

Antti Lehtinen

LabVIEW-ohjelmointisovelluksella kehitetty automaattinen antennimittausjärjestelmä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

23.4.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Antti Lehtinen LabVIEW-ohjelmointisovelluksella kehitetty automaattinen antennimittausjärjestelmä 31 sivua + 5 liitettä 23.4.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	elektroniikan koulutusohjelma
Ohjaaja	yliopettaja Matti Fischer
<p>Tässä insinööriytyössä oli tavoitteena kehittää tietokoneohjattu antennimittausjärjestelmä heijastuksettomaan huoneeseen. Sen avulla tuli pystyä kontrolloimaan piirianalysointia ja antenninkäyttölaiteistoja, mittaamaan antennin suuntakuviota ja piirtämään se polaarissa muodossa.</p> <p>Tietokone ohjaus toteutettiin National Instrumentsin LabVIEW-ohjelmoinnilla. Ohjelmoinnilla saatiin ohjelmoitua ohjelma, jolla pystytään hoitamaan mittausjärjestelmän kontrollointi, sekä piirtämään antennin suuntakuviota polaarissa muodossa. Ohjainkäyttöliittymät ja sen ohjekirja kehitettiin yhteistyössä Metropolian Ammattikorkeakoulun opiskelijan Antti Pääkösen kanssa, joka teki opinnäytetyönsä samasta aiheesta.</p> <p>Lopputuloksena saatiin aikaan ohjelma, joka on helppo- ja nopeakäyttöinen. Ohjelma on kehitetty toimimaan heijastuksettomassa huoneessa helposti, mutta sitä voidaan käyttää myös muissa mittausympäristöissä. Ohjelmaa on mahdollista soveltaa erilaisille antennille. Jatkossa voi tämän ohjelman pohjalta kehittää toisille mittauksille mittauksia nopeuttavia ja yksinkertaistavia ohjelmia.</p>	
Avainsanat	Antenni, LabVIEW, piirianalysointilaite, häiriötön huone

Author Title	Antti Lehtinen An Automated Antenna Measurement System Developed Using LabVIEW Programming Application
Number of Pages Date	31 pages + 5 appendices 23 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electronics
Instructor	Matti Fischer, Principal Lecturer
<p>The objective of this thesis was to develop a computer controlled antenna measurement system inside a nonradiating room. With its help you are supposed to be able to control a network analyzer and an antenna turntable, measure a radiation pattern and draw it in polar format.</p> <p>Computer control was achieved using National Instruments LabVIEW programming. With the programming a program was programmed that is able to control the measurement system and draw an antenna radiation pattern in polar format. The automated antenna measurement system and its user's guide were developed in cooperation with student Antti Pääkkönen from Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, who was also doing a thesis on the same subject.</p> <p>The final result was a program that is easy and fast to use. The program was developed to work easily in a nonradiating room, but it can be used in other environments also. It is possible to use the program with different kinds of antennas. In the future, using this program as basis, it is possible to develop other programs that speed up and simplify other antenna measurements.</p>	
Keywords	Antenna, LabVIEW, network analyzer, nonradiating room

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Sähkömagneettinen säteily ja sen eteneminen	2
2.1	Radioaallot	2
2.2	Kauko- ja lähikentät	4
3	Antennien ominaisuudet	5
3.1	Antennien yleiset ominaisuudet	5
3.2	Lanka-antennit	8
3.2.1	Dipoliantenni	9
3.2.2	Monopoliantenni	11
3.2.3	Yagin antenni	13
4	Antennien mittaus	14
4.1	Antennimittauksien virhelähteitä	14
4.2	Antennimittauksien mittaustaikkoja	15
4.1.1	Heijastukseton huone	16
4.1.2	Vapaan tilan mittaustaikka	17
4.1.3	Maaheijastusmittaustaikka	18
5	Mittauslaitteisto ja ohjelmisto	20
5.1	Piirianalysointilaite	20
5.2	Brüel & Kjær Turntable System Type 9640 -pyörityskone	21
5.3	LabVIEW ohjelmointisovellus ja NI GPIB-USB-HS -kontrolleri	22
6	Mittausjärjestelmän ohjelmiston suunnittelu ja testaus	24
6.1	Ohjelmiston suunnittelu	24
6.2	Ohjelmiston testaus ja testiympäristö	27
7	Yhteenveto	30

Liitteet

Liite 1. Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

Liite 2. Piirianalysaattorin kontrolliohjelman käyttöympäristö

Liite 3. Piirianalysaattorin kontrolliohjelman koodi esimerkki

Liite 4. Suuntakuvion piirto-ohjelman koodi

Liite 5. Antennimittausjärjestelmän ohjauspaneelit

Lyhenteet ja käsitteet

A_{eff}	Sieppauspinta
A_{phys}	Apertuurin fysikaalinen pinta-ala
D	suuntaavuus
D_a	antennin halkaisija
E	kentänvoimakkuus
E_n	normalisoitu kentänvoimakkuus
f	taajuus
G	Antennin vahvistus
h_r	vastaanottoantennin korkeus
h_t	lähetinantennin korkeus
I_0	virran maksimiarvo
$I(z)$	virranjakauma
l	langan pituus
P	tehotiheys
P_n	normalisoitu tehotiheys
r	mittausetäisyys
R_r	säteilyresistanssi
η_{ap}	Apertuurihyötysuhde
η_p	polarisatiohyötysuhde
η_r	säteilyhyötysuhde
θ ja ϕ	kulma
$\theta_{3\text{dB}}$	Puolen tehon keilanleveys
λ	aallonpituus
λ_r	vastaanottoantennin aallonpituus
μ	väliaineen permeabiliteetti
ω	kulmataajuus
GPIO	General Purpose Interface Bus, yleisesti käytetty liitäntä digitaalisten laitteiden välillä. Viralliselta standardinimeltään IEEE-488.
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.

1 Johdanto

Tämä insinöörityö on tehty Metropolia Ammattikorkeakoulun opettajalle. Aihe tuli toiveestani työskennellä LabVIEW ohjelmoinnin kanssa.

Työn alkaessa koululla on heijastuksettomassa huoneessa antennin kääntökoneisto ja huoneen ulkopuolella piirianalysointilaite ja kääntökoneiston ohjain. Tarvitteena on kehittää LabVIEW ohjelmoinnilla ohjelmisto, jolla voidaan kontrolloida mittauslaitteita kannettavalla tietokoneella. Lisäksi ohjelmalla on tavoitteena automatisoida suuntakuvion mittaus ja mittaus tuloksien käsittely.

Työn tarkoituksena on nopeuttaa mittauslaitteiston käyttöä ja vähentää ihmiseltä vaadittua työmäärää. Automatisoimalla mittaukset vältetään tuloksien käsittelyltä mittauksien välillä toistomittauksissa.

2 Sähkömagneettinen säteily ja sen eteneminen

Sähkömagneettinen säteily on poikittain etenevää aaltoliikettä, joka etenee tyhjiössä suoraviivaisesti valonnopeudella ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s). Sähkömagneettisen tasoallon edessä muodostuneet sähkö- ja magneettikenttä sykkivät samanvaiheisina kohtisuorassa toisiaan sekä etenemissuuntaa vastaan. Näiden aaltojen sykkimistä havainnoidaan taajuudella f ja aallonpituudella λ .

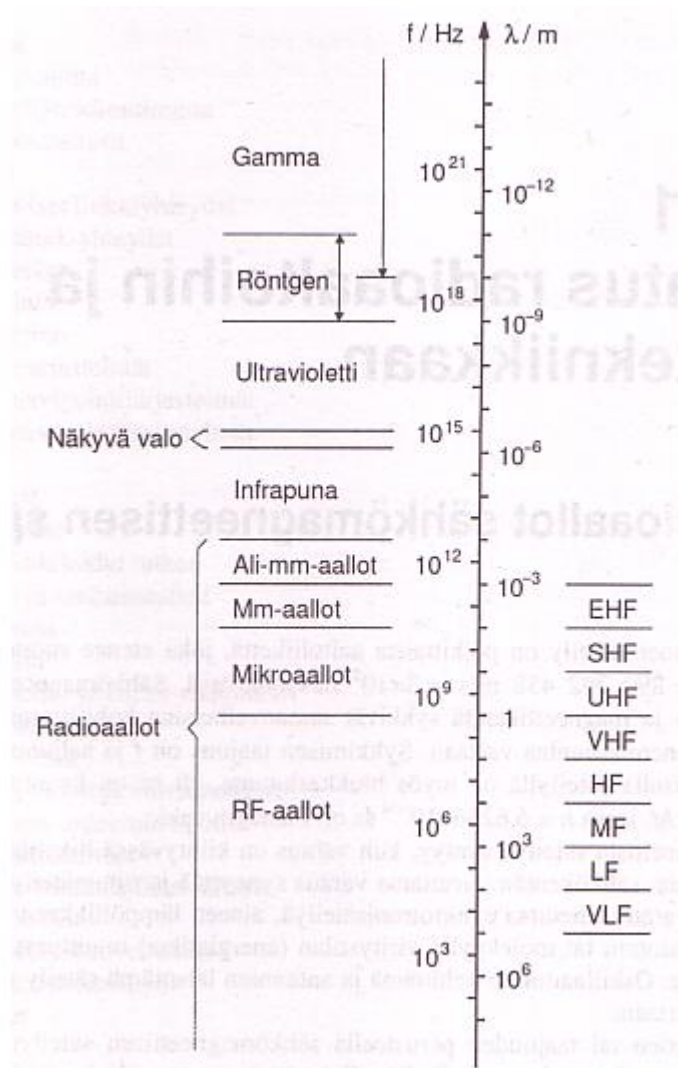
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Antennilla tarkoitetaan laitetta, joka lähettää tai vastaanottaa sähkömagneettista energiaa tarkoituksenmukaisesti. Kaikki sähkölaitteet lähettävät ja vastaanottavat säteilyä, mutta antennit tekevät sitä tarkoituksella. Tämä tarkoitus ja käyttötaajuus vaikuttavat vahvasti antennin ulkomuotoon. Lähes kaikissa radiotekniikan sovelluksissa tarvitaan antennia. (1, s. 9, 156; 2, s. 4.)

2.1 Radioaallot

Kaikki radioaallot ovat sähkömagneettista säteilyä, mutta kaikki sähkömagneettiset säteilyt, eivät kuitenkaan ole radioaalloja. Sähkömagneettisen säteilyn spektri jaetaan osa-alueisiin taajuuden tai aallonpituuden mukaan (kuva 1). Radioaallot ovat siis sähkömagneettisen säteilyn spektrin pitkäaaltoisinta, tai toisin sanoen matalataajuisinta, aluetta.

Radiotekniikkaan siirrytään, kun aaltojohdot eivät ole toimiva tai järkevä ratkaisu. Esimerkiksi pitkillä matkoilla aaltojohdot alkavat aiheuttaa suurta vaimennusta verrattuna radioaaltoihin. Lisäksi radioaallot ovat ainoa tapa saada samanaikaisesti yhteys moneen paikkaan tai liikkuvaan kohteeseen. (1, s. 9; 2, s. 7.)



Kuva 1. Sähkömagneettinen spektri (1, s. 10).

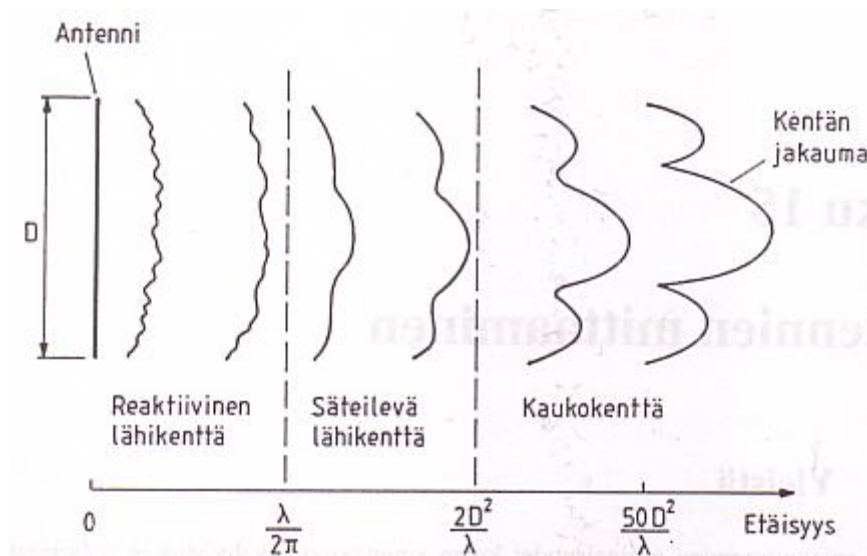
Radioaallot on jaettu dekaideittain omaksi spektriaksi taulukon 1 mukaisesti (1, s. 9).

Taulukko 1. Radioaaltojen taajuusalueet (1, s. 10).

VLF	Very Low Frequencies	3–30 kHz
LF	Low Frequencies	30–300 kHz
MF	Medium Frequencies	300–3000 kHz
HF	High Frequencies	3–30 MHz
VHF	Very High Frequencies	30–300 MHz
UHF	Ultra High Frequencies	300–3000 MHz
SHF	Super High Frequencies	3–30 GHz
EHF	Extremely High Frequencies	30–300 GHz

2.2 Kauko- ja lähikentät

Antennin säteilemällä kentällä on paikasta ja ajasta riippuva amplitudi, vaihe ja suunta. Tämä sähkömagneettinen kenttä voidaan jakaa kolmeen alueeseen (kuva 2). Lähimpänä on, mittausetäisyyksillä $r \leq \lambda / 2\pi$ niin sanottu reaktiivinen lähikenttä. Sen jälkeen on säteilevä lähikenttä (Fresnelin alue), mittausetäisyyksillä $\lambda / 2\pi \leq r \leq 2D_a / \lambda$, jossa D_a on antennin halkaisija, ja lopuksi on kaukokenttä (Fraunhoferin alue), mittausetäisyyksillä $r \geq 2D_a / \lambda$.



Kuva 2. Antennin lähi- ja kaukokenttä (3, s. 170).

Kaukokentässä sähkömagneettinen kenttä pienenee kääntäen verrannollisesti etäisyyteen ($1/r$) ja muistuttaa tasoaaltoa. Antenni usein halutaan toimivan pitkillä etäisyyksillä. Tästä syystä säteilevän kentän ominaisuudet halutaan mitata kaukokentässä. Usein kaukokentän etäisyys on kuitenkin testimittauksia varten epäkäytännöllinen. Tällöin mittaukset voidaan tehdä säteilevän lähikentän alueella ja niistä saaduista tuloksista laskea kaukokentän säteilyominaisuudet. (2, s. 23; 3, s. 168–169, 181.)

3 Antennien ominaisuudet

Isotrooppisessa väliaineessa antennien ominaisuudet ovat samat lähetyksessä ja vastaanotossa eli ne ovat resiprookkisia. Antenneilla on kuitenkin eri tarkoitukset vastaanotossa ja lähetyksessä, joten ei ole käytännöllistä laatia niitä samanlaisiksi. Antenneihin liitettävät komponentit voivat tehdä laitteistoista epäresiprookkisia.

Antennien suunnitteluun liittyvät muuttujat voidaan karkeasti jakaa kolmeen alueeseen. Ensimmäisenä ovat säteilyominaisuuksia kuvaavat muuttujat. Toisena ovat piiriominaisuuksiin liittyvät muuttujat. Kolmantena ovat muut muuttujat. Muihin muuttujiin kuuluu esimerkiksi koko, paino, muoto ja hinta.

Säteilyominaisuudet ovat usein merkittävien suunnitteluperuste. Säteilyominaisuuksia ovat keilanleveys, suuntaavuus, polarisaatio sekä vastaanottokäytössä sieppauspinta ja efektiivinen pituus.

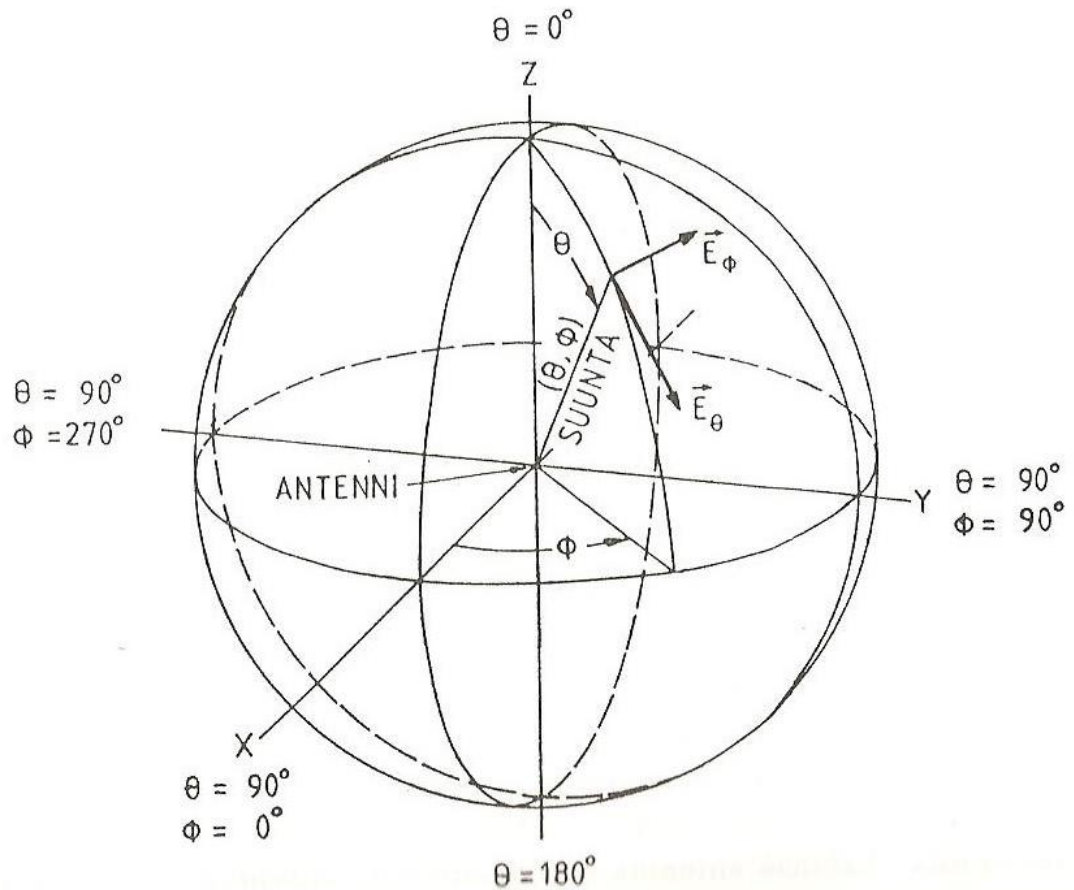
Joskus piiriominaisuudet voivat olla myös merkittävien suunnitteluperuste. Piiriominaisuuden kannalta antenni toimii syöttönavoista katsottuna impedanssina, joka riippuu vahvasti taajuudesta. Impedanssin tulee olla sopiva, jotta antenna voidaan käyttää tehokkaasti, ja että impedanssin imaginäärinen osa voidaan sovittaa pois. Impedanssi, säteilyteho, säteilyvastus, häviövastus, hyötysuhde, Q-arvot ja kaistanleveys ovat piiriominaisuuksia. (1, s. 156; 2, s. 30–31, 53.)

3.1 Antennien yleiset ominaisuudet

Antennien yhteydessä on tärkeää määritellä koordinaatisto, kuten kuvassa 3 määritellään. Tämä auttaa selkeyttämään antenniominaisuuksien määrittelemistä.

Säteilykuvio kertoo kulman (θ, ϕ) funktiona antennin säteilemän sähkömagneettisen kentän ominaisuutta. Usein sillä tarkoitetaan suuntakuviota. Se kertoo antennin säteilemän tehotiheyden $P(\theta, \phi)$ tai kentänvoimakkuuden $E(\theta, \phi)$ kulmariippuvuuden.

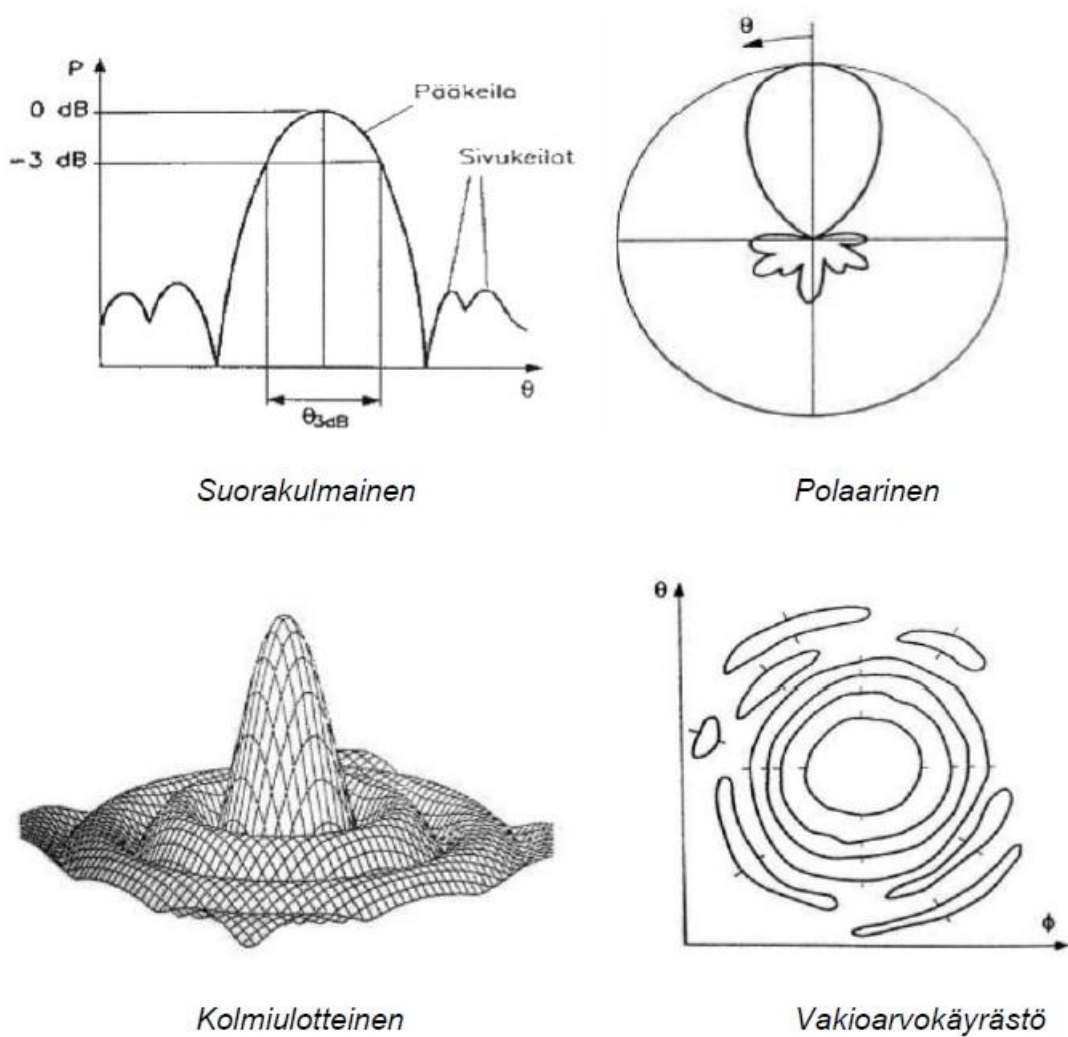
Tavallisesti käytetään normalisoitua suuntakuviota $P_n(\theta, \phi)$ tai $E_n(\theta, \phi)$. Tällöin tehotiheyden tai kentänvoimakkuuden maksimi kirjataan ykkösenä.



Kuva 3. Antennin yhteydessä käytetty pallokoordinaatisto (1, s. 158).

Monet antennit on suunniteltu säteilemään mahdollisimman voimakkaasti vain yhteen suuntaan. Näissä antenneissa on suuntakuviossa selkeä pääkeila ja heikompia sivukeiloja. Suuntakuviosta voi selvittää muun muassa pääkeilan suunnan, puolen tehon keilanleveyden ja sivukeilojen ja nollakohtien tasot ja sijainnit. Yhteen suuntaan kohdistetun antennin lisäksi on mahdollista, että antenni on ympärisäteilevä tai muotoiltu. Usein suuntakuviota on antennin suunnittelussa tärkein tekijä.

Suuntakuvion esittämistä varten on eri tapoja. Suunnatuille antenneille sopii suorakulmainen esitys. Ympärisäteileville antenneille sopii polaarinen esitys. Täydellisen suuntakuvion voi esittää kolmiulotteisesti tai vakioarvokäyrinä. Kuvassa 4 esitellään nämä neljä esitysmuotoa. Suuntakuvion asteikossa voidaan käyttää kentänvoimakkuutta tai tehotiheyttä. Lisäksi se voidaan esittää lineaarisella tai logaritmisella asteikolla.



Kuva 4. Säteilykuvion esitystapoja (1, s. 159).

Antennin suuntaavuus D on maksimitehotiheyden suhde keskimääräiseen tehotiheyteen. Se saadaan laskettua kaavalla 2, jossa $d\Omega$ on avaruuskulman alkio.

$$D = \frac{4\pi}{\iint_{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega} \quad (2)$$

Antennin vahvistus G on antennin pääkeilan suuntaan säteilemän tehotiheyden suhde siihen tehotiheyteen, joka kytkeytyy antenniin. Käytännössä vahvistus on aina suuntaavuutta pienempi, sillä aina on jotain pieniä tehohäviöitä, joista kertyy säteilyhyötysuhde η_r . Jos D ja G kerrotaan $P_n(\theta, \phi)$:llä, saadaan suuntaavuus ja vahvistus suunnan funktiona $D(\theta, \phi)$ ja $G(\theta, \phi)$.

$$G = \eta_r \times D \quad (3)$$

Efektiiivinen pinta-ala eli sieppauspinta A_{eff} on kannattavaa määritellä vastaanottoantenneille. Lisäksi, jos antennilla on selvä apertuuri, voidaan määritellä apertuurihyötysuhde η_{ap} jakamalla sieppauspinta apertuurin fysikaalisella pinta-alalla A_{phys} .

$$A_{\text{eff}}(\theta, \phi) = \frac{\lambda^2}{4\pi} G(\theta, \phi) \quad (4)$$

$$\eta_{\text{ap}} = \frac{A_{\text{eff}}}{A_{\text{phys}}} \quad (5)$$

Polarisaatio on suuntakulman (θ, ϕ) funktio. Sillä kuvataan antennin säteilemän sähkökentän vektorin suunnan käyttäytymistä. Tavallisesti antennit suunnitellaan toimimaan tietylle polarisaatiolle ja tätä kutsutaan pääpolarisaatioksi. Jos tämä polarisaatio on ortogonaalinen, kyseessä on ristipolarisaatio. Esimerkiksi vertikaalisesti lineaarisen polarisaation ristipolarisaatio on horisontaalisesti lineaarinen polarisaatio. Ympyräpolarisaation ristipolarisaatio on vastakkainen ympyräpolarisaatio.

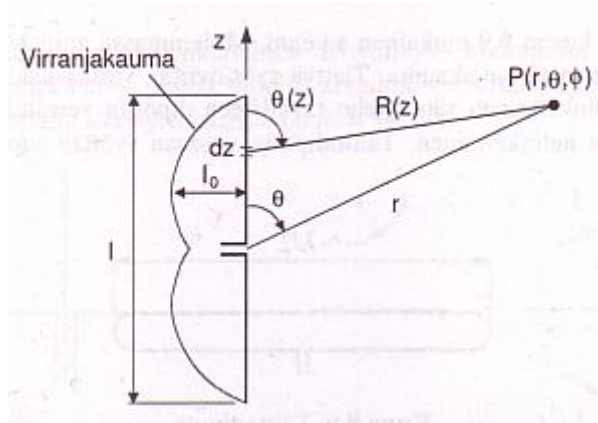
Mitä tarkemmin tulevan aallon polaarisuus sovituu vastaanottoantennin pääpolarisaatioon, sitä vähemmän syntyy epäsovitusta. Tätä kuvataan polarisaatiohyötysuhteella η_p . Ideaalisella antennilla ei ole ristipolarisaatiota, mutta käytännössä sitä on aina ja ristipolarisaation määrä riippuu antennin suunnasta. Tavallisesti se on pienimillään pääkeilan suunnassa. (1, s. 157–160.)

3.2 Lanka-antennit

Metallilangoista tehdyt antennit ovat kaikkein yleisimpiä antenneja yksinkertaisuutensa vuoksi. Pienillä taajuuksilla ainoa mahdollisuus tehdä aallonpituuden luokkaa oleva antenni kohtuullisilla kustannuksilla on lanka-antenni. Niinpä lanka-antenneja käytetään paljon alle 1 GHz:n taajuuksilla. (1, s. 164; 2, s. 191.)

3.2.1 Dipoliantenni

Lanka-antenneista yleisin on dipoliantenni. Siinä suora johdin, jonka yhtenäinen langan pituus on l , on katkaistu. Yleensä lanka on katkaistu keskeltä kuvan 5 mukaisesti. Dipoliantenni koostuu peräkkäin sarjaan kytketyistä virtaelementeistä.



Kuva 5. Dipoliantenni (1, s. 165).

Kaukokentän alueella sähkömagneettinen kenttä saadaan laskemalla yhteen elementtien aiheuttamat kentät kaavalla 5,

$$E_{\theta} = \frac{j\omega\mu}{4\pi} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{I(z)e^{-jkR(z)}}{R(z)} \sin \theta(z) dz \quad (5)$$

jossa ω on kulmataajuus ja μ on väliaineen permeabiliteetti.

Tästä yhtälöstä voidaan olettaa, että virranjakauma $I(z)$ on sinimuotoinen ja antennin päissä virta on nolla. Näin saadaan, virran maksimiarvon ollessa I_0 , virranjakaumaksi kaava 6.

$$I(z) = \begin{cases} I_0 \sin \left[k \left(\frac{l}{2} - z \right) \right], & \text{kun } z > 0 \\ I_0 \sin \left[k \left(\frac{l}{2} + z \right) \right], & \text{kun } z < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Kaukokentässä $\theta(z) \approx \theta$ ja $1/R(z) \approx 1/r$, joten nämä vakiot voidaan siirtää integraalin ulkopuolelle. Lisäksi vaihetermissä $e^{-jkR(z)}$ olevalle $R(z)$:lle melkeistään pätee kaava 7.

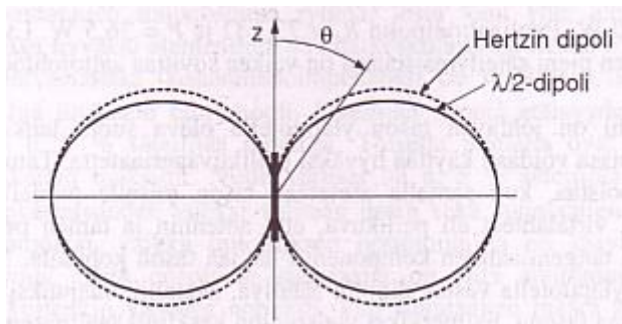
$$R(z) = \sqrt{r^2 + z^2 - 2rz \cos \theta} \approx r - z \cos \theta \quad (7)$$

Näin lopulta saamme kaavasta 5 ratkaistuksi dipolin säteilemän kentän kaavaksi kaavan 8.

$$E_{\theta} = \frac{j\eta I_0}{2\pi r} e^{-jkr} \frac{\cos\left(\frac{1}{2}kl \cos\theta\right) - \cos\left(\frac{1}{2}kl\right)}{\sin\theta} \quad (8)$$

Tärkein dipoliantenni on puolen aallon pituinen dipoli. Tällöin pituus on puoliaalto, jolloin kaavasta 8 tulee kaava 9. Puoliaaltodipolin puolentehon keilanleveys θ_{3dB} on 78° ja suuntaavuus D on 1,64 (2,15 dB). Lisäksi sen suuntakuvio on melkein hertsin dipoliantennin tapainen (Kuva 6). Jos dipoli voisi olla häviötön, niin vahvistus G olisi yhtä suuri kuin suuntaavuus D.

$$E_{\theta} = \frac{j\eta I_0}{2\pi r} e^{-jkr} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \quad (9)$$

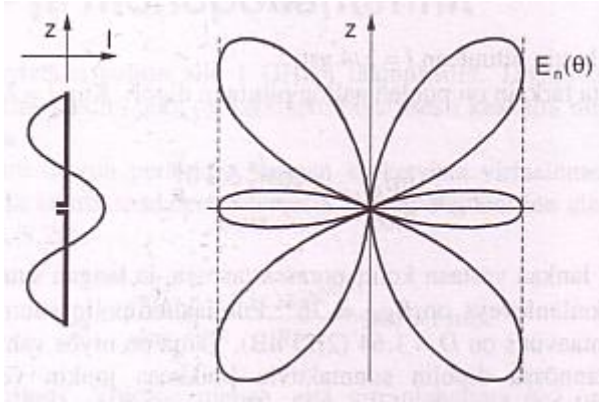


Kuva 6. Puoliaaltodipoliantennin ja hertsin dipoliantennin suuntakuvio (1, s. 165).

Lyhyen dipolin, jonka $l \leq \lambda/4$, säteilyresistanssi R_r saadaan kaavasta 10. Puoliaaltodipolille tämä on $73,1\Omega$, ja sitä hiukan lyhentämällä saadaan impedanssi reaaliseksi. On kuitenkin muitakin mahdollisuuksia, millä voidaan saada dipolin reaktanssi pois. Esimerkiksi yksi menetelmä on siirtää dipolin syöttökohta muualle kuin keskipisteeseen.

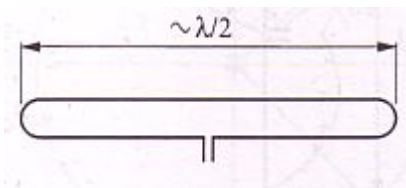
$$R_r = 20\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \Omega \quad (10)$$

Dipolin syöttökohta vaikuttaa impedanssin lisäksi myös suuntakuvioon dipolin pituuden kanssa. Keiloja on enemmän ja voimakkain keila on lähempänä z-akselia, mitä pidempi dipolin lanka on (Kuva 7 ks. seur. s.).



Kuva 7. $3/2\lambda$:n pituisen dipoliantennin virranjakauma ja suuntakuvio (1, s. 166).

Taittodipoli kuvassa 8 on eräänlainen dipoliantennisovellus. Käytännössä se on lenkiksi taitettu kokoaallonpituisen lanka-antenni. Näin kuitenkin on saatu kaksi puolenaallonpituisia johdinta, joissa on samanlainen virranjakauma. Taittodipolin säteilemä kentänvoimakkuus on kaksinkertainen, eli säteilyteho on nelinkertainen, tavalliseen dipoliin nähden. Siten myös taittodipolin säteilyresistanssi on nelinkertainen ja siihen voidaan syöttää suoraan $300\ \Omega$:n parijohto. 1, s.166 (1, s. 164–166; 2, s. 206.)

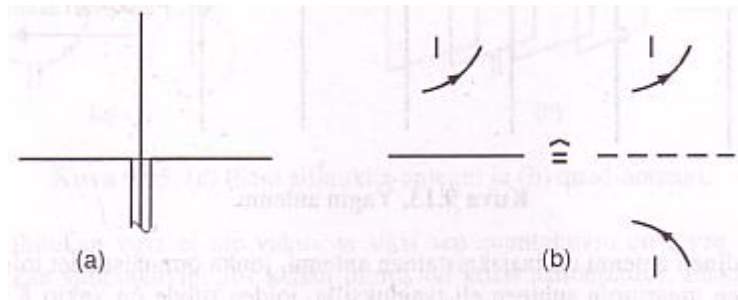


Kuva 8. Taittodipoli (1, s. 166).

3.2.2 Monopoliantenni

Monopoliantenni on lanka-antenni, jota käytetään usein pitkä- tai keskipitkäaaltoalueella lähetys- tai vastaanotto antennina. Siinä lanka on vertikaalisesti suora jonkin johtavan tason yläpuolella kuten kuvassa 9 (a) (ks. seur. s.). Pitkä- tai keskipitkäaaltoalueella maanpinta on melkein täydellinen johde, kentän horisontaalikomponentti on pieni, ja kenttä maan lähellä on lähes vertikaalinen. Monopoliantenni joudutaan tukemaan langan pituuden aiheuttaessa epästabiilisuutta.

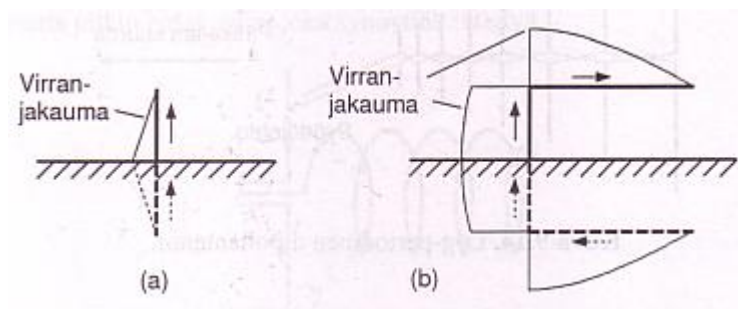
Monopoli antennin analysoinnissa voidaan käyttää hyväksi peilikuvaperiaatetta. Kuvassa 9 (b) on esimerkki peilikuvaperiaatteesta. Sen mukaan asettamalla johtavan tason toiselle puolelle peilikuva antennin kentästä, voidaan tangenciaalinen komponentti hävittää johtavan tason kohdalta ja johtava taso poistaa. Tämän vuoksi monopolin säteily johtavan tason yläpuolella on dipolin säteilyn kaltainen.



Kuva 9. (a) monopoli antenni ja (b) peilikuvaperiaate (1, s. 167).

Monopoliin syötetty teho säteilee puoliavaruuteen. Tästä seuraa, että samalla teholla saadaan kaksinkertainen tehoteho dipoliin verrattuna. Toisin sanoen dipolin arvoihin verrattaessa monopolin vahvistus on kaksinkertainen, ja impedanssi on puolet pienempi.

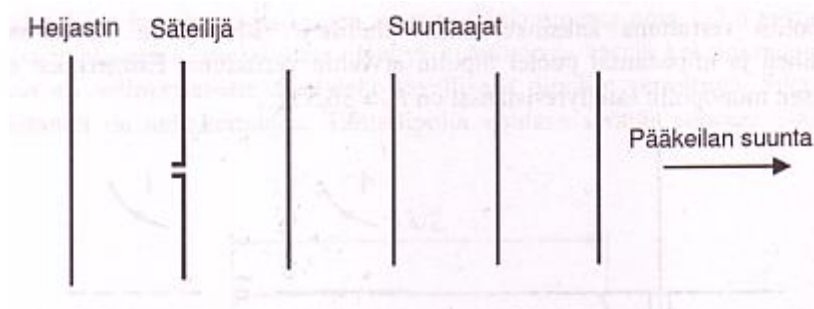
Lyhyen monopoli antennin tehokkuutta voidaan parantaa jatkamalla antennin huippuun horisontaalinen lanka T:n tai L:n muotoon (kuva 10). Horisontaalinen osuus ei säteile johtavan maatasen läheisyyden takia. Lisälangan ainoa tarkoitus on saada lisää virtaa vertikaaliseen osaan. (1, s. 166–167; 2, s. 191–192.)



Kuva 10. lyhyt monopoli ja huippuun on lisätty horisontaalinen lanka (1, s. 167).

3.2.3 Yagi-antenni

Dipoli- ja monopoli-antennin vahvuutena on niiden ympärisäteilyvyys. Jos kuitenkin halutaan suuntaavuutta helposti, on mahdollista käyttää Yagi-antennia. Yagi-antenni koostuu säteilijästä, johon syötetään signaali, heijastimesta ja suuntaajista. Näiden elementtien keskinäisvaikutuksesta saadaan halutut ominaisuudet. Jotta säteilijä olisi resonanssissa, tulee sen pituuden olla $0,45-0,48 \lambda$. Säteilijän takana etäisyydellä $0,15-0,30 \lambda$ on heijastin, joka on n. 5 % säteilijää pidempi. Säteilijän etupuolella on suuntaajat, jotka suuntaavat pääkeilan maksimin suuntaan. Suuntaajien pituus on n. 5 % säteilijää lyhyempi ja välit $0,15-0,30 \lambda$ (kuva 11). Optimoimalla nämä välit, voidaan saada parempi suuntaavuus. Vaivan säästämiseksi suuntaajien pituus ja etäisyys ovat kuitenkin usein samat. Suuntaavuutta voidaan myös parantaa lisäämällä suuntaajien määrää, mutta tämä hyöty pienenee nopeasti suuntaajien lisääntyessä. Tavallisesti suuntaajia on 3–12. Yagi-antennin heikkopuoli on sen kapea kaistanleveys, mutta sen yksinkertaisuus on tehnyt siitä yleisen. (1, s. 214; 2, s. 167.)



Kuva 11. Yagi-antenni (1, s. 168).

4 Antennien mittaus

Antennien mittaus on laaja käsite. On monia eri menetelmiä ja paikkoja, millä voidaan mitata erilaisten antennien eri ominaisuuksia. Kaikissa tilanteissa ei kuitenkaan tarvita kaikkien antennin ominaisuuksien tietoja, joten aina mittaus ei ole niin laaja työ. Se mitä suureita mitataan, riippuu siitä, mihin antenna käytetään. Yksinkertaisissa soveluksissa riittää suuntakuvion mittaaminen päätasoissa tai pelkän vahvistuksen mittaus.

Erilaisten antennien ominaisuudet voidaan laskea, mutta se on kohtuullisen vaivalloista. Lisäksi antenneissa saattaa olla suunnittelu- ja valmistusvirheitä. On siis syytä tarkistaa antennien toiminta mittaamalla. Mittaaminen on myös joskus ainoa toteutettavissa oleva tapa saada selville antennien ominaisuudet. Yleensä antennien tarkoitus on toimia pitkillä etäisyyksillä ja siksi halutaan yleensä myös mitata säteilevän kentän ominaisuudet kaukokenttäalueella.

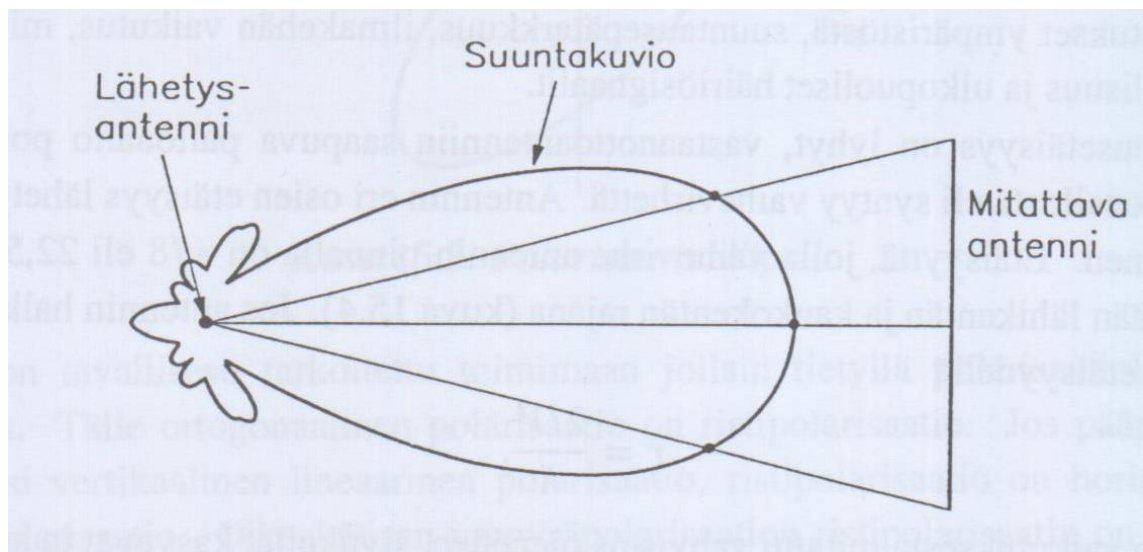
Antennien resiprookkisuuden ansiosta ei tarvitse erikseen mitata antennin samoja ominaisuuksia lähetyksessä ja vastaanotossa. Testauksesta saadut tulokset ovat samat antennille lähetyksessä ja vastaanotossa. (3, s. 169, 172.)

4.1 Antennimittauksien virhelähteitä

Idealisesti antennit olisivat pitkillä etäisyyksillä toisistaan ja esteettömässä tilassa, jolloin vastaanotto antenni saisi vastaanotettua puhtaan taso aallon. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Näin antennimittauksille syntyy virhelähteitä, jotka ovat kentän vaiheen ja amplitudin vaihtelu mitattavan antennin alueella, lähetyksen ja vastaanottoantennin välinen kytkentä, heijastukset ympäristöstä, suuntausepätkarkkuus, ilmakehän vaikutus, mittauslaitteiston epäideaalisuus ja ulkopuoliset häiriösignaalit.

Jos mittausetäisyys on lyhyt, eli vastaanottoantenni ei ole tarpeeksi kaukana ollakseen kaukokentän alueella, syntyy vaihevirhettä. Siitä seuraa, että mitattu vahvistus pienenee, sivukeilat kasvavat ja suuntakuvion minimiit täyttyvät. Kaukokentän rajalla vahvistuksen pieneneminen on n. 0,06 dB. Olisi siis hyvä toteuttaa mittaukset kaukokentässä ($r \geq 2D_a / \lambda$). Tarkoissa mittauksissa voidaan vaatia jopa $r = 50D_a / \lambda$. Liian lyhyen mittausetäisyyden aiheuttaman vaihevirheen vaikutusta voidaan korjata matemaattisesti tarvittaessa.

Mitattavaan anteeniin kytkeytyvä kentänvoimakkuus ei aina ole tasainen (kuva 12) Kentän amplitudin tulisi kuitenkin olla vakio mitattavan antennin alueella ja tätä muutosta kutsutaan amplitudivirheeksi. Amplitudivirhe ei kuitenkaan ole merkittävä, jos antenna pyöritetään mittauksessa. Amplitudivirheen suuruus riippuu mitattavan antennin apertuurin valaisufunktiosta. Mittauksissa sallitaan 0,25 dB:n kentän amplitudin pieneminen antennin reunalla, mikä tyypillisesti pienentää mitattua vahvistusta noin 0,1 dB ja aiheuttaa vähäisiä muutoksia sivukeiloissa. Amplitudivirhettä saadaan pienennettyä käyttämällä leveäkeilasta lähetysantennia, mutta tämä kasvattaa samalla ympäristöstä tulevia virheitä.



Kuva 12. Amplitudivirhe (3, s. 174).

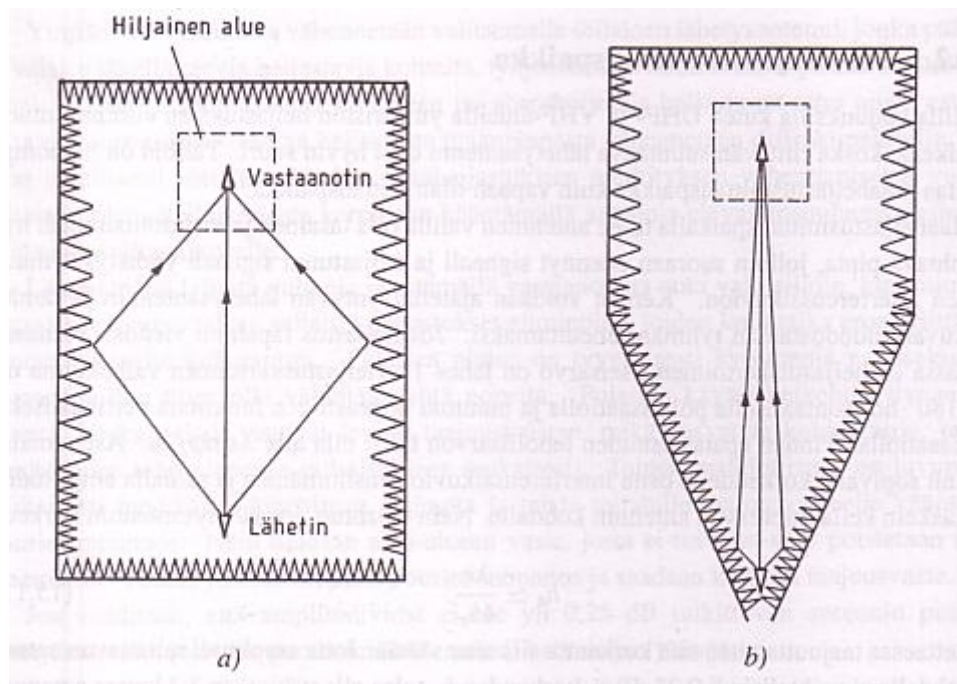
Mittaukseen vaikuttavia virheitä on monia eri tilanteissa, mutta usein merkittävin ja yleisin virhelähde on ympäristön heijastukset. Heijastuksia tulee antenneihin maanpinnasta, mittausympäristön seinämistä ja antennin tukirakenteista. Lisäksi pitkillä matkoilla ilmakehässä tapahtuvat muutokset vaihtelevat lähetyksen vaimennusta ja näin aiheuttavat häiriöitä. (3, s. 173–176.)

4.2 Antennimittauksien mittauspaikkoja

Antennien tarkoituksen monipuolisuuden vuoksi niiden mittaukseen löytyy useita erilaisia paikkoja. Tämän paikan valitsemiseen vaikuttaa eniten taajuus ja antennin koko. Jos tiedetään, että antennin käyttöpaikalla vaikuttaa jokin suuresti vaikuttava tekijä, tulee mittaus suorittaa käyttöpaikalla. (3, s. 175–176.)

4.2.1 Heijastukseton huone

Heijastuksettomassa huoneessa pyritään minimoimaan kaikki ympäristön heijastukset. Tämä toteutetaan ympäröimällä huone tiiviillä metallikerroksella, ja päällystämällä huoneen sisäpinnan seinät aaltoja absorboivalla vaimennusmateriaalilla. Kriittisimmät kohdat ovat suorakaiteisen huoneen seinän keskikohdat (kuva 13). Lopuksi vielä tulisi huoneen sisällä olevien antennien tukirakenteet suojata hyvin. Huoneen pituuden ja leveyden tulisi olla noin 2:1. Huoneen koko määrää mahdollisen kaukokentän etäisyyden, ja näin rajoittaa mitattavan antennin kokoa.



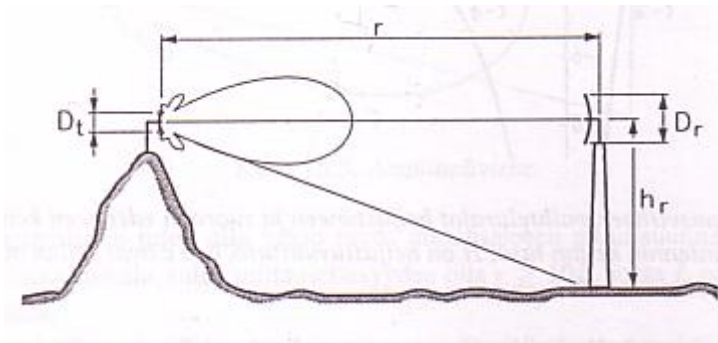
Kuva 13. Heijastukseton suorakaide- (a) ja torvinainen (b) huone (3, s. 178).

Mitattaessa antennit tulisi sijoittaa niin sanotulle hiljaiselle alueelle, jossa heijastukset ovat huoneen alhaisimmat. Useissa mittauksissa lähetysantenni tulee suunnata siten, että pääkeila ei valaise sivuseinämiä. Mittauksen taajuusalueen määrää lähinnä huoneen vaimennusmateriaalin laatu ja paksuus.

Alle gigahertsin taajuuksilla torvimaisen huoneen käyttö on kannattavaa. Sijoittamalla lähetysantenni lähelle torven kurkkua, suoran ja heijastuneen aallon vaihe-ero on pieni ja se muuttuu hitaasti mitta-alueella. Näin saadaan mittauksilla tarkemmat antenni-ominaisuudet selville. (3, s. 178–179.)

4.2.2 Vapaan tilan mittauspaikka

Luonnollisesti vapaan tilan mittauspaikka voi muodostua vuorten huipuille tai korkeisiin torneihin sijoitettujen antennien välille (kuva 14). Yleisesti tällaista mittauspaikkaa käytettäessä, se suunnitellaan tasaiselle maalle ja maan päälle laitetaan metalliverkkoja diffraktioaidoiksi. Maaheijastuksen merkitystä voidaan myös vähentää mittaamalla säteilykuvioista puolet kerrallaan kääntämällä antenni taivasta kohti.

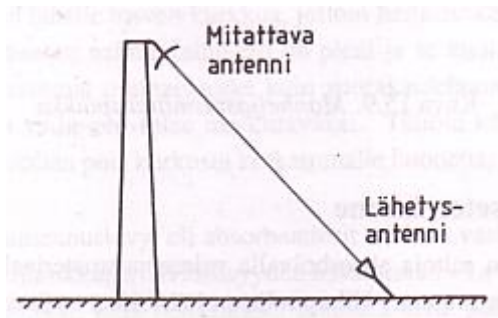


Kuva 14. Vapaan tilan mittauspaikka (3, s. 176).

Ympäristön aiheuttamien häiriöiden vähentämisen vuoksi, tulisi käyttää lähetysantennia, jonka pääkeila ei valaise lähellä olevia heijastavia kohteita. Tätä voidaan tukea poistamalla tai absorboimalla kohteet, jotka jäävät valaisu alueelle. Lisäksi suositellaan että lähetysantennin suuntakuvion ensimmäinen nollakohta osuisi vastaanottotornin juurelle.

Muita heijastuksia voidaan eliminoida lähettämällä lyhyitä pulsseja ja pitämällä vastaanotin auki signaalin saapuessa. Tällä tavalla saadaan eliminoitua heijastuneet signaalit, joiden matka-aika on pidempi. Pulssien käyttö vaatii leveän taajuuskaistan ja pienentää tehoa pulssisuhteen mukaisesti.

Vino antennin mittauspaikka (kuva 15) on vapaan tilan mittauspaikan muunnos. Siinä lähetin antennista lähetetään signaali tornissa olevaan vastaanotinantenniin. Lähetinantenni tulee myös suunnata siten, että suuntakuvion ensimmäinen nollakohta on maanpinnan suuntainen. (3, s. 176–177.)

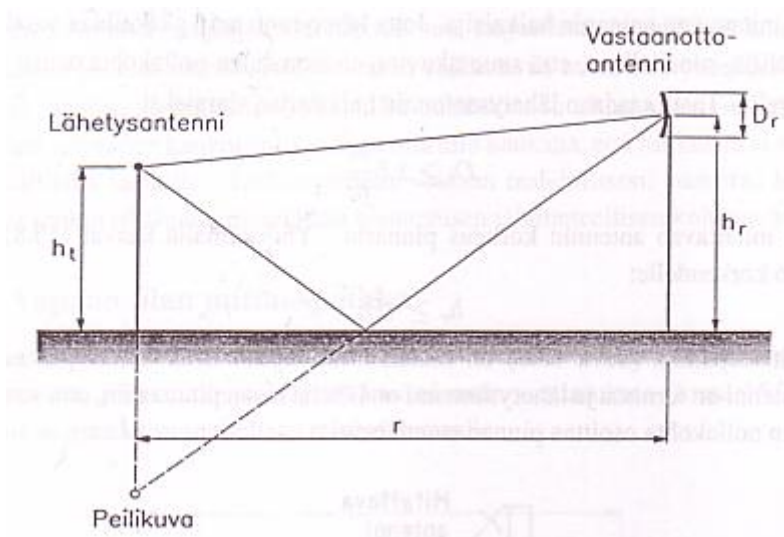


Kuva 15. Vaino antennin mittausspaikka (3, s. 176).

4.2.3 Maaheijastusmittauspaikka

Matalilla taajuuksilla ympäristön heijastuksien eliminoiminen on vaikeaa ja tarpeeksi suuntaavan antennin suuruus olisi järjetön. Tällaisessa tilanteessa on järkevämpää käyttää maaheijastusmittauspaikkaa vapaan tilan mittausspaikan sijasta.

Maaheijastusmittauspaikalla halutaan muodostaa interferenssikuvio suoraan edenneen ja heijastuneen signaalin yhtymästä. Tämä toteutetaan sijoittamalla tasainen ja hyvin johtava pinta antennien välille (kuva 16). Heijastuksen tapahtuessa viistosti pienessä kulmassa φ , heijastuskertoimen itseisarvo on lähes 1. Heijastuskertoimen vaihekulma on noin 180 horisontaalisella polarisaatiolla ja muuttuu nopeasti φ :n funktiona vertikaalisella polarisaatiolla. Pinnan epätasaisuuden tehollisarvon tulisi olla alle $\lambda \sin \varphi / 16$.



Kuva 16. Maaheijastusmittauspaikka (3, s. 178).

$$h_t \cong \frac{\lambda_r}{4h_r} \quad (11)$$

h_t on lähetinantennin korkeus

h_r on vastaanottoantennin korkeus

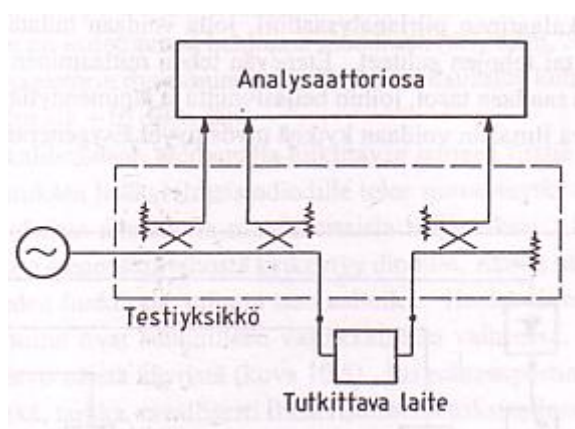
λ_r on vastaanottoantennin aallonpituus

Interferenssikuvion ensimmäinen ja samalla amplitudiltaan laakein keila saadaan mitattavan antennin kohdalle, asettamalla antennit sopivalle korkeudelle kaavan 11 kertomalla tavalla. Taajuuden muuttuessa tulee siis aina korkeus säätää uudestaan. Lisäksi vastaanottoantennin h_r tulee olla vähintään 3,3 kertaa antennin halkaisijan suuruinen. On kuitenkin suositeltavaa, että ero on ainakin nelinkertainen. (3, s. 177.)

5 Mittauslaitteisto ja ohjelmisto

5.1 Piirianalysointilaite

Piirianalysointilaite on mittalaite, jolla mitataan passiivisten ja aktiivisten, lineaaristen mikro- ja millimetriaaltopiirien ominaisuuksia taajuuden funktiona. Riippuen siitä, mitataan vain signaalien amplitudien suhteita vai myös vaihe-eroja, piirianalysointilaitteita jaetaan skalaari- ja vektoripiirianalysointilaitteisiin. Vektoripiirianalysointilaitteella voidaan mitata myös vaihe-eroja, ja siinä on laaja dynamiikka, mutta sen tuottaminen on kalliimpaa.



Kuva 17. Yksinkertaistettu piirianalysointilaite (3, s. 101).

Yleensä piirianalysointilaitteissa on testiyksikkö, jossa otetaan näytteet etenevän piirin heijastuksesta ja sen läpi menneestä tehosta. Lisäksi on signaalin käsittelyä varten vastaanotin- tai analysointiosia. Kuvassa 17 on esitetty yksinkertaistettu esimerkki. Skalaaripiirianalysointilaitteissa signaalit yleensä ilmaistaan diodeilla ja tulokseksi saadaan tutkittavan piirin heijastuskertoimen itseisarvo ja vahvistus. Vektoripiirianalysointilaitteissa saadaan lisäksi piirin impedanssi ja sirontaparametrit sekoittamalla signaalit matalalle taajuudelle, jolla myös signaalien vaihe-ero mitataan. Vektoripiirianalysointilaitteen mittaukset voidaan toteuttaa myös skalaaripiirianalysointilaitteella. Sitä kuitenkin hankaloittaa kalibroinnin ja tulosten laskennan monimutkaisuus.

Työssä käytettiin kuvassa 18 olevaa Agilent 8714ET RF Network Analyseria. Piirianalysointilaitteissa on sisäänrakennettu mittauslaitteisto. Kaksi itsenäistä kanavaa voivat mitata ja esittää samanaikaisesti kahden eri laitteen parametreja eri formaateissa, esimerkiksi signaalin lähetystä ja heijastuksen vastaanottoa.



Kuva 18. Työssä käytetty Agilent 8714ET RF Network Analyzer.

Hewlett-Packard Company (yleisesti tunnettu lyhenteellä HP) on maailmanlaajuinen teknologiayhtiö. Yhtiö perustettiin Amerikassa vuonna 1939 Kaliforniassa Palo Altossa. Yhtiö keskittyy tuotteiltaan tietotekniikan, tulostuksen ja kuvankäsittelyn aloille. Sillä oli vuonna 2012 noin 331 800 työntekijää maailmanlaajuisesti. HP oli vuonna 2012 Fortune-talouselhdessä liikevaihdoltaan sijalla 10 Yhdysvaltojen 500 suurimman pörssiyrityksen listalla. Vuonna 1999 Hewlett-Packardista eriytyi Agilent Technologies. Se tuottaa ja kehittää elektrisiä ja bio-analyttisiä mittalaitteita ja välineitä mittauksia ja arviointeja varten. Agilent Technologies on alallaan maailman suurin. (3, 101-102; 4; 5; 6; 7; 8.)

5.2 Brüel & Kjær Turntable System Type 9640 -pyörityskone

Kuvassa 19 on projektissa käytetty Brüel & Kjær Turntable System Type 9640 pyörityskone. Laite on kaksiosainen. Isompi osa on koneisto, joka pyörittää z-tasossa olevaa telinettä halutun asteen määrän. pienempi osa on kontrolli laite, jolla kontrolloidaan koneistoa. Tämän työn lopullisella ohjelmalla lähetettiin komennot kontrollilaitteelle, joka taas lähetti omalla tavallaan samat ohjeet koneistolle.



Kuva 19. Brüel & Kjær Turntable System Type 9640 -pyörityskone (10).

Brüel & Kjær on vuonna 1942 perustettu monikansallinen insinööriyön ja elektroniikan yhtiö. Sen pääkonttori sijaitsee Kööpenhaminassa Tanskassa. Yhtiö työllistää 7 500 ihmistä maailmanlaajuisesti ja on maailman suurin äänen ja värähtelyn mittaukseen käytettyjen laitteiden, järjestelmien ja sovellusten valmistaja. (9.)

5.3 LabVIEW ohjelmointisovellus ja NI GPIB-USB-HS -kontrolleri

LabVIEW on National Instrumentsin kehittämä graafiseen G-kieleen perustuva ohjelmointiympäristö. Se julkaistiin 1986 ensimmäistä kertaa Applen Macintoshille, ja aluksi LabVIEW kehitettiin kommunikoimaan laboratoriolaitteiden kanssa. Nykyään sitä käytetään yleisesti mittaus- ja testaussovelluksissa, mutta soveltuu helppokäyttöisyytensä puolesta myös yleisohjelmointikieleksi. LabVIEW ohjelmat ovat suoraan siirrettäviä eri käyttöjärjestelmien välillä.

Projektissa käytettiin National Instrumentsin valmistamaa NI GPIB-USB-HS-kontrolleria (kuva 20) Tämä muuttaa tietokoneen USB-liitännän yhteensopivaksi piirianalysaattorin ja pyörityskoneen GPIB-liitäntöihin. NI GPIB-USB-HS-kontrolleri on niin sanottu "Plug & Play" -laite, joka itse asentaa kytkettäessä tarvittavat ajurit laitteen käyttämiseen tietokoneella. Päälle kytkettynä laite pystyy luomaan kommunikointiyhteyden LabVIEW'n ja Windowsin kanssa.

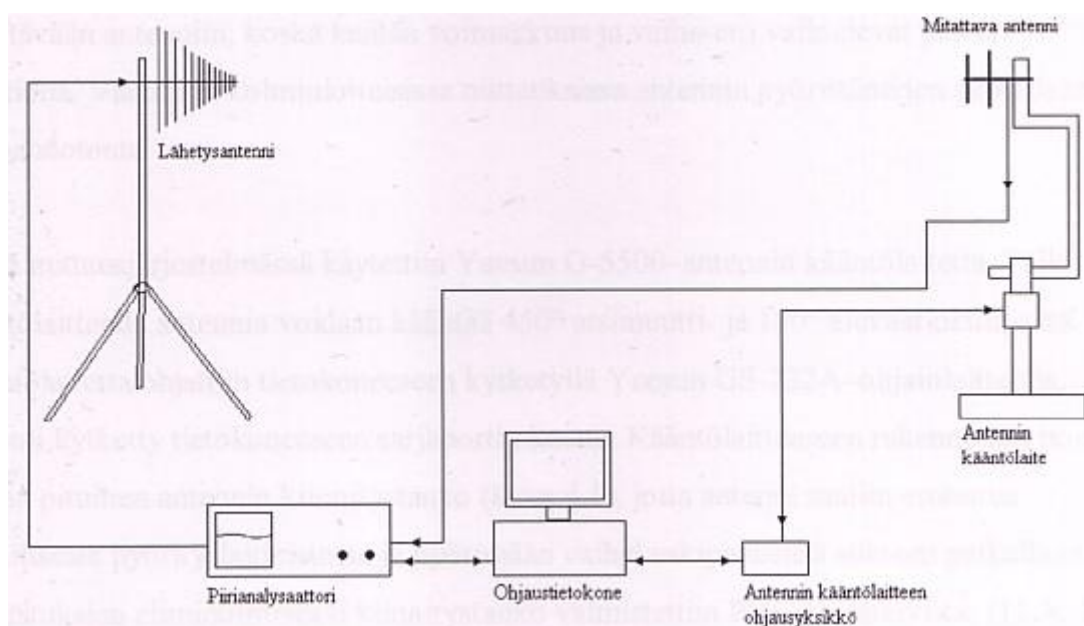


Kuva 20. Projektissa käytetty NI GPIB-USB-HS -kondrolleri (15.).

National Instruments Corporation (tunnetaan myös lyhenteellä NI) on kansainvälinen yhtiö, joka erikoistuu virtuaalisiin instrumentteihin ja automaatiotestilaitteistoihin. Yhtiö perustettiin vuonna 1976. Nykyään sen pääkonttori on Austin, Texasissa, ja työntekijöitä heillä oli 6 869 vuoden 2012 lopulla. (11; 12; 13; 14.)

6 Mittausjärjestelmän ohjelmiston suunnittelu ja testaus

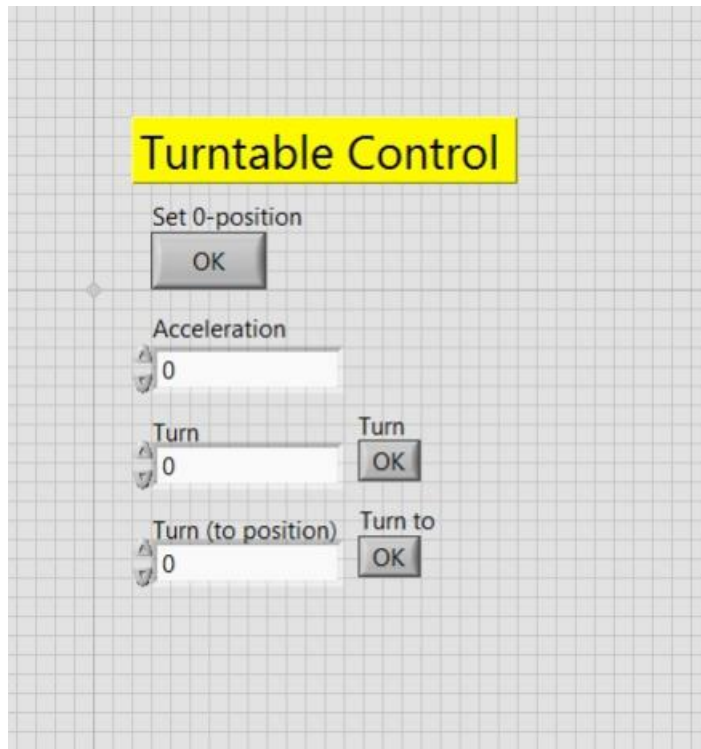
Työssä oli tarkoitus toteuttaa ohjelma kannettavalle tietokoneelle, jolla voitaisiin kontrolloida piirianalysointia ja antennin kääntölaitteistoja. Kaikista ohjelmista tehtiin englanninkielisiä. Ensimmäinen asia, josta tuli päättää, oli millä tavalla kytkettäisiin laitteet toisiinsa kuvan 21 mukaisesti. Kannettavassa ei ole muuta kuin USB-portti, ja piirianalysointilaiteissa ei ole USB-porttia. Päädyttiin käyttämään aikaisemmin mainittua NI GPIB-USB-HS -kontrolleria.



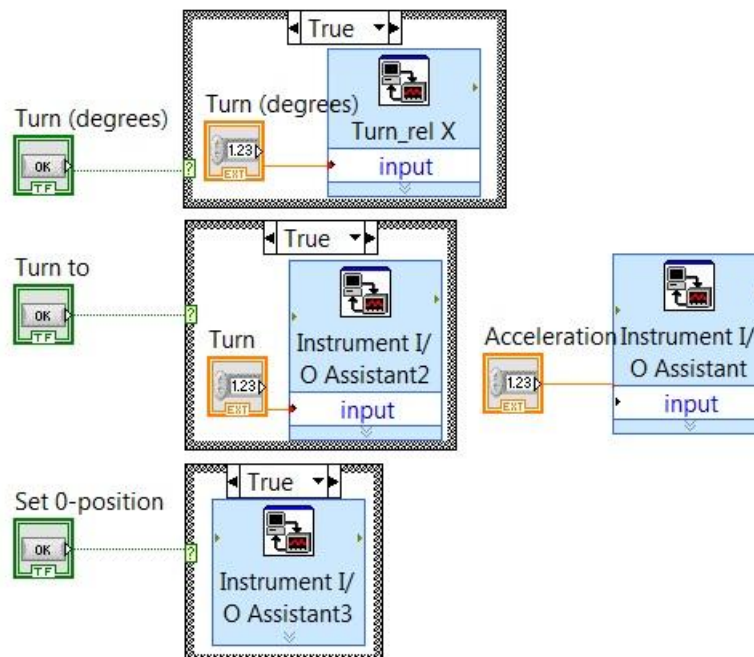
Kuva 21. Lohkokaavio antennimittausjärjestelmästä (16).

6.1 Ohjelmiston suunnittelu

Kun laitteet saatiin kommunikoimaan tietokoneen kanssa, alettiin etsiä ajureita piirianalysointilaiteille ja kääntölaitteistolle. Piirianalysointilaiteille löydettiin Agilentin ajurit, mutta kääntölaitteistolle jouduttiin tekemään omat ajurit. Kääntölaitteistolla ei kuitenkaan ole kuin kymmenisen komentoa, joten sen ajureiden koodaaminen on kohtuullisen helppoa. Ajurit luotiin LabVIEW'n Instrument I/O Assistant-sovellusta käyttämällä. Kun ajurit oli luotu, ohjelmoitiin kääntölaitteistolle ohjelma, joka tekee kaikki haluttavat toiminnot. Lisäksi ohjelman avulla pystyttiin testaamaan ajurien toimivuus. Kuvassa 22 esitellään ohjelman käyttöympäristö, kuvassa 23 esitellään ohjelman koodi, ja liitteessä 1 on ohjeet ohjelman käyttöön.



Kuva 22. Kääntölaitteiston kontrolliohjelman käyttöympäristö.

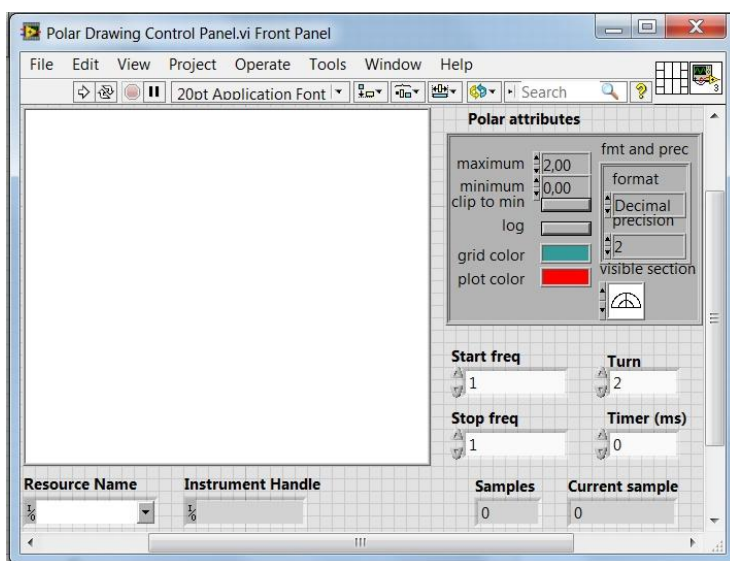


Kuva 23. Kääntölaitteiston kontrolliohjelman koodi.

Seuraavaksi tehtiin ohjelma piirianalysointia varten. Tässä käytettiin aluksi apuna netistä löytyvää esimerkkiä (13, s. 33–35). Työn ja esimerkin ajureiden välillä on kuitenkin eroja. Niiden nimet saattavat olla samat, mutta ominaisuudet eroavat toisistaan. Tämän jälkeen käytiin ajuripaketin ohjeista läpi kaikkien ajureiden käyttöohjeet. Tämä vei aikaa, sillä ajureita on paljon. Tällä tavalla saatiin selvä käsitys siitä, mitä kaikkea näillä ajureilla pystyy tekemään ja mitä ei pysty. Työn ajureilla ei esimerkiksi pysty saamaan mittaustulosta suoraan tietokoneelle.

Piirianalysointin ajureita läpikäytessä samalla testattiin käytännössä, miten eri ajurit toimivat. Valittiin hyödylliset ajurit erilleen ja näistä luotiin piirianalysointin kontrollointi ohjelma. Liitteessä 2 esitellään ohjelman käyttöympäristö, liitteessä 3 esitellään ohjelman koodista esimerkki ja liitteessä 1 on ohjeet ohjelman käyttöön.

Ajureihin tutustumisen jälkeen, hahmotettiin mahdollisuuksia halutun ohjelman tekoon. LabVIEW-ohjelmasta löytyy useita erilaisia mittadatan piirtoratkaisuja. Työtä jatkettiin tutustumalla näiden ratkaisujen malliohjelmiin. Löydettiin tarkoitukseen sopiva *polar draw*-niminen aliohjelma, jota käyttämällä pystytään piirtämään suuntakuvio. Käyttämällä hyväksi tätä aliohjelmaa, piirianalysointin ajureita ja kääntölaitteiston itse luotuja ajureita, luotiin ohjelma, joka mittaa ja piirtää antennin suuntakuvion. Kuvassa 24 esitellään ohjelman käyttöympäristö, Liitteessä 4 esitellään ohjelman ohjelmointi ja liitteessä 1 on ohjeet ohjelman käyttöön.

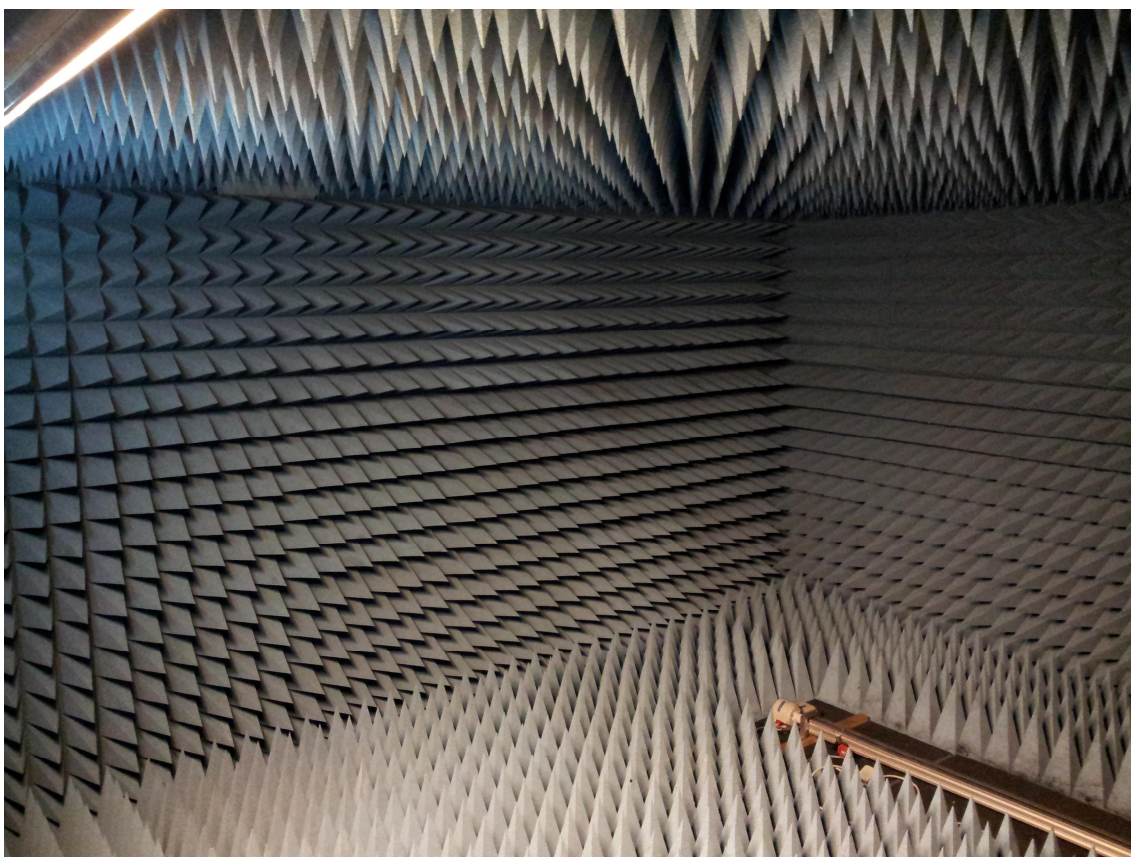


Kuva 24. Suuntakuvion piirto-ohjelman käyttöympäristö.

Lopuksi haluttiin liittää nämä kolme yhdeksi yhtenäiseksi *virtual instrumentiksi*, mutta LabVIEW'n muistikapasiteetti ei riittänyt niin monen sovelluksen samanaikaiseen suoritukseen. Sen sijaan muokattiin ohjelmat siistinnäköisiksi ja sen verran pieniksi, että ne voidaan samanaikaisesti pitää auki kannettavalla tietokoneella, kuten Liitteessä 5 esittäään.

6.2 Ohjelmiston testaus ja testiympäristö

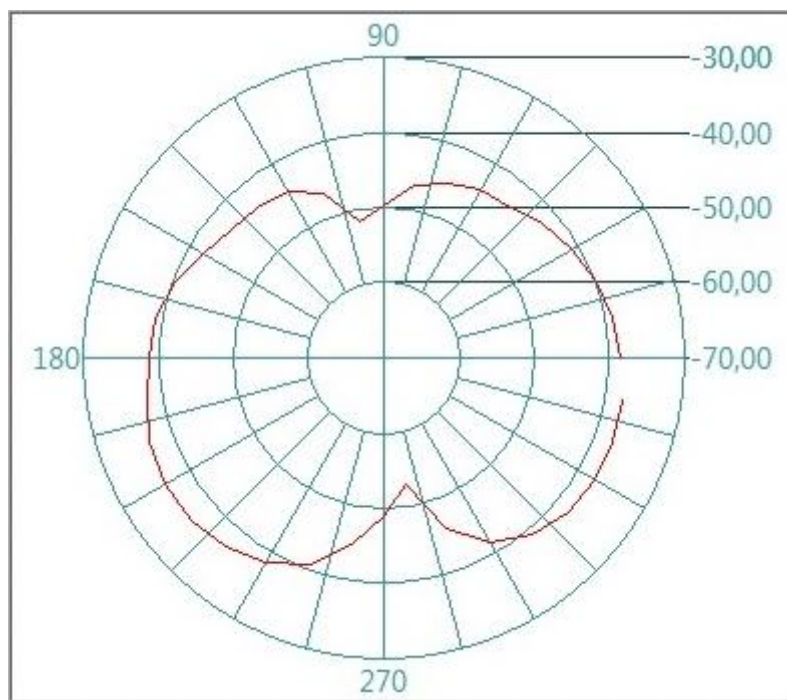
Testauksessa käytettiin kahta Metropolian Ammattikorkeakoulun tarjoamaa horisontaalisesti samaan tasoon asetettua melko samanlaista lanka-antennia. Antennien suunta-kuviot tunnetaan ja tällä tiedolla voidaan päätellä, toimiiko ohjelma, ja miten hyvin se toimii. Ohjelmistojen testauksessa käytettiin koulun laboratorioluokkatilaa, jossa antennien välimatka oli noin metri, ja heijastuksetonta huonetta (kuva 25), jossa antennien välimatka oli noin 4 metriä.



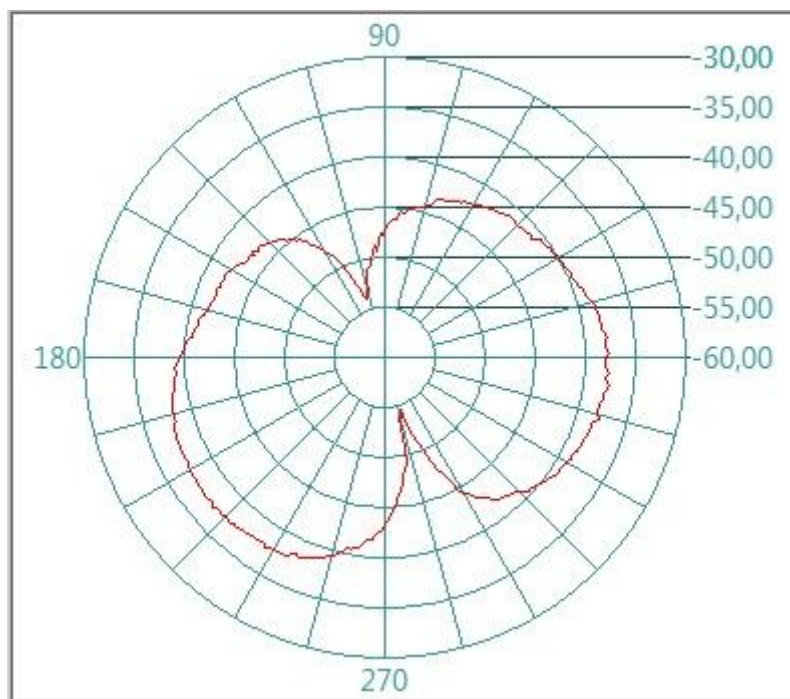
Kuva 25. Heijastukseton huone Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa

Kääntölaitteiston kontrolliohjelma testattiin laboratorioluokassa. Siitä käytiin ohjelman jokainen toiminta läpi ja tarkistettiin, että kääntökoneisto toimi halutulla tavalla. Piirianalysaattorin kontrollointiohjelman testaus suoritettiin myös laboratorioluokassa. Antennit kytkettiin kiinni ensimmäistä kertaa tässä työssä, ja ohjelmasta lähetettiin erilaisia komentoja piirianalysaattorille. Kun nämä kaksi ohjelmaa toimivat, aloitettiin säteilykuvion mittausohjelman työstäminen.

Säteilykuvion mittausohjelma testattiin aluksi heijastuksettomassa huoneessa. Laboratorioluokkatilan ja heijastuksettoman huoneen häiriöerot eivät olleet merkittävät ohjelmiston testaamiseen. Laitteisto toimi halutussa mittausympäristössä hyvin, joten siirryttiin luokkatiloihin mukavuuden vuoksi. Säteilykuvion mittausohjelmassa oli vielä muutamia merkittäviä ongelmia, jotka korjattiin laboratorioluokassa. Korjauksien jälkeen kirjoitettiin käyttöohjeet ohjelmille. Kuvassa 26 esitettävä mittaus on tehty suuremmalla välillä ja heijastuksettomassa huoneessa. Lisäksi siinä on koodivirheen aiheuttama kolo. Kuvassa 27 on pienemmällä välillä tehty mittaus luokkahuoneessa.



Kuva 26. Bugillinen mittaustulos heijastuksettomasta huoneesta isommalla kääntöväliällä.



Kuva 27. Mittaustulos luokkatilassa pienemmällä kääntöväliillä (bugi korjattu).

Koemittauksien perusteella mittausjärjestelmä toimii halutuvin vaatimuksin. Ohjelmat toimivat ja ohjeita käyttämällä, vapaaehtoinen opiskelija oppi käyttämään ohjelmia. Pieniä virheitä ohjelman koodissa vielä ilmestyi, mutta ei mitään sellaista, mikä aiheuttaisi suuria ongelmia.

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä oli tavoitteena luoda mittausjärjestelmä, jota voidaan ohjata tietokoneen ohjelmalla, heijastuksettomaan huoneeseen. Työssä luotiin ohjelmat jokaisen laitteen kontrollointiin ja näitä hyväksikäyttäen luotiin oma ohjelma antennin suuntakuvion mittaamiseen. Suuntakuvion mittaamisen ohjelmasta tuli nopea, yksinkertainen ja helppokäyttöinen erilaisten antennien mittaamiseen.

Mittausjärjestelmään kuuluu piirianalysointilaitteisto, antennin pyörittäjä ja ohjaustarvikkeeseen kannettava tietokone. Muiden laitteiden ohjaamiseen käytettävät ohjelmat ohjelmoitiin LabVIEW-ohjelmoinnilla. Ohjelmien testaus toteutettiin antenneilla, joiden tarvittavat tiedot tunnettiin valmiiksi.

Ohjelmat on testattu toimiviksi. Tehdyt mittaukset ovat antaneet mittauksia toistettaessa samat tulokset. Ulkopuolinen testaaja on myös todennut laitteita ohjaavien ohjelmien olevan helppokäyttöisiä ja hyödyllisiä.

Työn pohjalta on mahdollista tehdä muitakin automaattisia antennin mittausohjelmia. Ajan puutteen vuoksi ei kuitenkaan pystytty syventymään muiden mittauksien ohjelmointiin. Piirianalysointilaitteiston kontrollointiin voi myös lisätä ajureita, jotka jätettiin, ja luoda mittausohjelmia antennien lisäksi muille komponenteille.

Lähteet

- 1 Räsänen, Antti - Lehto, Arto. 2003. Radiotekniikan perusteet. 11. painos. Helsinki: Otatieto.
- 2 Antenniteoriaa = Lindell, Ismo - Nikoskinen, Keijo. 1997. Antenniteoria. 4. painos. Helsinki: Hakapaino Oy
- 3 Lehto, Arto - Räsänen, Antti . 2001. Mikroaaltomittaustekniikka. 5. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 4 Agilent Technologies. 2014, luettu 21.04.2014. Verkkodokumentti. <<http://www.home.agilent.com>>
- 5 Wikipedia. 2014, luettu 21.04.2014. Hewlett-Packard. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Hewlett-Packard>>
- 6 Wikipedia. 2014, luettu 21.04.2014. Hewlett-Packard. Verkkodokumentti. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Hewlett-Packard>>
- 7 Wikipedia. 2014, luettu 21.04.2014. Agilent Technologies. Verkkodokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Agilent_Technologies>
- 8 Wikipedia. 2014, luettu 21.04.2014. Agilent Technologies. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/Agilent_Technologies>
- 9 Wikipedia. 2014, luettu 21.04.2014. Brüel & Kjær. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCel_%26_Kj%C3%A6r>
- 10 Brüel & Kjær. 2014, luettu 21.04.2014. Verkkodokumentti. <<http://www.bksv.com>>
- 11 Wikipedia. 2014, luettu 21.04.2014. National Instruments. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/National_Instruments>
- 12 Wikipedia. 2014, luettu 21.04.2014. LabVIEW. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>>
- 13 Wikipedia. 2014, luettu 21.04.2014. LabVIEW. Verkkodokumentti. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Labview>>
- 14 National Centre for Radio Astrophysics. 2014, luettu 21.04.2014. LabVIEW. Verkkodokumentti. <<http://ncralib1.ncra.tifr.res.in:8080/jspui/bitstream/2301/427/1/Labview.pdf>>
- 15 National Instruments. 2014, luettu 21.04.2014. Verkkodokumentti. <<http://sine.ni.com>>
- 16 Liimatainen, Mikko. 8.5.2007. Automaattinen antennin suuntakuvion mittausjärjestelmä. Insinööriyö. EVTEK.

Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

User's Guide:

Automated Antenna Measurement System

Metropolia University of Applied Sciences

Written By: Antti Lehtinen & Antti Pääkkönen

Print Date: 1 April 2014

Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

Authors Title	Antti Lehtinen & Antti Pääkkönen User's Guide: Automated Antenna Measurement System
Number of Pages Print Date	6 pages + Cover, Introduction and Table of Contents. 1 April 2014
<p>This manual is written as part of a thesis made for Metropolia University of Applied Sciences. It will guide you to operate the automated antenna measurement system created for the thesis by Antti Lehtinen and Antti Pääkkönen.</p> <p>The system's control interface was built using LabVIEW, a system design platform and development environment using a visual programming language called "G".</p> <p>The system at its current state is primarily designed for Agilent 8714ET RF network analyzer and Brüel & Kjær Turntable System Type 9640 turntable, both of which are controller with the interfaces built using LabVIEW.</p> <p>This instrument is well suited for simple antenna measurement for various environments and antenna types, but to get the most accurate result it is recommended that you will perform your measurements in an undisturbed space.</p>	

Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

Table of Contents	1
1 Setting Up The System	2
2 Turntable Control Interface	2
3 Polar Drawing Interface	2
4 Network Analyzer Control Interface	2
3.1 Getting Started	2
3.2 Frequency Control	2
3.3 BW Control	3
3.4 Format	3
3.5 Scale Factor	3
3.6 Measure	4
3.7 Read Marker	4
3.8 Set Marker	5

Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

1 Setting Up the System

- Plug in and connect National Instruments USB-GPIB-HS controller between computer, network analyzer and turntable control unit.
- Connect turntable control unit of the turntable.
- Attach antenna on the turntable and another one to a fixed position.
- Connect antennas to Agilent 8714ET RF network analyzer.
- Decide the frequency range for your antennas.

2 Turntable Control Panel

- *Acceleration*: Sets the turning speed of the turntable.
- *Turn*: Turns the turntable X degrees
- *Set 0-position*: This sets the turntable's current position as 0-position in the turntable's memory, once you have aligned the antennas.
- *Turn (to position)*: Uses the 0-position in turntable's memory as a reference point when turning the turntable to a specific degree angle.

3 Polar Drawing Control Panel

- Set *Resource Name* to "**GPIB0;;16;;INSTR**".
- *Start Freq* sets starting frequency.
- *Stop Freq* sets stopping frequency.
- *Turn* sets the turning degree interval.
- *Timer (ms)* needs to be set so that turntable has time to turn to the next measurement point.
 - o For example 100 ms per degree, but **no less than 400ms in total**.
- *Samples* shows how many measurement points there are in total.
- *Current sample* shows the current measurement point in progress.
- *Polar Attributes*: Used to control the attributes used in polar drawing.
 - o *Maximum/Minimum* sets the range for drawing.
 - o *Visible Section* sets which section will be drawn.

Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

- Rest of the functions are mostly for cosmetic modification for your amusement.
- Once all settings are to your liking, click "Run" in LabVIEW (single run, no continuous) to make one full polar measurement.

4 Network Analyzer Control Panel

4.1 Getting Started

- Set *Resource Name* to **"GPIB0;;16;;INSTR"**
- Set *Channel Control* into "STATUS?"
 - "Channel?" inquires the status of the channel and gives its result on *Active* indicator.
 - On *Active* indicator "0" means inactive and "1" means active.
 - "On" Sets selected channel into active state
 - "Off" Sets selected channel into inactive state
- Press *SET* button in the same box as other changes are made.
 - **Whenever changes are made in any of the function boxes, the *SET* button of that box activates the changes.**
- Using the *Channel select* set analyzer channels into wanted settings
 - When changing channels it's safest to use "Status?" setting

4.2 Frequency Control

- *Frequency Control*: Sets how the frequency is set.
 - "S/S?":
 - *freq1* sets starting frequency.
 - *freq2* sets stopping frequency.
 - "CW?":
 - *freq1* sets center frequency.
 - *freq2* sets frequency range.

Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

4.3 BW Control

- *BW Control*: Selects if bandwidth is on "SET" or "QUERY".
 - o **Using *Frequency Control* instead of *BW Control* is recommended.**

4.4 Format

- *Format*: Sets format for active channel
 - o "LIN": Linear format.
 - o "LOG": Logarithmic format.
 - o "PHASE": Phase format
 - o "SMITH": Smith format
 - o "SWR": SWR format.
 - o "DELAY": Electrical delay format
 - o "POLAR": Polar format.
 - o "REAL": Real format.
 - o "IMAG": Imag format.
 - o "IMP": Impedance format

4.5 Scale Factor

- *Scale Factor*: Sets the scale for the network analyzer on selected channel.
 - o "SCALE": Sets scale/division. If 0, then autoscale.
 - o "POSN": Set reference position. Must be from 1 - 10.
 - o "AUTO": Performs autoscale (recommended).
 - o "DELAY": Sets electrical delay in seconds.
 - o "PHASE": Sets phase offset in degrees.
 - o "SCALE?": Queries scale factor.
 - o "POSN?": Queries reference position.
 - o "REF?": Queries reference level.
 - o "PHASE?": Queries phase offset.
 - o "DELAY?": Queries electrical delay.

Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

4.6 Measure

- *Measure*: Sets what the network analyzer measures on selected channel.
 - "A": Selects detector A.
 - "B": Selects detector B.
 - "R": Selects detector R.
 - "A/R": Selects A/R measurement (same as reflection).
 - "B/R": Selects B/R measurement (same as transmission).
 - "B*": Selects diode detector B* (same as power).
 - "R*": Selects diode detector R*.
 - "B*/R*": Selects diode detector B*/R* (same as conversion loss).
 - "X": Selects external diode detector X.
 - "Y": Selects external diode detector Y.
 - "X/Y": Selects external diode detector X/Y.
 - "Y/X": Selects external diode detector Y/X.
 - "Y/R*": Selects diode detector Y/R*.
 - "*AUX": Selects AUX input.
 - "STATUS?": Queries current measurement selection.

4.7 Read Marker

- *Read Marker*: Reads marker results and gives them in *mk_r_result*.
 - "AMPL?": Reads marker amplitude.
 - "POSN?": Reads marker axis position.
 - "REF X?": Reads frequency of reference marker.
 - "REF Y?": Reads amplitude of reference marker.
 - "INDUCTANCE?": Reads inductance when in Smith format.
 - "REACTANCE?": Reads reactance when in Smith format.
 - "RESISTANCE?": Reads resistance when in Smith format.
 - "PHASE?": Reads phase when in polar format.
 - "MAGNITUDE?": Reads magnitude when in polar format.
 - "DELAY?": Reads marker group delay value in seconds.

Automated Antenna Measurement System -ohjekirja

- "FUNCTION?": Reads all four marker function values.

4.8 Set Marker

- Set Marker.

- "ON": Turn specified marker on.
- "OFF": Turn specified marker off.
- "FREQ": Sets marker to X axis frequency specified by *mkr_value*.
- "POINT": Sets marker to X axis point number.
- "MIN": Sets marker to trace minimum.
- "MAX": Sets marker to trace maximum.
- "MINLEFT": Sets marker to next left minimum.
- "MINRIGHT": Sets marker to next right minimum.
- "MAXLEFT": Sets marker to next left maximum.
- "MAXRIGHT": Sets marker to next right maximum.
- "ALLOFF": Turns all markers off.
- "BANDWIDTH": Performs bandwidth search. BW target = *mkr_value*.
- "DELTA_ON": Turns marker delta mode on.
- "DELTA_OFF": Turns marker delta mode off.
- "REF Y?": Reads amplitude of reference marker.
- "STATISTICS": Sets active marker function to statistics.
- "FLATNESS": Sets active marker function to flatness.
- "FST": Sets active marker function to filter statistics.
- "TO_CENTER": Sets center frequency to active marker.
- "TO_DELAY": Sets electrical delay to active marker value.
- "TO_REF": Sets reference offset to active marker value.
- "SET_ABS": Sets marker to absolute value.
- "TRACK_ON": Turns marker tracking on.
- "TRACK_OFF": Turns marker tracking off.

Piirianalysaattorin kontrolliohjelman käyttöympäristö

antenna measurement control_center.vi Front Panel

File Edit View Project Operate Tools Window Help

20bit Application Font

Network Analyzer Control

Instrument Handle

Resource Name

Channel Active

Channel Select

channel control

SET

Freq Control

START/STOP

freq1

freq2

Format

LOG

SET

BW control

SET BW

bandwidth

scale factor

SCALE

scale value

SET

read marker 1

AMPLITUDE

mkr_result

mkr_result2

mkr_result3

mkr_result4

read marker 2

AMPLITUDE

mkr_result 2

mkr_result2 2

mkr_result3 2

mkr_result4 2

read marker 3

AMPLITUDE

mkr_result 3

mkr_result2 3

mkr_result3 3

mkr_result4 3

read marker 4

AMPLITUDE

mkr_result 4

mkr_result2 4

mkr_result3 4

mkr_result4 4

set marker 1

ON

mkr_val 1

set marker 2

ON

mkr_val 2

set marker 3

ON

mkr_val 3

set marker 4

ON

mkr_val 4

Stop

STOP

Measure

B/R

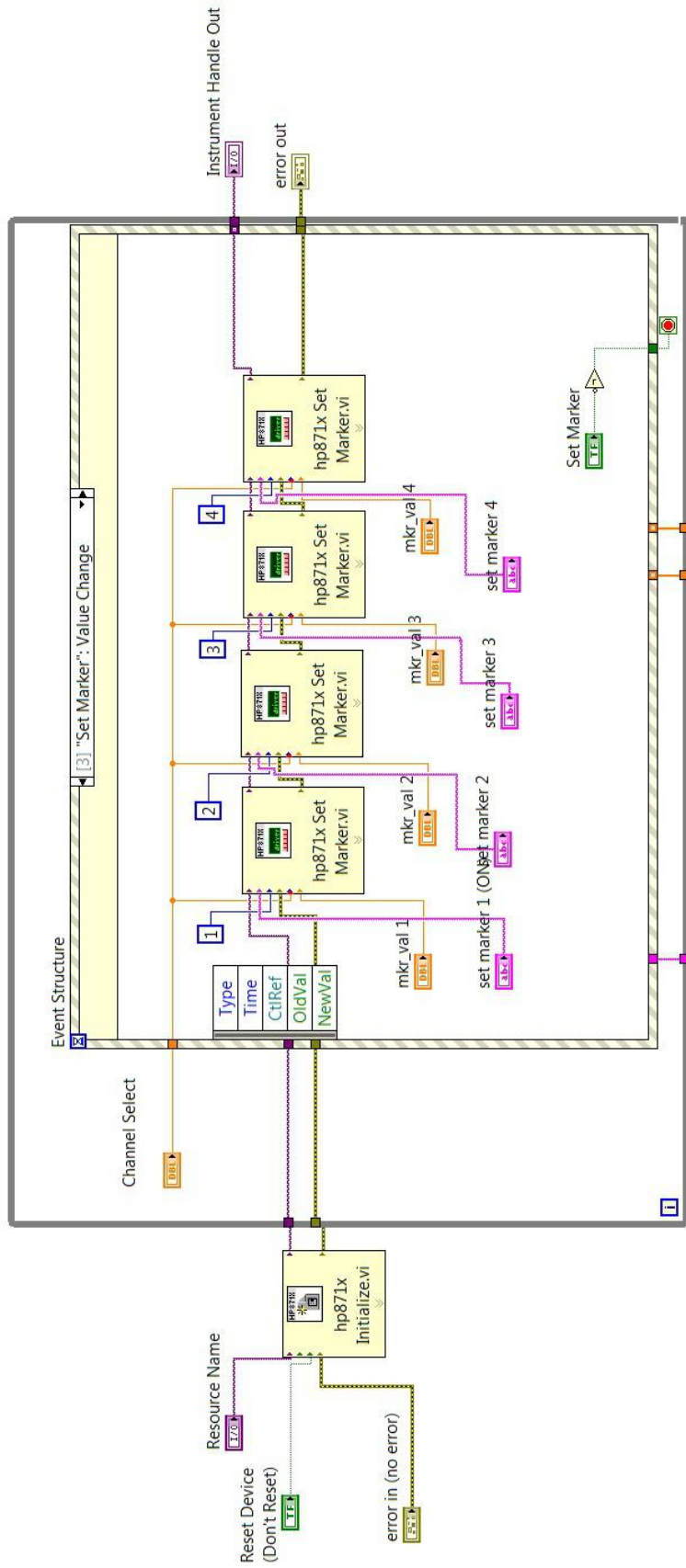
Measure

SET

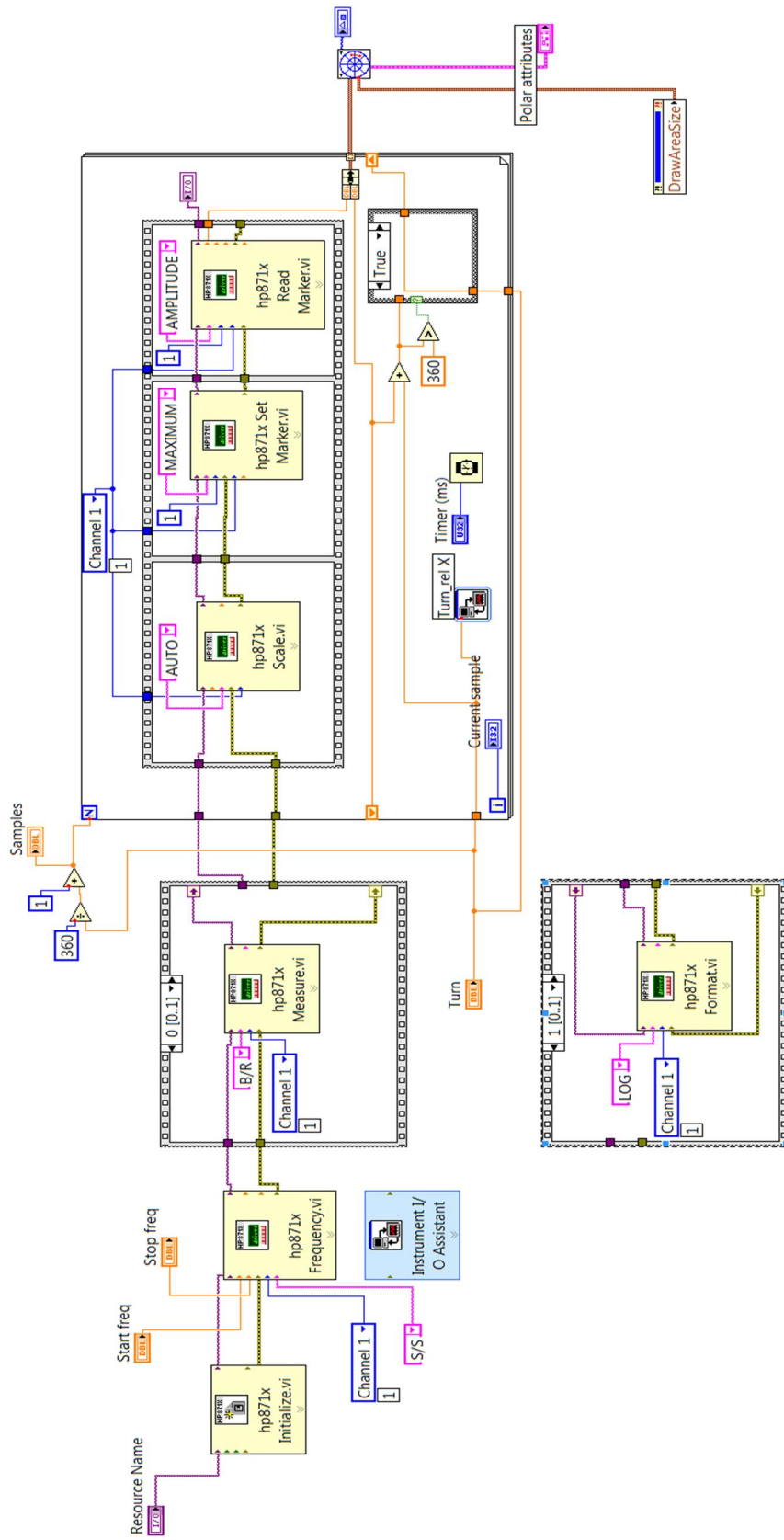
Additional information is needed to connect Metropolia Student. Click to provide additional information.

1323 31.3.2014

Piirianalysaattorin kontrolliohjelman koodi esimerkki



Suuntakuviön piirto-ohjelman koodi



Antennimittausjärjestelmän ohjauspaneelit

The screenshot displays the 'Network Analyzer Control Panel' software interface. The main window is titled 'Network Analyzer Control Panel: Front Panel' and features a menu bar (File, Edit, View, Project, Operate, Tools, Window, Help) and a toolbar. A search bar is located at the top right. The interface is divided into several functional panels:

- Instrument Handle:** Includes 'Resource Name' (set to '%'), 'Channel Active' (set to '0'), and 'Channel Select' (set to '1').
- Freq Control:** Features 'START/STOP' (set to 'SET'), 'freq1' (set to '1'), and 'freq2' (set to '1').
- BW control:** Includes 'SET BW' (set to 'SET') and 'bandwidth' (set to '4000').
- Scale Factor:** Includes 'scale factor' (set to 'SCALE') and 'scale value' (set to '0').
- Format:** Includes 'Format' (set to 'LOG') and 'Measure' (set to 'B/R').
- Stop:** Includes a 'Stop' button (set to 'STOP').
- Read Marker:** Four panels (1-4) for 'read marker' and 'read marker 4', each with 'AMPLITUDE' and 'mkr_result' fields.
- Set Marker:** Four panels (1-4) for 'set marker' and 'set marker 4', each with 'ON' and 'mkr_val' fields.
- Turntable Control Panel:** A separate window titled 'Turntable Control Panel...' with a menu bar (File, Edit, View, Project, Operate) and a toolbar. It includes a 'Turntable Control' section with 'Set 0-position' (set to 'OK'), 'Acceleration' (set to '0'), 'Turn' (set to '0'), and 'Turn to' (set to '0').
- Polar Drawing Control Panel:** A separate window titled 'Polar Drawing Control Panel: Front Panel' with a menu bar (File, Edit, View, Project, Operate, Tools, Window, Help) and a toolbar. It includes 'Polar attributes' (maximum, minimum, clip to min, log, grid color, plot color), 'Start freq' (set to '1'), 'Stop freq' (set to '1'), 'Turn' (set to '2'), 'Timer (ms)' (set to '0'), 'Samples' (set to '0'), and 'Current sample' (set to '0').

A yellow highlight is placed over the 'Network Analyzer Control' text in the top left area of the main window.