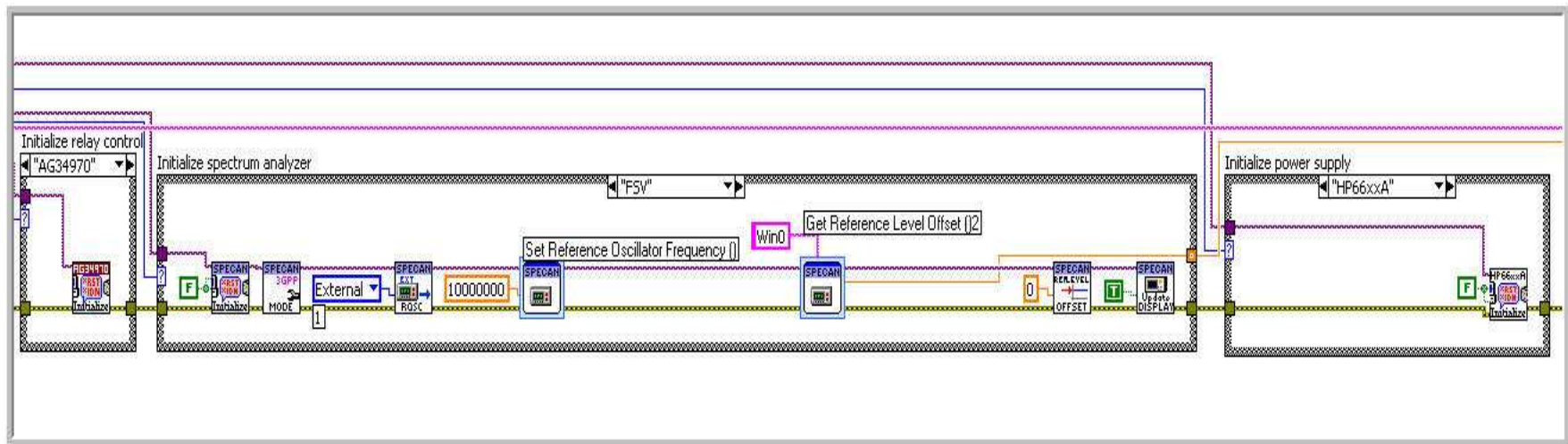
LIITE 2. Etupaneelin diagrammikuva



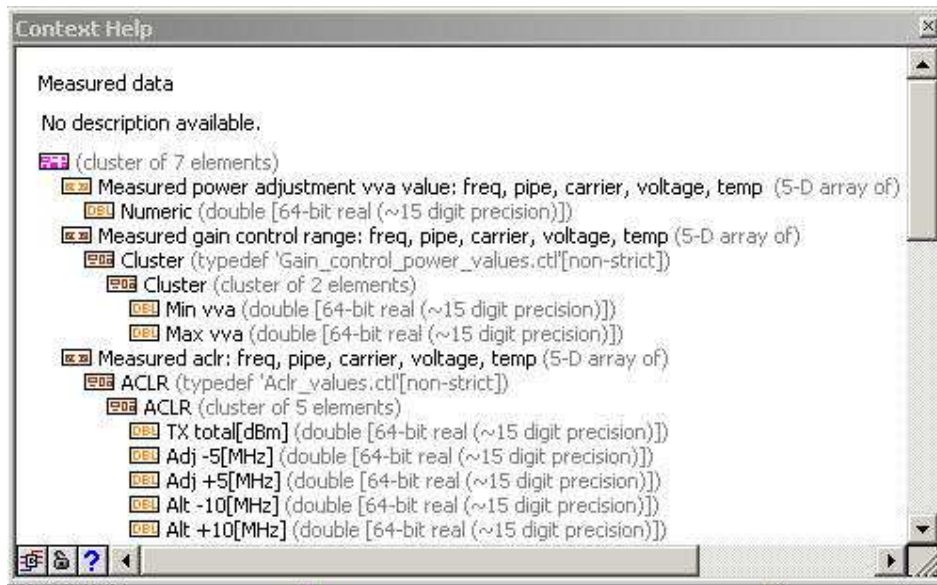
LIITE 3. Setup and measurements main.vi



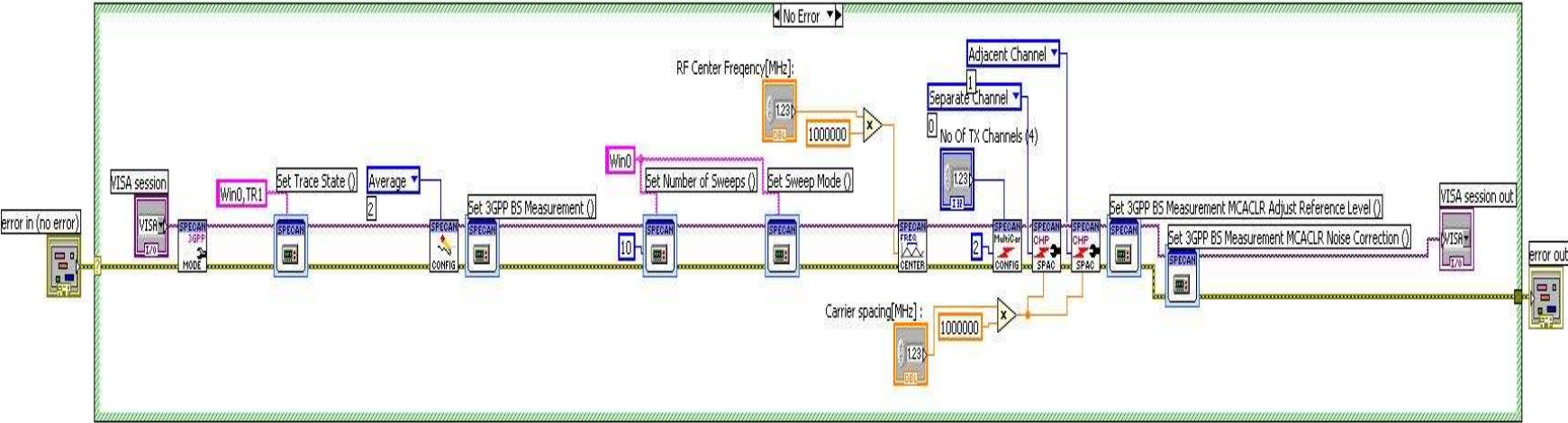
LIITE 4. Device init.vi



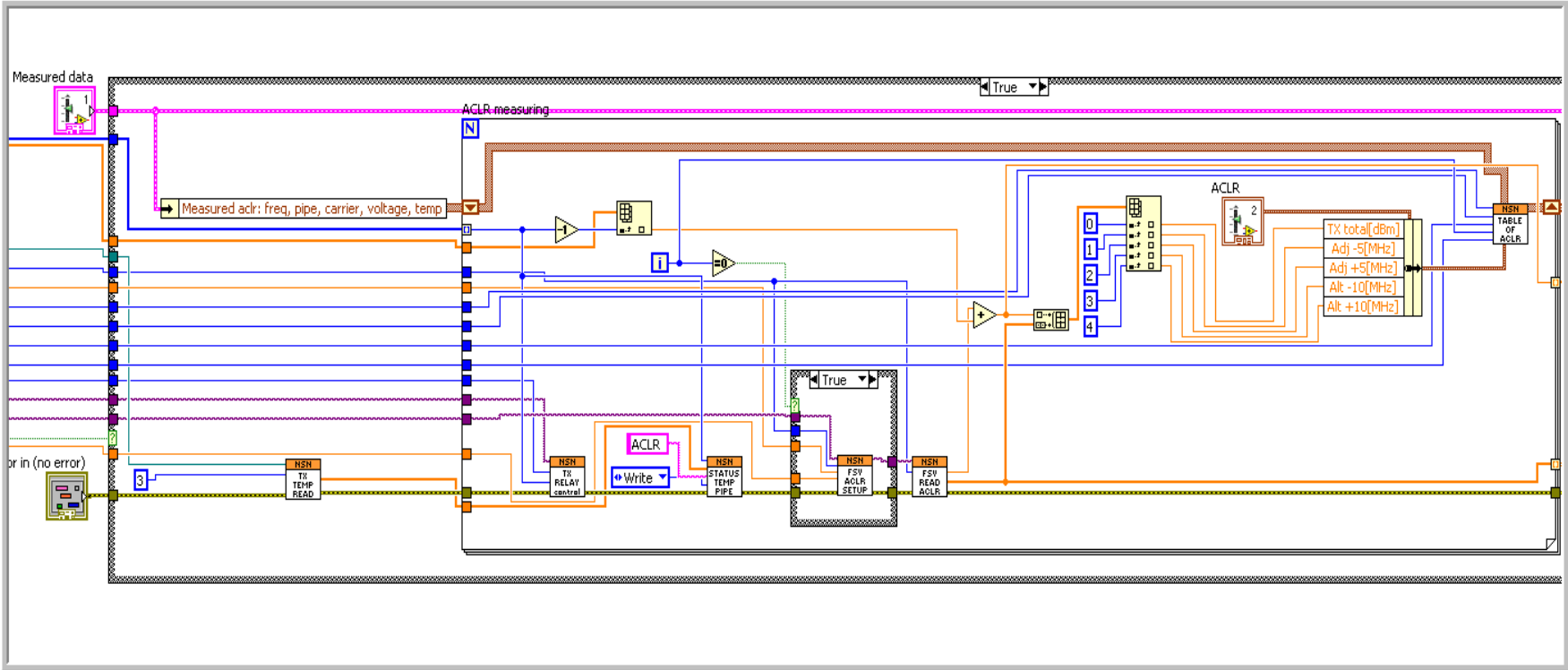
## LIITE 5. Context Help ACLR



LIITE 6. FSV ACLR setup.vi



LIITE 7. ACLR measuring.vi



LIITE 8. Testimittauksen mittaustulokset, Gain Control Range -välehti

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	25°C														
2	5.2V														
3	1 Carrier(s)								2 Carrier(s)						
4	<b>MAX[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>MAX[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
5	1	6.223535	6.666602	6.734653	5.656602	6.223535	5.871596		1	9.194662	8.854626	8.340969	8.340989	9.194662	8.796759
6	2	6.483447	6.228929	5.799453	5.799453	6.483447	6.17061		2	9.519104	9.081429	8.821754	8.821754	9.519104	9.140762
7	3	5.802263	5.557528	5.336139	5.336139	5.802263	5.56531		3	8.806483	8.545419	8.343682	8.343682	8.806483	8.565194
8	<b>MIN[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>MIN[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
9	1	-10.870501	-11.407657	-11.42721	-11.42721	-10.870501	-11.235123		1	-7.885235	-8.219729	-8.843996	-8.843996	-7.885235	-8.31632
10	2	-10.166583	-10.421782	-10.964179	-10.964179	-10.166583	-10.517515		2	-7.092837	-7.536961	-7.933514	-7.933514	-7.092837	-7.521104
11	3	-12.178008	-12.390172	-12.760255	-12.760255	-12.178008	-12.442812		3	-9.091328	-9.420076	-9.732452	-9.732452	-9.091328	-9.414619
12															
13	5.3V														
14	1 Carrier(s)								2 Carrier(s)						
15	<b>MAX[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>MAX[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
16	1	5.958992	5.464608	5.509199	5.464808	5.958992	5.644333		1	8.85036	8.763878	8.702721	8.702721	8.85036	8.77232
17	2	6.439211	6.170209	5.868318	5.868318	6.439211	6.159246		2	9.475342	9.256555	8.866256	8.888256	9.475342	9.206718
18	3	6.70745	6.500375	5.362239	5.362239	6.70745	5.523354		3	8.755647	8.573826	8.430266	8.430266	8.755647	8.586913
19	<b>MIN[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>MIN[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
20	1	-11.263127	-11.708417	-11.773789	-11.773789	-11.263127	-11.581778		1	-8.343187	-8.390512	-8.548246	-8.548246	-8.343187	-8.427315
21	2	-10.284484	-10.616755	-11.034785	-11.034785	-10.284484	-10.645341		2	-7.235907	-7.444529	-7.910025	-7.910025	-7.235907	-7.530154
22	3	-12.308406	-12.54237	-12.813706	-12.813706	-12.308406	-12.554827		3	-9.251798	-9.461486	-9.75491	-9.75491	-9.251798	-9.489398
23															
24	5.4V														
25	1 Carrier(s)								2 Carrier(s)						
26	<b>MAX[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>MAX[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
27	1	6.112683	5.769835	5.326377	5.326377	6.112683	5.736365		1	8.916973	8.641619	8.582825	8.641619	8.916973	8.746806
28	2	6.511295	6.179221	5.821142	5.821142	6.511295	6.170553		2	9.548927	9.24878	8.868631	8.868631	9.548927	9.221446
29	3	5.816376	5.517895	5.349767	5.349767	5.816376	5.56128		3	8.819657	8.578379	8.37339	8.37339	8.819657	8.590485
30	<b>MIN[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>MIN[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
31	1	-11.184846	-11.439429	-12.025603	-12.025603	-11.184846	-11.549959		1	-8.357803	-8.63777	-8.655792	-8.655792	-8.357803	-8.550455
32	2	-10.256922	-10.630068	-11.069538	-11.069538	-10.256922	-10.652176		2	-7.26156	-7.574696	-8.064199	-8.064199	-7.26156	-7.633485
33	3	-12.335685	-12.636511	-12.981758	-12.981758	-12.335685	-12.651318		3	-9.28373	-9.594373	-9.925226	-9.925226	-9.28373	-9.60111
34															

LIITE 9. Testimittauksen mittaustulokset, ACLR -välilehti

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	25°C															
2	5.2V															
3	1 Carrier(s)															
4	<b>Power[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>2 Carrier(s)</b>	<b>Power[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
5	1	1.570383	1.654695	2.016775	1.570383	2.016775	1.747285		1	2.146257	2.091898	1.844577	1.844577	2.146257	2.027577	
6	2	2.036007	2.017962	2.103608	2.017962	2.103608	2.052526		2	2.016419	2.006105	2.078076	2.006105	2.078076	2.033533	
7	3	1.904323	1.949187	2.015311	1.904323	2.015311	1.956274		3	2.101265	2.091375	2.037662	2.037662	2.101265	2.076767	
8	<b>Adj.Low[-5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Adj.Low[-5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
9	1	-68.216691	-67.819451	-67.792233	-68.216691	-67.792233	-67.942791		1	-66.308361	-65.833606	-65.926085	-66.308361	-65.833606	-66.022684	
10	2	-68.092351	-68.165144	-67.847183	-68.165144	-67.847183	-68.034893		2	-66.594329	-66.169499	-65.816209	-66.594329	-65.816209	-66.193346	
11	3	-68.069277	-68.118435	-67.612422	-68.118435	-67.612422	-67.933378		3	-65.189018	-64.760894	-64.664712	-65.189018	-64.664712	-64.871542	
12	<b>Adj.High[+5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Adj.High[+5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
13	1	-66.80884	-66.977895	-67.928784	-67.928784	-66.80884	-67.238506		1	-65.317251	-65.796151	-66.355521	-66.355521	-65.317251	-65.822974	
14	2	-66.479814	-66.591884	-67.76567	-67.76567	-66.479814	-66.945789		2	-65.170835	-65.684087	-65.713969	-65.713969	-65.170835	-65.522964	
15	3	-67.777229	-68.14297	-67.475334	-68.14297	-67.475334	-67.798511		3	-64.111414	-64.233358	-64.206257	-64.233358	-64.111414	-64.183676	
16	<b>Air.Low[-10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Air.Low[-10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
17	1	-70.371874	-70.120056	-69.931385	-70.371874	-69.931385	-70.141105		1	-68.544993	-68.942224	-68.718858	-68.942224	-68.544993	-68.735364	
18	2	-70.280772	-69.868125	-69.884468	-70.280772	-69.868125	-70.011122		2	-68.328218	-68.83875	-68.491268	-68.83875	-68.328218	-68.552745	
19	3	-70.347661	-69.953154	-69.93534	-70.347661	-69.93534	-70.078718		3	-67.545155	-68.574234	-68.41491	-68.574234	-67.545155	-68.178099	
20	<b>Air.High[+10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Air.High[+10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
21	1	-68.634185	-69.874078	-70.439938	-70.439938	-68.634185	-69.6494		1	-67.817339	-68.252204	-68.934187	-68.934187	-67.817339	-68.334577	
22	2	-68.792752	-70.222789	-69.899805	-70.222789	-68.792752	-69.638449		2	-67.323118	-68.088442	-69.10158	-69.10158	-67.323118	-68.171046	
23	3	-69.943539	-69.859137	-70.226032	-70.226032	-69.859137	-70.009569		3	-67.82702	-68.241619	-68.46568	-68.46568	-67.82702	-68.178106	
24																
25	5.3V															
26	1 Carrier(s)															
27	<b>Power[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>2 Carrier(s)</b>	<b>Power[dBm]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
28	1	1.416449	2.440155	1.837828	1.416449	2.440155	1.898144		1	2.112357	2.305613	1.569753	1.569753	2.305613	1.995908	
29	2	2.000787	1.992324	1.948632	1.948632	2.000787	1.980581		2	2.103972	1.981937	2.1035	1.981937	2.103972	2.063136	
30	3	1.953838	1.883645	1.942737	1.883645	1.953838	1.92674		3	2.115997	2.033158	1.982187	1.982187	2.115997	2.043781	
31	<b>Adj.Low[-5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Adj.Low[-5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
32	1	-64.411571	-67.872617	-67.960884	-67.960884	-64.411571	-66.748357		1	-66.022684	-66.013857	-65.992646	-66.022684	-65.992646	-66.009729	
33	2	-68.369873	-67.93809	-68.049382	-68.369873	-67.93809	-68.119115		2	-66.834397	-66.353865	-66.075076	-66.834397	-66.075076	-66.421113	
34	3	-68.059005	-67.607526	-67.596104	-68.059005	-67.596104	-67.754212		3	-65.064036	-65.061555	-64.628596	-65.064036	-64.628596	-64.918062	
35	<b>Adj.High[+5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Adj.High[+5MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
36	1	-64.361614	-66.863159	-68.078984	-68.078984	-64.361614	-66.434585		1	-65.33321	-65.748132	-66.754623	-66.754623	-65.33321	-65.945322	
37	2	-66.679096	-66.600975	-67.76779	-67.76779	-66.600975	-67.015954		2	-65.317891	-65.386916	-65.518483	-65.518483	-65.317891	-65.407763	
38	3	-67.707836	-67.821597	-67.637286	-67.821597	-67.637286	-67.72224		3	-64.139363	-64.077633	-64.120774	-64.139363	-64.077633	-64.11259	
39	<b>Air.Low[-10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Air.Low[-10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
40	1	-69.063781	-69.57433	-69.95255	-69.95255	-69.063781	-69.53022		1	-68.261712	-68.474859	-68.80885	-68.80885	-68.261712	-68.51504	
41	2	-69.090692	-69.969992	-69.835568	-69.969992	-69.090692	-69.632084		2	-68.306472	-68.466824	-68.704184	-68.704184	-68.306472	-68.492493	
42	3	-69.10356	-69.930668	-69.48221	-69.930668	-69.10356	-69.505479		3	-67.919644	-68.0258	-68.356231	-68.356231	-67.919644	-68.100558	
43	<b>Air.High[+10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Air.High[+10MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
44	1	-68.540336	-70.619243	-70.388253	-70.619243	-68.540336	-69.849277		1	-68.012974	-68.041195	-69.789588	-69.789588	-68.012974	-68.614586	
45	2	-68.650984	-70.139608	-70.269602	-70.269602	-68.650984	-69.686732		2	-67.60025	-68.184656	-69.667854	-69.667854	-67.60025	-68.484253	
46	3	-69.588889	-70.449578	-69.959084	-70.449578	-69.588889	-69.992517		3	-68.1422	-67.65363	-68.575112	-68.575112	-67.65363	-68.123647	
47																



LIITE 10. Testimittauksen mittaustulokset, Spurious -välilehti

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	25°C															
2	5.2V															
3	1 Carrier(s)															
4	<b>Peak[dBm]</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Peak[MHz]</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>
5	Pipe1	0	0.1	-87.1	-85.2	-85.3	-87.1	-85.2	-85.9		Pipe1	0	0.1	0	0	0
6		0.1	30	-80.9	-81.1	-81.4	-81.4	-80.9	-81.1			0.1	30	0.3	24.4	6.3
7		30	496	-71.3	-71.2	-70.9	-71.3	-70.9	-71.1			30	496	357.4	486.2	457.9
8		496	876	-69.3	-68.6	-68.8	-69.3	-68.6	-68.9			496	876	837.2	623.3	675.5
9		876	940	-70.1	-69.8	-70	-70.1	-69.8	-70			876	940	889.5	904.9	929.2
10		940	956	-77	-74	-76.1	-77	-74	-75.7			940	956	944.9	943	941.9
11		956	1000	-71.5	-70.4	-71.9	-71.9	-70.4	-71.3			956	1000	956.7	956.7	990
12		1000	1429	-61	-60.2	-61.4	-61.4	-60.2	-60.9			1000	1429	1301.4	1020.2	1336.8
13		1427.9	1463	-71.4	-70.9	-70.6	-71.4	-70.6	-71			1427.9	1463	1446.9	1446.6	1462.6
14		1475.9	1500.9	-59.1	-61.2	-60.8	-61.2	-59.1	-60.4			1475.9	1500.9	1497.7	1490	1482.2
15		1429	1477	-74.8	-75.5	-73.9	-75.5	-73.9	-74.7			1429	1477	1438.3	1433.3	1470.7
16		1477	1559	-61	-60.6	-60.3	-61	-60.3	-60.6			1477	1559	1617.8	1634	1557.8
17		1559	1710	-60.6	-60.1	-60	-60.6	-60	-60.3			1559	1710	1587.7	1639.5	1679.7
18		1710	1785	-67.1	-68.8	-70.1	-70.1	-67.1	-68.7			1710	1785	1743.8	1768.8	1749.6
19		1785	1805	-59	-59.3	-58.4	-59.3	-58.4	-58.9			1785	1805	1802.6	1799.2	1794.9
20		1805	1880	-69.9	-68.6	-67.9	-69.9	-67.9	-68.9			1805	1880	1831.2	1835.1	1861.2
21		1880	1884.5	-59.6	-59.7	-59.5	-59.7	-59.5	-59.6			1880	1884.5	1861	1861.1	1861.4
22		1884.5	1919.6	-65.6	-65.4	-65	-65.6	-65	-65.3			1884.5	1919.6	1886.4	1899.1	1916.7
23		1900	1920	-57.8	-58.2	-60	-60	-57.8	-58.7			1900	1920	1906.2	1901.8	1908.2
24		1920	1980	-69.9	-69.7	-69.3	-69.9	-69.3	-69.6			1920	1980	1976	1921.9	1947.4
25		1980	2010	-59.1	-59.1	-59.1	-59.1	-58.1	-58.5			1980	2010	1989.1	1990.4	2002.1
26		2010	2025	-59.4	-58.8	-58.5	-59.4	-58.5	-58.9			2010	2025	2017.2	2015.9	2017
27		2025	2080	-58.3	-57.9	-57.5	-58.3	-57.5	-57.9			2025	2080	2076.1	2066.3	2048.7
28		2080	2100	-57.9	-58.2	-58.2	-58.2	-57.9	-58.1			2080	2100	2088.8	2090.3	2095.1
29		2100	2104	-58.2	-57.7	-57.7	-58.2	-57.7	-57.9			2100	2104	2102.2	2100.7	2101.7
30		2104	2176	2.4	1.1	4.3	1.1	4.3	2.6			2104	2176	2119.2	2139.3	2159.5
31		2176	2180	-58	-58	-58	-58	-58	-57.3			2176	2180	2178.6	2178.5	2178
32		2180	2195	-67.1	-67.6	-68.2	-68.2	-67.1	-67.6			2180	2195	2182	2194.1	2191.6
33		2195	2400	-29.3	-38.2	-46	-46	-29.3	-37.9			2195	2400	2275.2	2294.5	2313.8
34		2400	2500	-58.4	-58.6	-58.6	-58.6	-58.4	-58.6			2400	2500	2403.7	2459.1	2454.3
35		2500	2570	-68.5	-68.2	-68.8	-68.8	-68.2	-68.5			2500	2570	2527.8	2554.6	2536.4
36		2570	2620	-66.9	-67.1	-68.8	-68.8	-66.9	-67.6			2570	2620	2599.9	2590.1	2566.4
37		2620	2690	-67.9	-67.4	-68.6	-68.6	-67.4	-68			2620	2690	2649.4	2658.7	2632.8
38		2690	4200	-53.4	-53.7	-54.2	-54.2	-53.4	-53.8			2690	4200	4135.5	3965.1	3678.8
39		4200	12750	-49.4	-49.6	-47.8	-49.6	-47.8	-48.9			4200	12750	6607	6631	6718
40	<b>Peak[dBm]</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Peak[MHz]</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>
41	Pipe2	0	0.1	-84.2	-87.8	-87.3	-87.8	-84.2	-86.4		Pipe2	0	0.1	0	0	0
42		0.1	30	-80.8	-80.4	-81.4	-81.4	-80.4	-80.9			0.1	30	0.2	0.3	0.4
43		30	496	-71.1	-71.6	-70.9	-71.6	-70.9	-71.2			30	496	105.2	451.8	464
44		496	876	-70.6	-68.2	-70.3	-70.6	-68.2	-69.7			496	876	765.2	700.3	863.6
45		876	940	-69.6	-71.7	-68.8	-71.7	-68.8	-70			876	940	885.5	919.1	890.3
46		940	956	-75.3	-76.5	-77.2	-77.2	-75.3	-76.4			940	956	940.9	940.7	942.5

LIITE 11. Testimittauksen mittaustulokset, SEM -välilehti

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	25°C															
2	5.2V															
3	1 Carrier(s)															
4	<b>Pow.Abs.</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Freq</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>
5	Pipe1	-12.75	-8	-58.75	-58.77	-58.56	-58.77	-58.56	-58.69		Pipe1	-12.75	-8	2111.2	2129.64	2150.87
6		-8	-4	-58.74	-58.82	-58.34	-58.82	-58.34	-58.64			-8	-4	2114.31	2135.17	2153.5
7		-4	-3.52	-70.93	-71.02	-71.29	-71.29	-70.93	-71.08			-4	-3.52	2116.47	2136	2156
8		-3.52	-2.71	-71.91	-73.05	-71.63	-73.05	-71.63	-72.2			-3.52	-2.71	2116.48	2136.48	2156.49
9		-2.71	-2.52	-70.97	-70.48	-70.52	-70.97	-70.48	-70.66			-2.71	-2.52	2117.43	2137.46	2157.42
10		2.52	2.71	-71.82	-71.52	-71.08	-71.82	-71.08	-71.48			2.52	2.71	2122.65	2142.57	2162.62
11		2.71	3.52	-72.08	-70.98	-70.33	-72.08	-70.33	-71.13			2.71	3.52	2123.5	2143.42	2163.5
12		3.52	4	-71.04	-70.89	-70.79	-71.04	-70.79	-70.91			3.52	4	2123.87	2143.72	2163.87
13		4	8	-58.51	-58.37	-58.68	-58.68	-58.37	-58.52			4	8	2127.65	2144.57	2164.31
14		8	12.75	-58.63	-58.62	-58.35	-58.35	-58.35	-58.53			8	12.75	2128.91	2152.73	2168.24
15	<b>Pow.Abs.</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Freq</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>
16	Pipe2	-12.75	-8	-58.76	-58.7	-58.54	-58.76	-58.54	-58.67		Pipe2	-12.75	-8	2111.2	2128.86	2150.65
17		-8	-4	-58.82	-58.68	-58.58	-58.82	-58.58	-58.69			-8	-4	2114.17	2132.13	2155.5
18		-4	-3.52	-71.75	-71.7	-70.96	-71.75	-70.96	-71.47			-4	-3.52	2116	2136	2156.47
19		-3.52	-2.71	-72.98	-71.73	-71.48	-72.98	-71.48	-72.06			-3.52	-2.71	2116.48	2136.48	2156.54
20		-2.71	-2.52	-71.63	-70.82	-70.56	-71.63	-70.56	-71			-2.71	-2.52	2117.38	2137.46	2157.29
21		2.52	2.71	-70.9	-71.22	-71.53	-71.53	-70.9	-71.22			2.52	2.71	2122.51	2142.57	2162.58
22		2.71	3.52	-72.34	-72	-71.94	-72.34	-71.94	-72.09			2.71	3.52	2123.5	2143.5	2163.5
23		3.52	4	-71.04	-71.15	-70.96	-71.15	-70.96	-71.05			3.52	4	2123.79	2143.76	2163.51
24		4	8	-58.53	-58.47	-58.62	-58.62	-58.47	-58.54			4	8	2126.28	2144.87	2164.2
25		8	12.75	-58.47	-58.76	-58.53	-58.76	-58.47	-58.58			8	12.75	2129.65	2149.35	2170.17
26	<b>Pow.Abs.</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Freq</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>
27	Pipe3	-12.75	-8	-58.61	-59	-58.85	-59	-58.61	-58.82		Pipe3	-12.75	-8	2111.98	2131.72	2150.87
28		-8	-4	-58.77	-58.58	-58.31	-58.77	-58.31	-58.55			-8	-4	2113.39	2134.46	2154.46
29		-4	-3.52	-70.93	-71.03	-70.64	-71.03	-70.64	-70.87			-4	-3.52	2116.13	2136.09	2156.09
30		-3.52	-2.71	-70.61	-72.89	-72.39	-72.89	-70.61	-71.93			-3.52	-2.71	2116.58	2136.48	2156.49
31		-2.71	-2.52	-70.95	-70.99	-70.87	-70.99	-70.87	-70.93			-2.71	-2.52	2117.38	2137.43	2157.42
32		2.52	2.71	-70.89	-71.02	-70.98	-71.02	-70.89	-70.96			2.52	2.71	2122.57	2142.51	2162.62
33		2.71	3.52	-71.61	-71.7	-71.76	-71.76	-71.61	-71.69			2.71	3.52	2123.46	2143.5	2163.46
34		3.52	4	-70.3	-71.33	-70.43	-71.33	-70.3	-70.69			3.52	4	2123.61	2143.76	2163.94
35		4	8	-58.76	-58.69	-58.25	-58.76	-58.25	-58.57			4	8	2127.24	2147.5	2164.61
36		8	12.75	-58.75	-58.68	-58.47	-58.75	-58.47	-58.64			8	12.75	2131.62	2152.14	2169.76
37																
38	5.3V															
39	1 Carrier(s)															
40	<b>Pow.Abs.</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>Freq</b>	<b>Start[MHz]</b>	<b>Stop[MHz]</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>
41	Pipe1	-12.75	-8	-58.65	-58.61	-58.68	-58.68	-58.61	-58.65		Pipe1	-12.75	-8	2111.98	2127.68	2148.08
42		-8	-4	-58.61	-58.62	-58.55	-58.62	-58.55	-58.59			-8	-4	2112.8	2132.57	2153.17
43		-4	-3.52	-71.09	-70.72	-71	-71.09	-70.72	-70.94			-4	-3.52	2116.47	2136.35	2156.06
44		-3.52	-2.71	-72.14	-73.05	-71.74	-73.05	-71.74	-72.31			-3.52	-2.71	2116.48	2136.48	2156.49
45		-2.71	-2.52	-70.94	-70.66	-70.73	-70.94	-70.66	-70.78			-2.71	-2.52	2117.35	2137.35	2157.35
46		2.52	2.71	-70.88	-69.95	-71.82	-71.82	-69.95	-70.88			2.52	2.71	2122.62	2142.51	2162.65

LIITE 12. Testimittauksen mittaustulokset, EVM, PCDE, Freq error -välehti

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	25°C																	
2	5.2V																	
3	1 Carrier(s)																	
4	<b>EVM[%]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>2 Carrier(s)</b>	<b>EVM[%]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
5	Pipe1	1	0	0	0	0	0	0		Pipe1	1	0	0	0	0	0	0	0
6	Pipe2	1	1.3	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3		Pipe2	2	0	0	0	0	0	0	0
7	Pipe3	1	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4		Pipe2	1	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
8	<b>PCDE[dB]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		Pipe3	2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
9	Pipe1	1	0	0	0	0	0	0		Pipe3	1	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
10	Pipe2	1	-53.2	-52.6	-52	-53.2	-52	-52.6		Pipe3	2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
11	Pipe3	1	-53	-53.1	-51.9	-53.1	-51.9	-52.7		<b>PCDE[dB]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
12	<b>Freq[Hz]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		Pipe1	1	0	0	0	0	0	0	0
13	Pipe1	1	0	0	0	0	0	0		Pipe2	2	0	0	0	0	0	0	0
14	Pipe2	1	1	1.4	1	1	1.4	1.1		Pipe2	1	-50.9	-50.7	-50.6	-50.9	-50.6	-50.7	
15	Pipe3	1	0.8	1	1.9	0.8	1.9	1.2		Pipe2	2	-50.4	-49.9	-49.2	-50.4	-49.2	-49.8	
16										Pipe3	1	-50.9	-50.8	-50.5	-50.9	-50.5	-50.7	
17										Pipe3	2	-50.4	-50.5	-50.3	-50.5	-50.3	-50.4	
18										<b>Freq[Hz]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
19										Pipe1	1	0	0	0	0	0	0	
20										Pipe1	2	0	0	0	0	0	0	
21										Pipe2	1	0.5	0.3	0.7	0.3	0.7	0.5	
22										Pipe2	2	1.4	1.4	0.4	0.4	1.4	1.1	
23										Pipe3	1	0.8	1.7	1.1	0.8	1.7	1.2	
24										Pipe3	2	0.5	1.3	1.2	0.5	1.3	1	
25																		
26																		
27	5.3V																	
28	1 Carrier(s)																	
29	<b>EVM[%]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		<b>2 Carrier(s)</b>	<b>EVM[%]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>
30	Pipe1	1	0	0	0	0	0	0		Pipe1	1	0	0	0	0	0	0	0
31	Pipe2	1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4		Pipe1	2	0	0	0	0	0	0	0
32	Pipe3	1	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.4		Pipe2	1	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.7	
33	<b>PCDE[dB]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		Pipe2	2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
34	Pipe1	1	0	0	0	0	0	0		Pipe3	1	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
35	Pipe2	1	-52.6	-53.4	-52.6	-53.4	-52.6	-52.9		Pipe3	2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
36	Pipe3	1	-52.9	-53	-52.6	-53	-52.6	-52.8		<b>PCDE[dB]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
37	<b>Freq[Hz]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>		Pipe1	1	0	0	0	0	0	0	0
38	Pipe1	1	0	0	0	0	0	0		Pipe2	2	0	0	0	0	0	0	0
39	Pipe2	1	2.1	2	0.9	0.9	2.1	1.7		Pipe2	1	-50.2	-50.7	-50.6	-50.7	-50.2	-50.5	
40	Pipe3	1	1.9	0.6	1	0.6	1.9	1.2		Pipe2	2	-50	-50.5	-49.9	-50.5	-49.9	-50.2	
41										Pipe3	1	-50.2	-50.5	-50.5	-50.5	-50.2	-50.4	
42										Pipe3	2	-50.4	-50.3	-49.1	-50.4	-49.1	-49.9	
43										<b>Freq[Hz]</b>	<b>Carrier</b>	<b>2120</b>	<b>2140</b>	<b>2160</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Average</b>	
44										Pipe1	1	0	0	0	0	0	0	
45										Pipe1	2	0	0	0	0	0	0	

LIITE 13. Vertailumittauksen taulukko

Automaattiset mittaukset						
	Tulos 1	Tulos 2	Tulos 3	Tulos 4	Tulos 5	Keskiarvo
adj. -5MHz	-68,52	-68,06	-68,58	-68,24	-68,51	<b>-68,382</b>
adj. +5MHz	-66,83	-66,74	-66,88	-66,72	-66,86	<b>-66,806</b>
alt. -10MHz	-69,19	-69,63	-69,99	-70,17	-70,37	<b>-69,87</b>
alt. +10MHz	-68,93	-69,06	-68,81	-69,1	-69,12	<b>-69,004</b>
						<b>Erotus</b>
						adj. -5MHz <b>-0,05</b>
						adj. +5MHz <b>0,136</b>
						alt. -10MHz <b>-0,084</b>
						alt. +10MHz <b>0,048</b>
Manuaaliset mittaukset						
	Tulos 1	Tulos 2	Tulos 3	Tulos 4	Tulos 5	Keskiarvo
adj. -5MHz	-68,42	-68,32	-68,14	-68,63	-68,15	<b>-68,332</b>
adj. +5MHz	-66,79	-66,98	-67,1	-66,88	-66,96	<b>-66,942</b>
alt. -10MHz	-69,36	-69,65	-70,05	-70,02	-69,85	<b>-69,786</b>
alt. +10MHz	-68,41	-69,23	-69,29	-69	-69,33	<b>-69,052</b>