



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Tietotekniikka**

**Tietoliikennetekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**AKTIIVISEN PERHOSDIPOLIANTENNIN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

**Työn tekijä: Jan Katz  
Työn ohjaajat: Olavi Aho**

**Työ hyväksytty: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2009**

**Olavi Aho  
yliopettaja**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööriyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulussa. Kiitän työn valvojaa Olavi Ahoa hyvästä opastuksesta. Kiitän myös vaimoani kärsivällisyydestä lopputyön tekemisen aikana. Kiitokset kuuluvat myös opettajille, jotka ovat pedanneet tiedot insinööriyön tekemiselle.

Helsingissä 23.11.2009

Jan Katz

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Jan Katz	
<b>Työn nimi:</b> Aktiivisen perhosdipoliantennin suunnittelu ja toteutus	
<b>Päivämäärä:</b> 23.11.2009	<b>Sivumäärä:</b> 36 s.
<b>Koulutusohjelma:</b> Tietotekniikka	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b> Tietoliikennetekniikka
<b>Työn ohjaaja:</b> yliopettaja Olavi Aho, Metropolia ammattikorkeakoulu	
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa aktiivinen perhosdipoliantenni, jolla voidaan vastaanottaa UHF-taajuuksilla lähetettyjä digitaalisia TV-lähetyksiä. Aktiiviseen anteeniin kuuluu LNA-vahvistin (low noise amplifier), jolla vahvistetaan vastaanotettuja signaaleja. Suunnittelun ja toteutuksen tavoitteena oli käyttää olemassa olevia sovelluksia.</p> <p>Alussa tarkasteltiin erilaisten antennien ominaisuuksia, joilla on mahdollista vastaanottaa UHF-taajuuksilla lähetettyjä signaaleja. Tarkastelun kohteena oli myös Matlab- ja APLAC-sovellukset, joilla mahdollistettiin antennin ja vahvistimen optimointi määrättyille taajuuksille. Esittelyn tukena on kuvia ja kaavoja.</p> <p>Seuraavaksi tutustuttiin lähemmin antennin rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Antennissa tarkasteltiin säteilykuviota, suuntaavuutta, vahvistusta ja polarisaatiota.</p> <p>Lopuksi insinööriyössä kerrotaan perhosdipoliantennin suunnittelu ja rakentaminen. Osuudessa esitellään antennin mittaustuloksia suunnitteluvaiheessa sekä valmiin antennin toimivuus normaaliolosuhteissa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin toimiva antenni, jolla voidaan katsoa digi-tv-lähetyksiä. Vertailukohteena käytettiin markkinoilla olevaa yagi-mallista dipoliantennia.</p>	
<b>Avainsanat:</b> Perhosdipoliantenni, UHF, LNA, Matlab, APLAC	

## ABSTRACT

<b>Name:</b> Jan Katz	
<b>Title:</b> Design and Implementation of Active Boltie Antenna	
<b>Date:</b> 23.11.2008	<b>Number of pages:</b> 36
<b>Department:</b> Information Technology	<b>Study Programme:</b> Telecommunication
<b>Instructor:</b> Olavi Aho, Principal Lecturer, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences	
<p>The aim of this final year thesis was to design and create an active bowtie antenna, which enables to receive signals between 478 MHz-786 MHz (UHF-frequency). Bowtie antenna is used in television broadcasting. Active antenna contains a low noise amplifier, which amplifies incoming signals. Bowtie antenna is a variation of dipole antenna.</p> <p>The antenna and amplifier were implemented to FR-4 circuit board, because circuit board is easy to handle. The antenna was optimized to 600 MHz frequency and LNA-amplifier was optimized to 650 MHz. APLAC and Matlab applications were used during designing of the antenna.</p> <p>A more detailed study was made of the amplifier and the antenna's measurements and features, its gain, return loss and radiation pattern.</p> <p>As a result of the thesis was a functional antenna, which works as well as the already commercialised comparison antenna. Measurement values are introduced in the last pages.</p>	
<b>Keywords:</b> UHF, Bowtie antenna, APLAC, Matlab	

## SISÄLLYS

### ALKULAUSE

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

## SISÄLLYS

### LYHENTEET

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DIGITAALISET LÄHETYKSET</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>ANTENNIT</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Dipoliantenni</b>	<b>3</b>
3.1.1	<i>Taittodipoli (Stub-loaded folded dipole)</i>	5
3.1.2	<i>Perhosdipoli</i>	6
<b>3.2</b>	<b>Heliksiantenni</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>PERHOSDIPOLIN SUUNNITTELU</b>	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>Bowtie.m-tiedosto</b>	<b>9</b>
<b>4.2</b>	<b>RWG1.m-tiedosto</b>	<b>10</b>
<b>4.3</b>	<b>RWG2.m-tiedosto</b>	<b>11</b>
<b>4.4</b>	<b>RWG3.m-tiedosto</b>	<b>11</b>
<b>4.5</b>	<b>EFIELD2.m-tiedosto</b>	<b>12</b>
<b>4.6</b>	<b>Sweepplot.m-tiedosto</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>BALUUNIT</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>LNA:N SUUNNITTELU</b>	<b>19</b>
<b>6.1</b>	<b>LNA-vahvistimen kohina</b>	<b>22</b>
<b>6.2</b>	<b>LNA-vahvistimen stabiilisuus</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>ANTENNIN MITTAAMINEN</b>	<b>24</b>
<b>7.1</b>	<b>Suuntaavuus</b>	<b>25</b>
<b>7.2</b>	<b>Vahvistus</b>	<b>26</b>

7.3	Polarisaatio	27
8	ANTENNIN VALMISTUS JA MITTAAMINEN	28
8.1	Perhosdipolin ominaisuudet	29
8.2	Aktiivisen antennin ominaisuudet	32
8.3	Digi-tv-lähetteen vastaanotto	33
9	YHTEENVETO	34
	VIITELUETTELO	36

## LYHENTEET

dB	Desibeli.
LNA	Low Noise Amplifier; Vähäkohinainen vahvistin.
Matlab	Matrix Laboratory; Numeeriseen laskentaan tarkoitettu sovellus.
PET	Polyetyleeniterftalaatti.
RWG	Rao-Wilson-Glisson.
UHF	Ultra High Frequency; Taajuusalue 0,3 GHz - 3 GHz.
VHF	Very High Frequency; Taajuusalue 30 MHz - 300 MHz.

## 1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä on tavoitteena toteuttaa aktiivinen perhosdipoli-antenni. Antennin tarkoitus on vastaanottaa UHF-taajuuksilla olevia signaaleja digi-tv-lähetyksiä varten. Aktiivisena komponenttina työssä suunnitellaan LNA-vahvistin, jolla vahvistetaan antenniin tulevaa signaalia.

Työssä käydään yleisesti läpi kanavapakettien merkitys digi-tv-lähetyksissä, signaalin käyttäytyminen ilmarajapinnassa sekä erilaisten antennien ominaisuuksia.

Työssä selvitetään tarkemmin perhosdipolin ja LNA-vahvistimen suunnittelua sekä niiden toteutusta. Työssä tutkitaan antennin rakennetta ja ominaisuuksia. Tavoitteena on toteuttaa mahdollisimman optimoitu antenni sekä vahvistin UHF-taajuuksille.

Työssä lasketaan antennin suuntakuvio ja heijastukset käyttäen hyväksi mitauslaitteita. Käydään läpi antennin suunnittelua APLAC- ja MATLAB-sovelluksilla sekä antennin mittaamista. Mitattavia suureita ovat vahvistimessa stabiilisuus ja kohina sekä antennissa suuntaavuus, vahvistus ja polarisaatio.

Lopuksi esitellään antennin mittaustuloksia, joissa ilmenevät antennin ominaisuudet käytännössä.

## 2 DIGITAALISET LÄHETYKSET

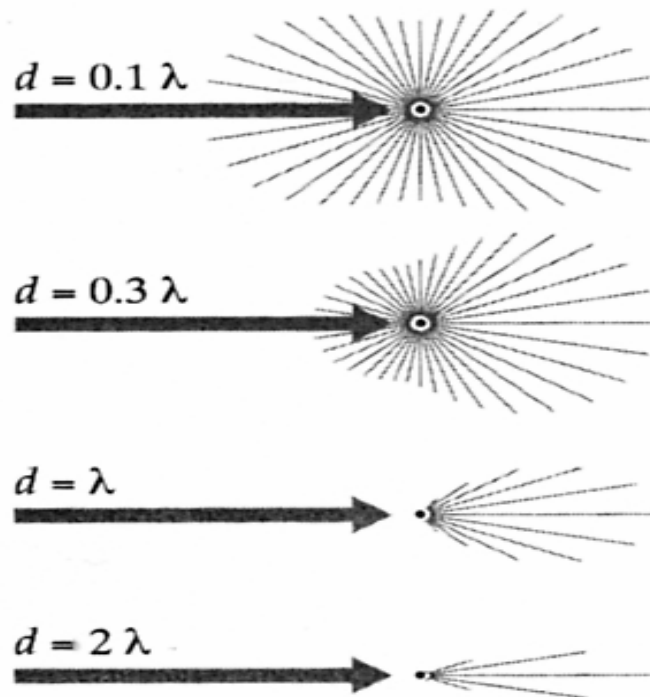
Digitaalisia lähetyksiä suomessa välittää Digita Oy, joka myös vastaa radio- ja televisioverkoista, niiden suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta. Digitaaliset lähetykset jaotellaan kanavanipuiksi, joita kutsutaan nimillä A, B, C, D ja E. Kanavanippu A on täysin Yleisradio Oy:n käytössä ja muut niput toimiluvanvaraiseen käyttöön. A- ja B-niput kattavat Suomen pinta-alasta yli 90 % ja muut niput noin 80 % - 90 %. Digitaaliset lähetykset lähetetään taajuuksilla, joiden keskitaajuus on 482 MHz - 786 MHz. Kanavanippujen taajuudet eivät välttämättä ole samoja eri paikkakunnilla. Nippujen taajuuksia vaihdellaan, jotta voidaan lähettää paikallisia tv-lähetyksiä, kuten uutisia ja mainoksia. Esimerkiksi Turussa kanavanipun A keskitaajuus on 714 MHz, kun taas Helsingissä se on 562 MHz. Taivalkoskella kanavanippu A:n keskitaajuus on



sama kuin Helsingissä, mutta etäisyyden ja siitä johtuvan vaimenemisen takia Taivalkoskelta lähetetty ohjelma ei näy pääkaupunkiseudun alueella. Tästä johtuen saamaa taajuutta kanavanipuissa voidaan käyttää eri puolilla Suomea, kunhan lähetysasemat ovat riittävän etäällä toisistaan. [1; 2.]

UHF-taajuuksien ongelmana ovat erilaiset esteet maastossa, kuten rakennukset, metsät ja korkeat maastolliset muodot, koska signaalin aallonpituus on lyhyt UHF-taajuuksilla (300 MHz-3 GHz). Aallonpituus on noin 35 cm:stä 1 metriin. Ilmakehän alin kerros eli troposfääri vaikuttaa myös voimakkaasti signaalin vaimenemiseen, varsinkin silloin, kun ilma on kostea ja sateinen. UHF-taajuuksilla vesipisarat taittavat signaalia enemmän kuin kuiva ilma. Signaalin eteneminen kosteassa ympäristössä häiriintyy paljon, joten vastaanottimen kuvaruutu pahimmassa tapauksessa pimenee.

Sironta on säteilyn hajoamista ilmakehässä. Sirontaan vaikuttaa ilmakehässä olevien hiukkasten määrä ja koko. Säteilyn hajonta ei muuta fotonin energiaa eikä aallon pituutta, vaan säteily sirontaa eri suuntiin. Hiukkasen koon ollessa suuri verrattuna aallonpituuteen sirontaa tapahtuu vähemmän kuin sen ollessa pieni. Kun hiukkaset ovat pieniä, kymmenesosa aallonpituudesta, sironta on kääntäen verrannollinen aallonpituuden neljänteen potenssiin. Hiukkasten muodolla ei ole merkitystä, koska pitkäaaltoinen säteily ei ”huomaa” hiukkasen yksityiskohtia. Hiukkasen muoto vaikuttaa silloin kun hiukkanen on aallonpituuden luokkaa tai sitä suurempi. Hiukkaset sirontavat signaalia eteenpäin, jos signaaliin törmäävä hiukkanen on kooltaan kaksinkertainen aallonpituuteen nähden. Kun hiukkanen on pienempi kuin aallonpituus, sirontaa tapahtuu jokaiseen suuntaan. [3, s. 56, 57.]



Kuva 1. Hiukkasten aiheuttama sironta

### 3 ANTENNIT

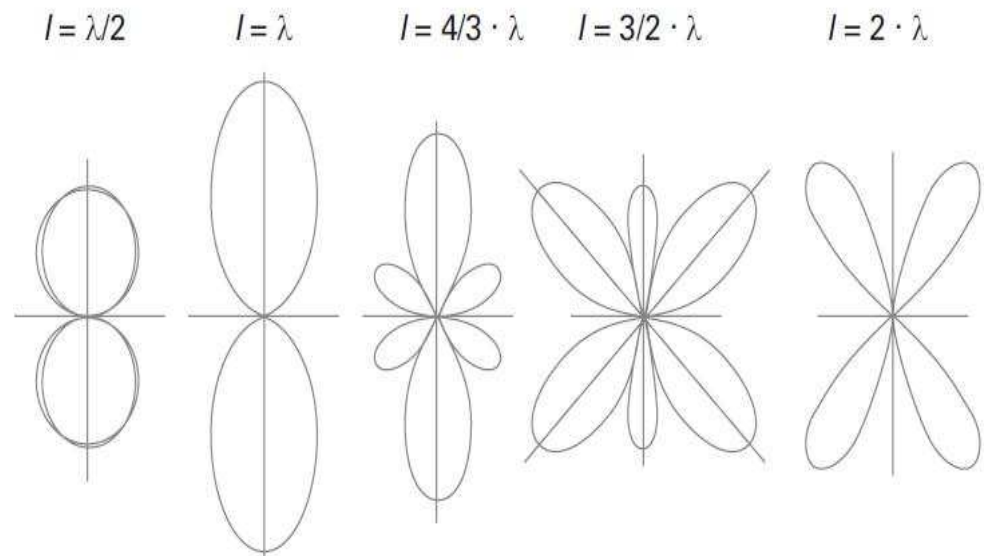
Antennien tarkoitus on lähettää tai vastaanottaa sähkömagneettisia aaltoja. Antennityypit jaotellaan niiden käyttötarkoitusten mukaan ja jokaisella antennityypillä on omat hyvät ja huonot puolensa. Antenneja käytetään erilaisiin tarkoituksiin niiden vahvistuksen, suuntaavuuden tai koon mukaan. Esimerkiksi nykyään matkapuhelimissa käytetään hyvin pieniä antenneja verrattuna niiden aallonpituuteen. Antennityyppejä on useita erimuotoisia ja -kokoisia.

UHF-taajuuksien vastaanotossa käytettäviä antenneja ovat yleensä dipoli-antenneja. On myös olemassa kierukka- ja torviantenneja, joita voidaan käyttää UHF-taajuuksien vastaanottoon. Kotitalouksissa erillisten niin sanottujen pöytäantennit ovat perhosdipolimallisia antenneja, jotka on helppoja asentaa ja käyttää.

#### 3.1 Dipoliantenni

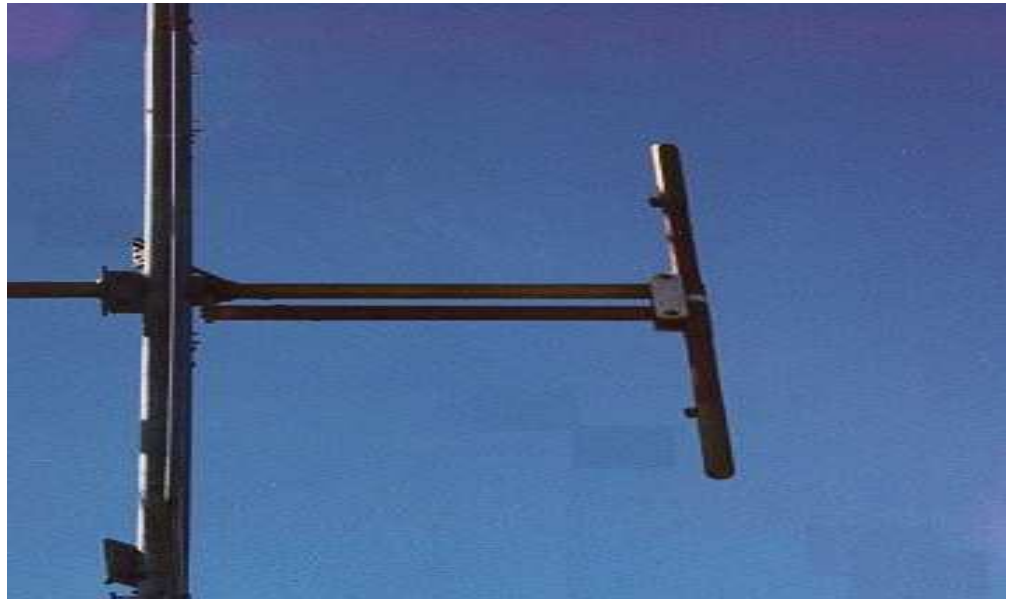
Dipoliantenni on yleisin antennityyppi vastaanotettaessa UHF-taajuuksia. Yksinkertaisimmillaan dipoliantenni koostuu kahdesta neljännesaallon pituisesta johtimesta, jotka on kiinnitetty toisesta päästä koaksiaalikaapeliin ja toisesta ovat avoimia. Johdin on kiinni koaksiaalivaihdossa ja toinen johdin

keskijohdossa. Dipolin säteilykuvio muuttuu johtimen pituuden mukaan. Dipolin johtimen pidentyessä säteilykuvio muuttuu litistyneemmäksi, ja pidempien johtimien kuviossa on sivukeiloja.

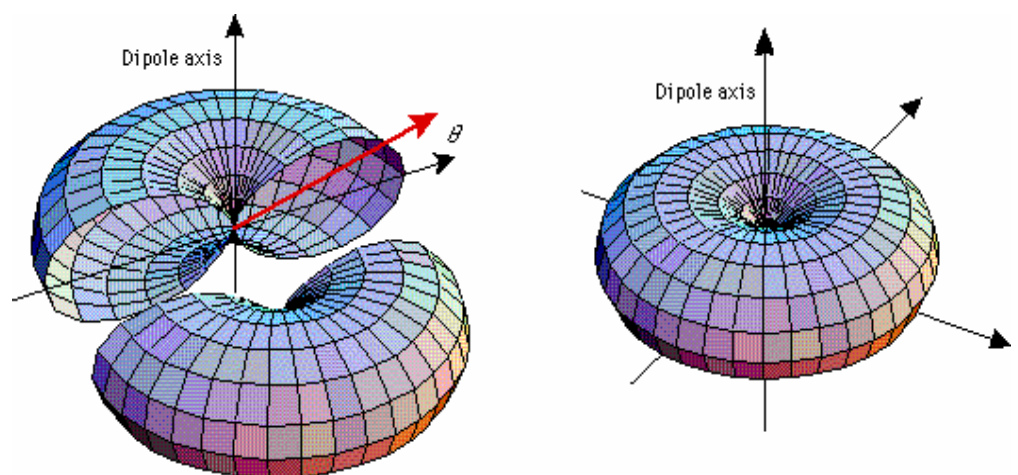


*Kuva 2. Dipoliantennin suuntakuviot johtimen pituuteen verrattuna*

Dipoliantenni on symmetrinen akselinsa suhteen, joten sen säteilykuvio on ”donitsin” muotoinen. Dipoliantennissa virta osoittaa aina pois päin akselista, joten se ei säteile johtimen päästä vaan johtimen koko matkalta. Kuuluvuuden parantamiseksi dipoli rakennetaan heijastavaan paneeliin, joka on asennettu puoliaallon mitan päähän dipolista (yagi-antenni). Tämä rakenteellinen ratkaisu parantaa myös dipoliantennin laajakaistaisuutta. [4, s. 541.]



Kuva 3. Dipoliantenni

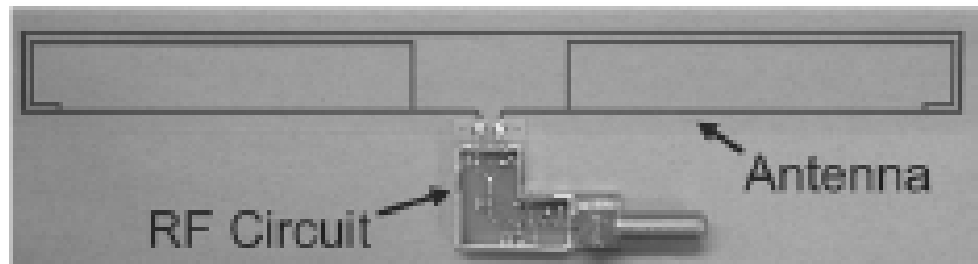


Kuva 4. Dipoliantennin säteilykuvio

### 3.1.1 Taiddipoli (Stub-loaded folded dipole)

Tämä antenni on muunnelmä perinteisestä dipoliantennista. Taiddipoli on antennityyppi, jolla voidaan vastaanottaa nykyisiä tv-lähetyksiä. Antenni on pieni verrattuna muihin nykyisiin katolla käytettyihin antenneihin. Antenni koostuu kahdesta rinnakkaisesta johdosta, jonka sisälle on rakennettu silmukat. Rinnakkaiset johdot muodostavat lenkin, joka on litistetty. Antenni on suunniteltu kattamaan 360 astetta horisontaalisella tasolla. Hyvänä puolena voidaan pitää tämän antennityypin käyttömahdollisuuksia. Antennin voi tu-

lostaa muoville (PET-muoville), joka voidaan liittää esimerkiksi autoon tai ikkunaan. [5.]



Kuva 5. Taittodipoli

### 3.1.2 Perhosdipoli

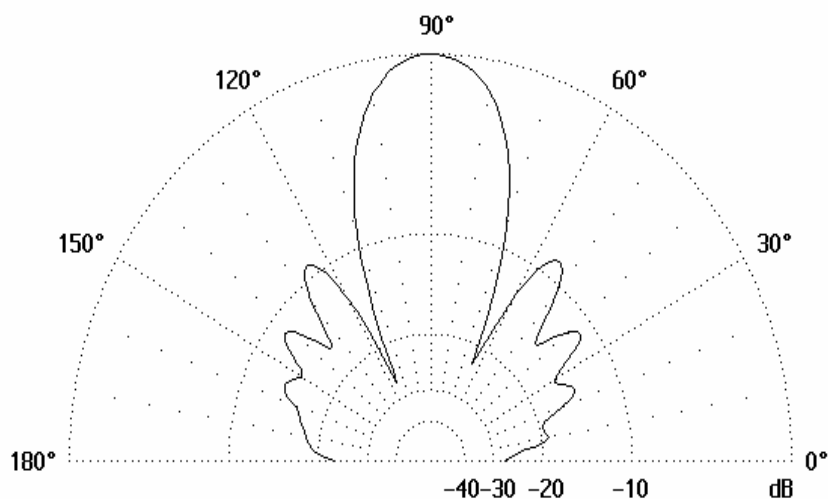
Perhosdipoli on dipoliantennista tehty muunnelmä. Perhosdipoleja kutsutaan myös siipidipoliksi tai ristidipoliksi. Siipidipolin etuisuuksiin kuuluu sen parempi laajakaistaisuus verrattuna muihin dipoliantenneihin. Tässä työssä perehdytään juuri perhosdipolin suunnitteluun ja toteutukseen.

## 3.2 Heliksiantenni

Heliksi- eli kierukka-antenni voidaan toteuttaa kiertämällä johdin tuen ympärille joko oikeakätisesti tai vasenkätisesti (kierteet vastapäivään tai myötäpäivään). Kierukka-antennin säteilyn pääkeila on samansuuntainen kuin kierukan tuki, kun kyseessä on niin sanottu aksiaalinen muoto. Taajuus määräytyy heliksiantennissa johdinkierrosten pituuden mukaan, joten tämän tyyppisellä antennilla voidaan operoida VHF-taajuuksista mikroaaltoihin. Antenni on mahdollista suunnitella pieneen tilaan. Pienestä tilasta huolimatta antenni tarjoaa hyvän hyötysuhteen ja suuntaavuuden. Kierukka-antennit sopivatkin tämän takia hyvin satelliitteihin. [6, s. 81.]

Helical Antenna

Ground Plane



Kuva 6. Kierukka-antennin säteilykuvio

#### 4 PERHOSDIPOLIN SUUNNITTELU

Suunniteltavan perhosdipolin keskitaajuudeksi valittiin 600 MHz ja antenni valmistetaan FR-4 -piirilevyllä, jonka permittiivisyys  $\epsilon_r = 4.6$ . Aluksi suunnitellaan antenni suhteellisen permittiiviteetin arvolla  $\epsilon_r = 1$ , koska suunnitteluhjelmat eivät ota huomioon eristelevyjen sähköisiä ominaisuuksia.

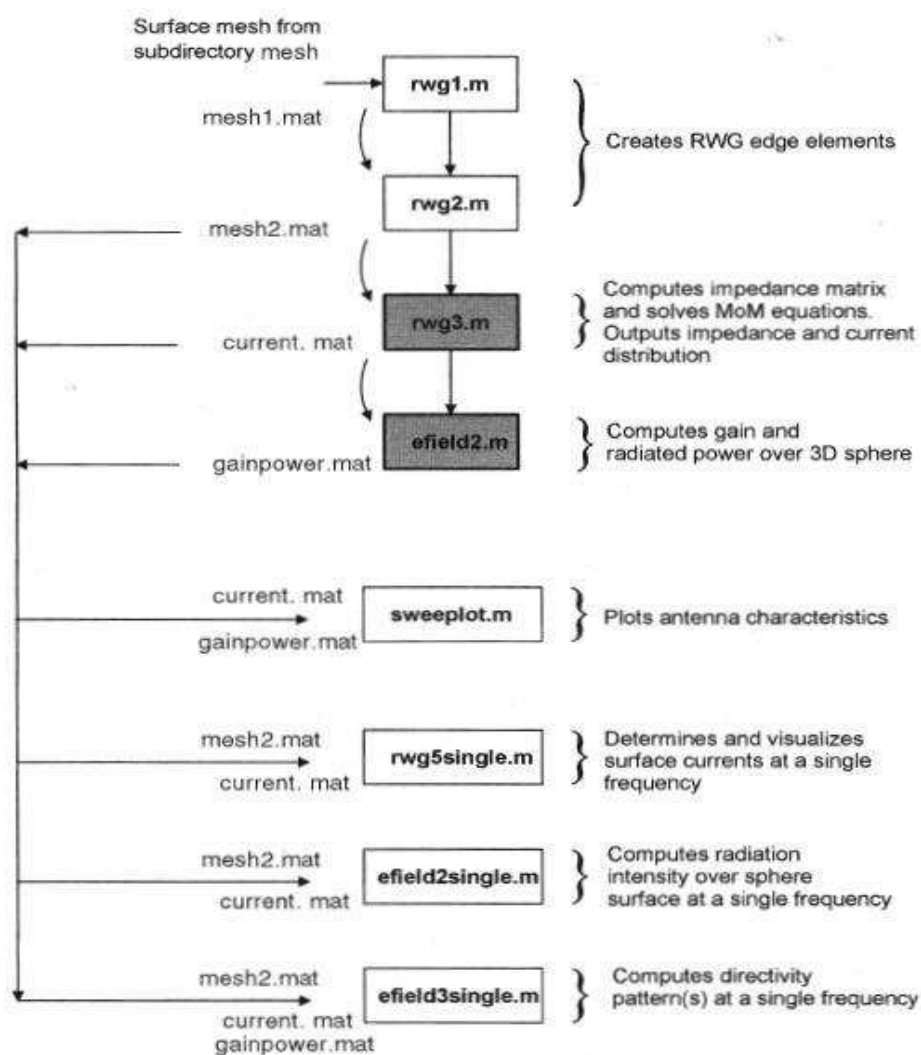
Valmistetaan suunniteltu antenni ja saatujen mittaustulosten avulla tehdään sitten tarpeellinen mittakaavamuutos. Matlab-sovellus on hyödyllinen antennin suunnittelussa. Arvoja muuttamalla saadaan aikaan optimaalinen antenni, jonka ominaisuudet voidaan simuloida heti. Matlabissa simulointi tapahtuu käyttämällä parametreina optimaalisia olosuhteita (tyhjiö), eikä laskennassa otettu huomioon olemassa olevia esteitä kuten seiniä tai heijastuksia. Tällä pyritään samaan antennin käyttämä keskitaajuus (600 MHz) lähelle suunniteltua antennia. Todelliset olosuhteet tulee ottaa huomioon varsinaisen antennin toteutuksessa.

Matlab on graafinen ohjelma, jolla voidaan simuloida antennin aiheuttamat pintavirrat, sähkökentät, jännitetasot antennin eri kohdissa sekä impedanssit. Pintavirran jakautuminen antennipinnalle on tärkeimpiä antennilaskennassa käytettyjä parametreja. Perhosdipolin suunnittelussa Matlabiin määritellään dipolin mitat ja laskentapisteiden määrä. Mitat annetaan metreinä ja

laskentapisteet arvoina. Ensin ohjelma jakaa dipolin pinta-alan yhtä suuriin kolmioihin (soluihin), jonka jälkeen Matlab laskee yksittäisen solun arvot ottaen huomioon viereisten solujen arvot.

Kun pienet solut on laskettu, Matlab laatii impedanssimatriisin. Matriisissa otetaan huomioon taajuus, permittiivisyys vapaassa tilassa  $\epsilon$  (epsilon) ja magneettisen permeabiliteetti  $\mu$  (myy). Permittiivisyys kuvaa väliaineen vaikutusta sähkökenttään. Permeabiliteetti kuvaa aineen magneettista käyttäytymistä.

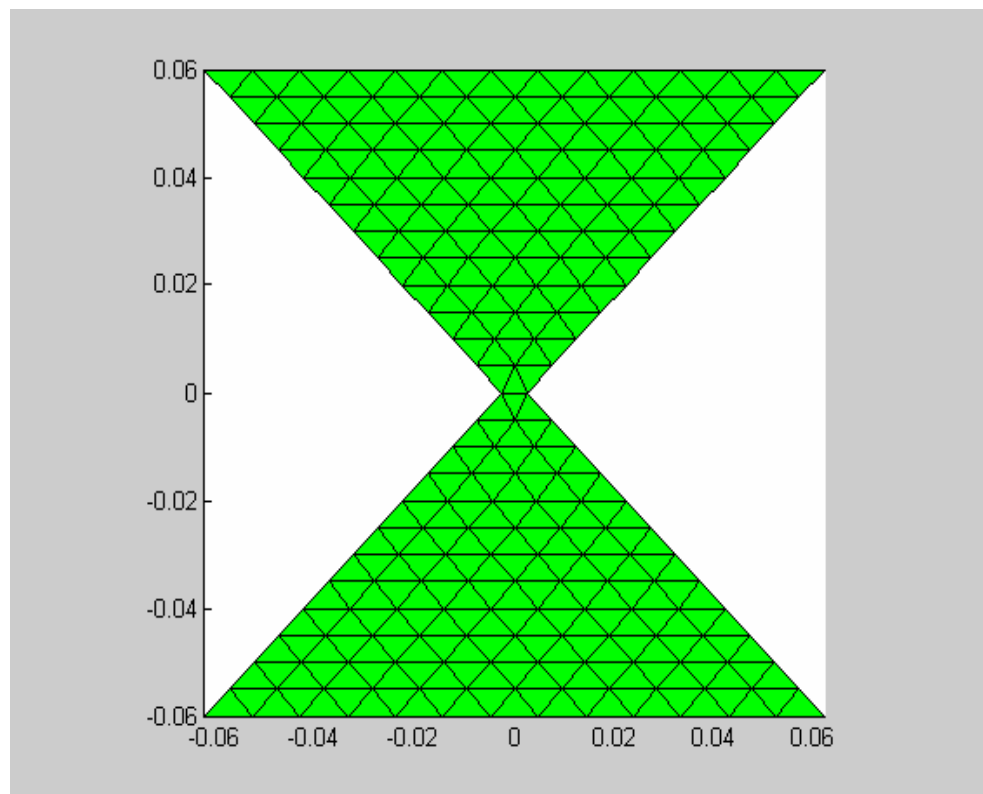
Tuloksena saadaan impedanssi, joka on teoreettinen. Käytännössä permittiivisyys on suurempi kuin vapaan tilan permittiivisyys. Käytettävät materiaalit, kuten piirilevy ja johtimet lisäävät permittiivisyyttä. Suunnittelun kulku etenee seuraavan kuvan mukaisesti. [7, s. 18-19.]



Kuva 7. Matlabilla suunnittelun kulku

#### 4.1 Bowtie.m-tiedosto

Matlabilla simuloitiin ensin antennin fyysinen rakenne xy-tasossa, jonka jälkeen ohjelmalle annettiin diskretisointiparametrit. Diskretisointiparametreilla tarkoitetaan jakaumaa, jolla ohjelma laskee antennin pinnalle solut käyttäen annettuja x- ja y-rajoja. Solut rajaavat laskennassa käytettyjä pisteitä. Perhosdipolin korkeus määrättiin taajuuden mukaan (600 MHz). Yhden siiven korkeus on neljäsnes aallonpituus, koska perhosdipoli on puolen aallon mittainen. Matlab laskee pintavirran kahden siiven yli, joten mitta annetaan ohjelmalle metreinä. Luodessaan kuvaa antennista ohjelma tarvitsee myös kahden siiven välisen kulman (bowtie flare angle). Kulma määritellään radiaaneina, jonka ohjelma jakaa kahteen yhtä suureen osaan.



Kuva 8. Matlabin simuloima perhosdipoliantenni



```

1  %BOWTIE Bowtie mesh in the xy plane
2  %
3  % The following parameters need to be specified:
4  %
5  % Discretization parameter          N
6  % Half-height of bowtie            h
7  % Width of the feeding neck        d
8  % Bowtie flare angle                flareangle
9  %
10 % Change(decrease) the width of the feeding neck
11 % if inaccurate results are obtained
12 %
13 % Copyright 2002 AEMM. Revision 2002/03/25
14 % Chapter 7
15
16 clear all
17
18 N=24;          %Discretization parameter
19 h=0.06;       %Half-height of bowtie
20 d=0.005;      %Width of the feeding neck
21 flareangle=pi/2; %Bowtie flare angle
22
23 StepY=h/N;
24 TAN=tan(flareangle/2);
25
26 %Set y grid (from -h to h)
27 for j=1:N+1
28     y(j,1)=-h+2*(j-1)*StepY;
29 end
30
31 %Set x grid (from d/2 to upper boundary)
32 for i=1:N/2+1
33     Vector(i,1)=TAN*y(N/2+i)+d/2;
34 end
35

```

Kuva 9 Bowtie.m-tiedoston skripti

## 4.2 RWG1.m-tiedosto

RWG1.m-tiedostossa Matlab laskee niin sanotut edge-elementit eli RWG-elementit käyttäen S.M Raon, D.R Wiltonin ja A.W Glissomin esittämää metodia. Tuloksena saadaan mesh1.mat-tiedosto, jossa on rakenteen kaikki RWG-elementit. [8, s. 187.]

```

1 | %RWG1 Geometry calculations - all Chapters
2 | % Uses the structure mesh file, e.g. platefine.mat,
3 | % as an input.
4 | %
5 | % Creates the RWG edge element for every inner edge of
6 | % the structure. The total number of elements is EdgesTotal.
7 | % Outputs the following arrays:
8 | %
9 | % Edge first node number           Edge_(1,1:EdgesTotal)
10 | % Edge second node number          Edge_(2,1:EdgesTotal)
11 | % Plus triangle number             TrianglePlus(1:EdgesTotal)
12 | % Minus triangle number           TriangleMinus(1:EdgesTotal)
13 | % Edge length                      EdgeLength(1:EdgesTotal)
14 | % Edge element indicator           EdgeIndicator(1:EdgesTotal)
15 | %
16 | % Also outputs areas and midpoints of separate triangles:
17 | % Triangle area                    Area(1:TrianglesTotal)
18 | % Triangle center                  Center(1:TrianglesTotal)
19 | %
20 | % This script may handle surfaces with T-junctions
21 | % including monopoles over various metal surfaces and
22 | % certain metal meshes.
23 | %
24 | % The modification for Chapters 6 and 7 passes the array
25 | % Feed (see Chapter 6)
26 | %
27 | % Copyright 2002 AEMM. Revision 2002/03/14 Chapter 6
28 |
29 | clear all
30 | tic;
31 |
32 | load('mesh/bowtie');
33 | Feed=[];
    r=1:21=size(m);

```

Kuva 10. RWG1.m-tiedosto

### 4.3 RWG2.m-tiedosto

Ohjelma jakaa kolmiot vielä 9:ään alikolmioon, joiden pintavirtatiheys oletetaan vakioksi. Tuloksena saadaan mesh2.mat-tiedosto, joka toimii lähtötiedostona impedanssimatriisin laskennalle.

### 4.4 RWG3.m-tiedosto

Tämä osio laskee impedanssimatriisin käyttäen IMPMET-funktiota, sekä ratkaisee virran  $[I]$  yhtälöstä

$$[Z][I] = [U] \quad (4.1)$$

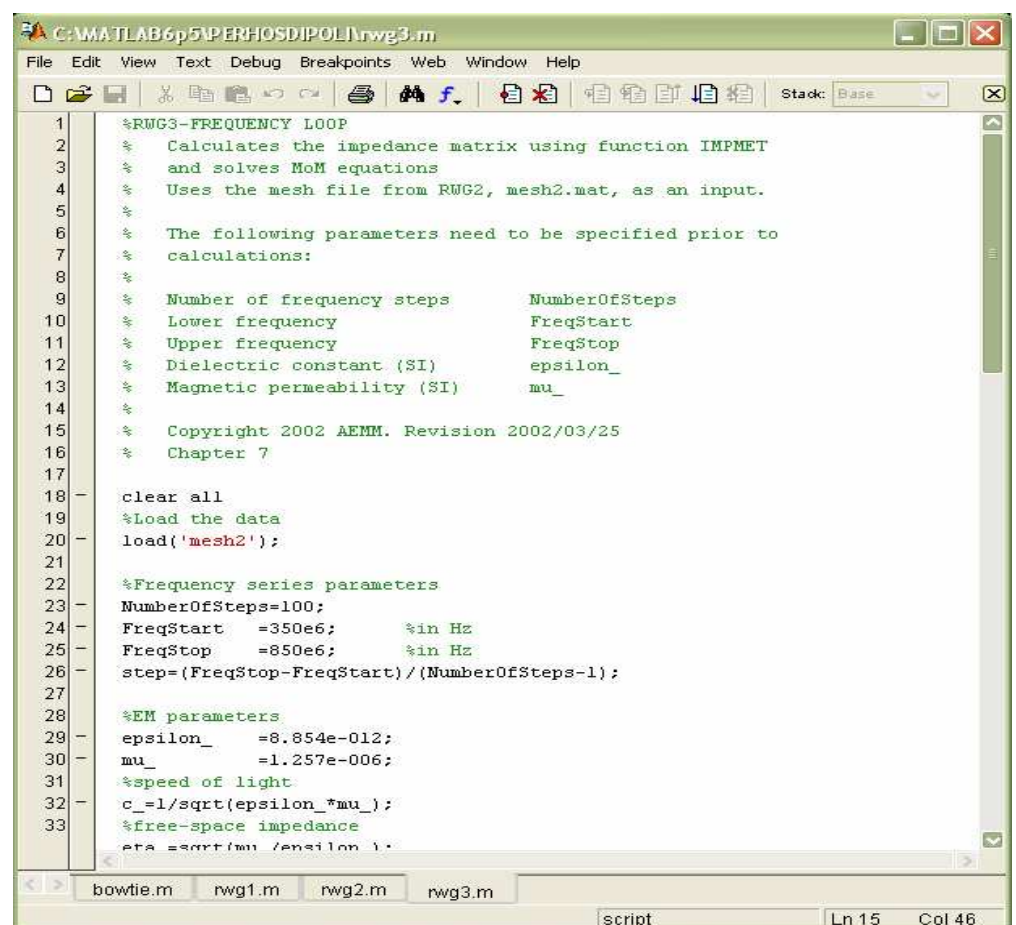
missä

$Z$  = impedanssi

$I$  = virta

$U$  = jännite

IMPJET-funktiolle annetaan taajuusaskeleiden määrä, alku- ja lopputaajuudet (FreqStart ja FreqStop) sekä sähkövakio ja permeabiliteetti. Näillä arvoilla Matlab laskee antennin kokonaisimpedanssin ja ilmoittaa sen muodossa resistanssi + reaktanssi. Tuloksena saadaan current.mat-tiedosto, jossa on pintavirran jakaumatieto antennin pinnalla.



```

1 %RWG3-FREQUENCY LOOP
2 %   Calculates the impedance matrix using function IMPJET
3 %   and solves MoM equations
4 %   Uses the mesh file from RWG2, mesh2.mat, as an input.
5 %
6 %   The following parameters need to be specified prior to
7 %   calculations:
8 %
9 %   Number of frequency steps      NumberOfSteps
10 %   Lower frequency                FreqStart
11 %   Upper frequency                FreqStop
12 %   Dielectric constant (SI)       epsilon_
13 %   Magnetic permeability (SI)     mu_
14 %
15 %   Copyright 2002 AEMM. Revision 2002/03/25
16 %   Chapter 7
17
18 clear all
19 %Load the data
20 load('mesh2');
21
22 %Frequency series parameters
23 NumberOfSteps=100;
24 FreqStart  =350e6;      %in Hz
25 FreqStop   =850e6;      %in Hz
26 step=(FreqStop-FreqStart)/(NumberOfSteps-1);
27
28 %EM parameters
29 epsilon_   =8.854e-012;
30 mu_        =1.257e-006;
31 %speed of light
32 c_ =1/sqrt(epsilon_*mu_);
33 %free-space impedance
34 eta =sqrt(mu_/epsilon_);

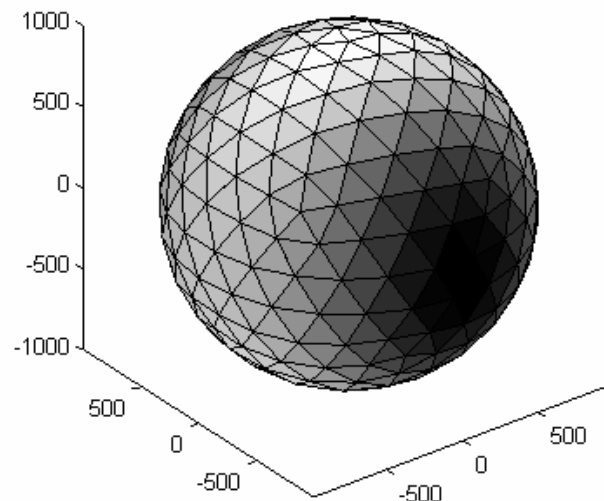
```

Kuva 11. RWG3.m-tiedosto

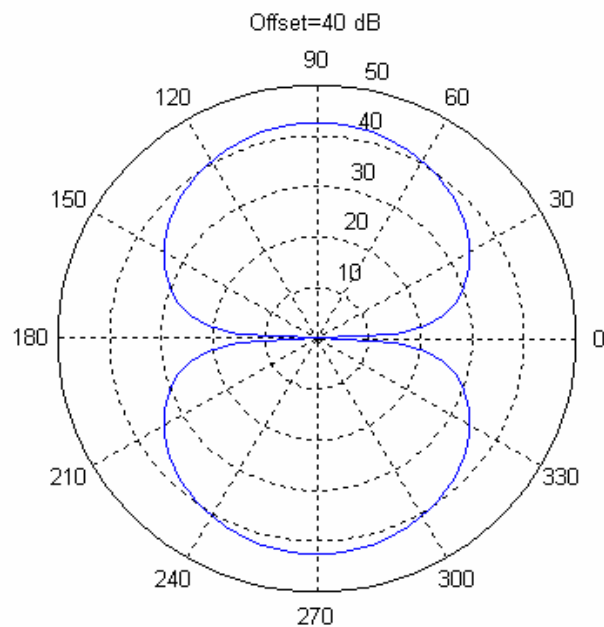
#### 4.5 EFIELD2.m-tiedosto

EFIELD2 laskee vahvistuksen (gain) ja säteilevän tehon taajuuden funktiona sekä pintavirtavakiot. EFIELD2 saa vaadittavat arvot RWG2:ssa ja RWG3:ssa lasketuista arvoista. Tähän osioon tarvitsee määrittellä ympyrän säde, joka annetaan metreinä. Koodiin on annettu arvoksi 1000 metriä, mutta metreillä ei ole suurta vaikutusta laskennassa, kunhan arvo on tarpeeksi

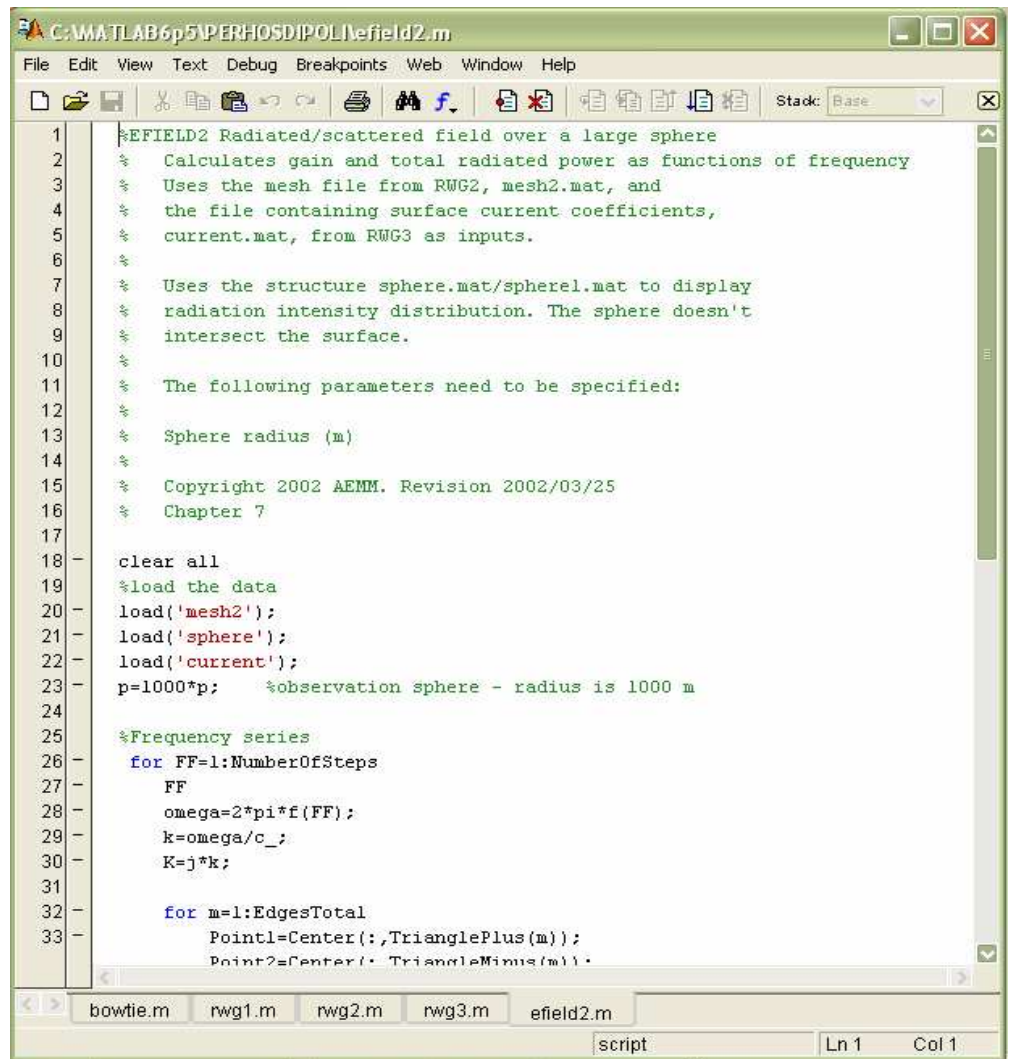
suuri. Säteilykuvion laskenta- ja piirto-ohjelma on efield2single ja efield3single. Edellisellä voidaan piirtää 3D-kuva säteilystä ja jälkimmäisellä suuntakuviot.



Kuva 12. Efield2singlen piirtämä kuvio säteilystä



Kuva 13. Efield3singlen piirtämä suuntakuvio



```

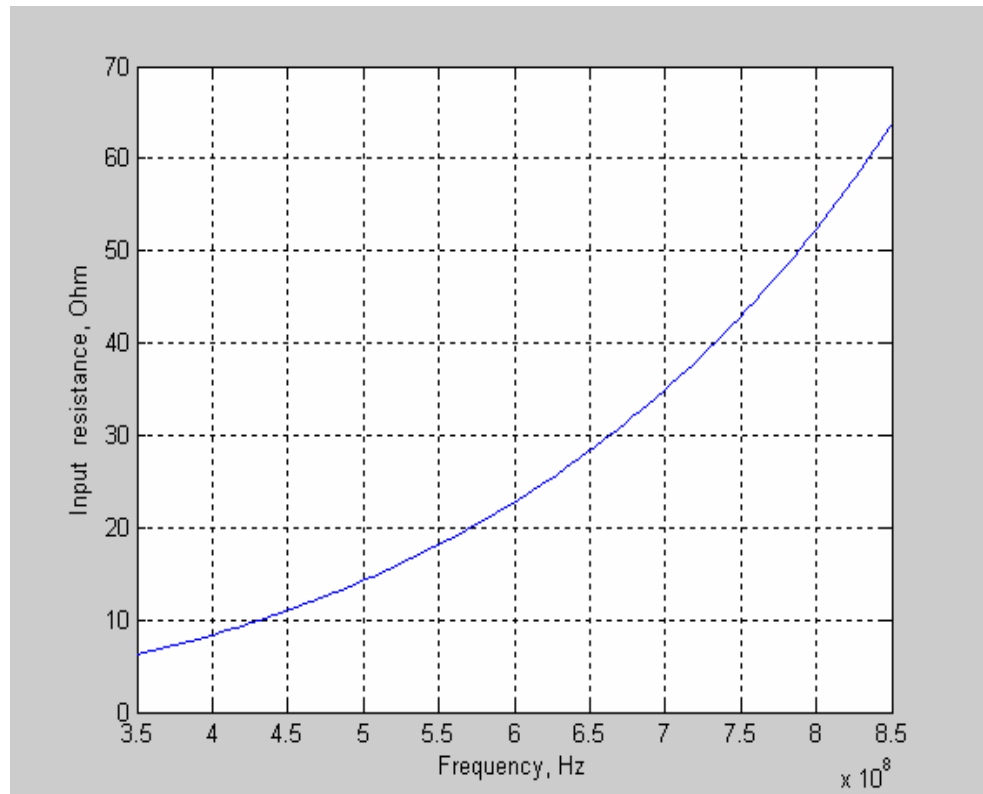
1  %EFIELD2 Radiated/scattered field over a large sphere
2  % Calculates gain and total radiated power as functions of frequency
3  % Uses the mesh file from RWG2, mesh2.mat, and
4  % the file containing surface current coefficients,
5  % current.mat, from RWG3 as inputs.
6  %
7  % Uses the structure sphere.mat/spherel.mat to display
8  % radiation intensity distribution. The sphere doesn't
9  % intersect the surface.
10 %
11 % The following parameters need to be specified:
12 %
13 % Sphere radius (m)
14 %
15 % Copyright 2002 AEMM. Revision 2002/03/25
16 % Chapter 7
17
18 clear all
19 %load the data
20 load('mesh2');
21 load('sphere');
22 load('current');
23 p=1000*p; %observation sphere - radius is 1000 m
24
25 %Frequency series
26 for FF=1:NumberOfSteps
27     FF
28     omega=2*pi*f(FF);
29     k=omega/c_;
30     K=j*k;
31
32     for m=1:EdgesTotal
33         Point1=Center(:,TrianglePlus(m));
34         Point2=Center(:,TriangleMinus(m));

```

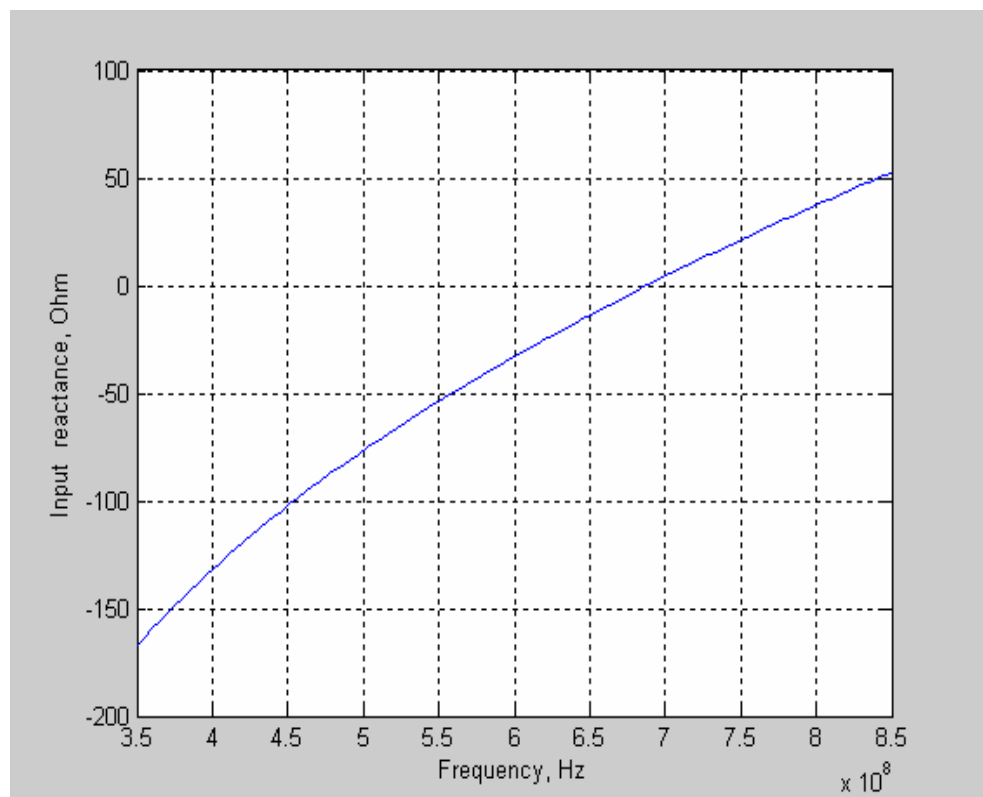
Kuva 14. EFIELD.m-tiedosto

#### 4.6 Sweeplot.m-tiedosto

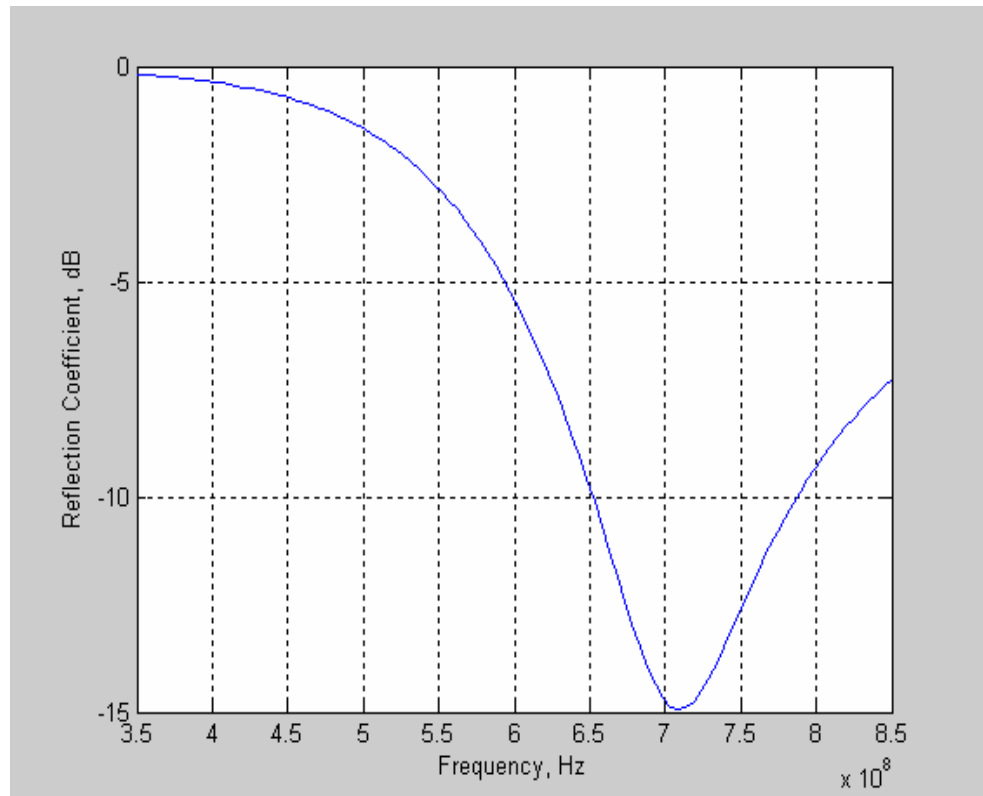
Sweeplot piirtää graafisesti säteilevän tehon (Watt), vahvistuksen (Gain), heijastuskertoimen ja antennin ottoimpedanssin. Kaikki edellä mainitut esitetään taajuuden funktiona. Sweeplot ajetaan RWG3:n ja EFIELDin jälkeen.



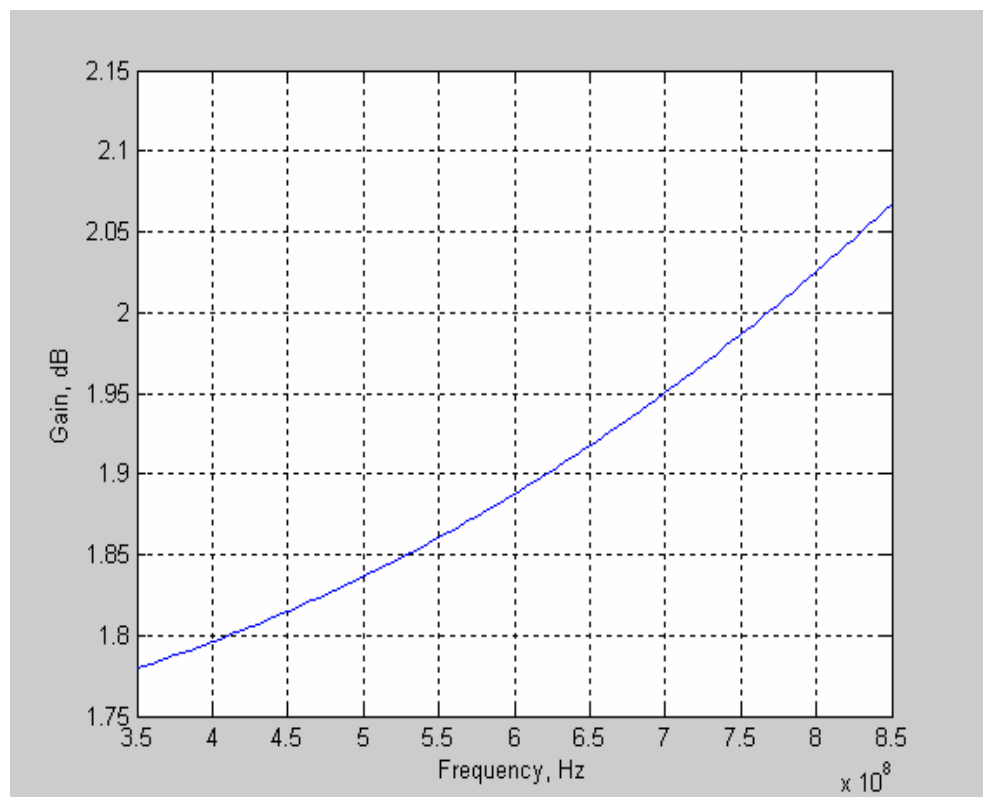
Kuva 15. Sisäänmenon resistanssi



Kuva 16. Sisäänmenon reaktanssi



Kuva 17.  $S_{11}$ -heijastus



Kuva 18. Vahvistus



```

1 | %SWEEPLOT Plots the input impedance (resistance/reactance),
2 | % reflection coefficient, antenna gain, and total radiated power
3 | % as functions of frequency
4 | %
5 | % Uses current.mat as an input to load the impedance data
6 | % Uses gainpower.mat as an input to load the gain/power data
7 | % Run this script after RWG3.m and EFIELD2.m
8 | %
9 | % Copyright 2002 AEMM. Revision 2002/03/23
10 | % Chapter 7
11 |
12 | clear all
13 | load('current.mat');
14 |
15 | %Plot impedance (real+imag)
16 | a=figure
17 | plot(f, real(Impedance));
18 | xlabel('Frequency, Hz')
19 | ylabel('Input resistance, Ohm')
20 | %axis([0 8000e6 0 400])
21 | grid on
22 | b=figure
23 | plot(f, imag(Impedance));
24 | xlabel('Frequency, Hz')
25 | ylabel('Input reactance, Ohm')
26 | %axis([0 8000e6 -250 150])
27 | grid on
28 |
29 | %Plot reflection coefficient(return loss) versus 50 Ohm
30 | c=figure
31 | Gamma=(Impedance-50)./(Impedance+50);
32 | Out=20*log10(abs(Gamma));
33 | plot(f, Out);
   | ylabel('Frequency, Hz')

```

Kuva 19. Sweepplot.m-tiedosto

## 5 BALUUNIT

Baluunilla tarkoitetaan siirtolinjumuuntajaa, jolla sovitetaan balansoitu balansoimattomaan. Baluun on hyödyllinen, kun se sovitetaan esimerkiksi tässä työssä koaksiaalijohto parijohtoon. Parijohto antennissa on integroitu piiriin. Vaikka antennin syöttöpisteen impedanssi on hyvin lähellä 50 ohmia, niin baluunin tarkoitus onkin tässä tapauksessa vähentää epäsymmetrisiä RF-vaippavirtoja. Baluun eristää koaksiaalijohdon vaipan ja antennin toisistaan.

Baluunit eroavat muuntajista merkittävästi. Muuntajan perustoiminta perustuu RF-signaalin energian siirtymiseen käämistä toiseen magneettikentän avulla. Käämin hyvänä puolena voidaan pitää sen muutossuhteiden säätelyä ja galvaanista erotusta. Sillä voidaan tehdä mielivaltaisia muutossuhteita esimerkiksi 7:11. Muuntaja on taas huono korkeilla taajuuksilla. Sen häviö herkissä vastaanottimissa on liian suuri, jotta sitä voidaan käyttää.



Baluuneita on erilaisia. Karkea jako baluuneille voidaan tehdä niiden impedanssin muunnoksen mukaan. On olemassa niin sanottu 4:1 baluun, joka nostaa impedanssin 50 ohmista 200 ohmiin. Tällainen on esimerkiksi 4:1 toroidi. 4:1-muunnos voidaan myös tehdä puoliaallon pituisella koaksiaalijohdolla, joka on viivelinjatyyppinen. Koaksiaalijohdolla tehty baluun on kaapekaistainen, mutta yagi-antennien syöttöelementissä ne ovat erityisen hyviä niiden helpon toteutuksen takia. Baluuneita on myös 1:1-muutoksen tekeviä. Näissä baluuni symmetrisoi johdon ja antennin toisiinsa.

Dipoliantennissa toteutettiin 1:1 neljännesaalto koaksiaali baluun. Aallonpituus 600 MHz:llä on 50 cm, joten baluunin mitaksi laskettiin neljännesaalto, eli 12,5 cm. Seuraavassa kaavat, joilla baluunin pituus laskettiin:

$$\frac{c}{f} = \lambda_0 \quad (6.1)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6.2)$$

$$\frac{\lambda_g}{4} = x \quad (6.3)$$

missä

$c$  = valonnopeus tyhjiössä

$f$  = taajuus

$\lambda_0$  = aallonpituus tyhjiössä

$\lambda_g$  = aallonpituus

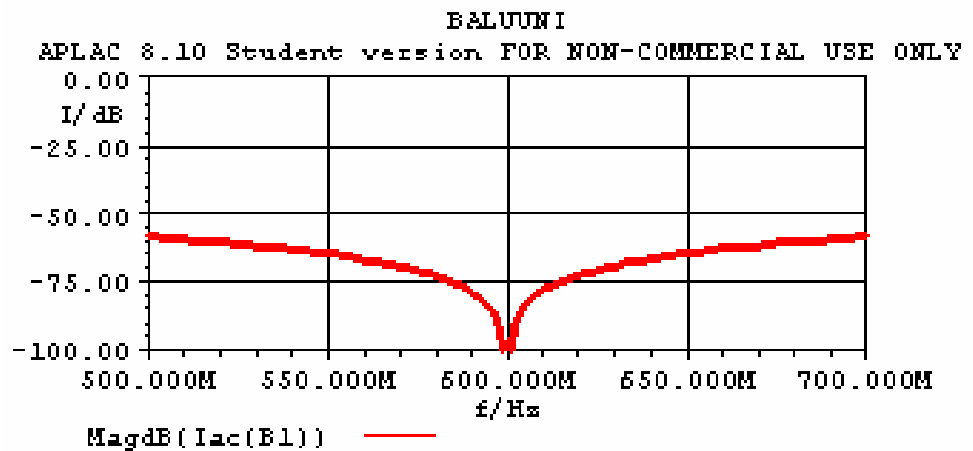
$\epsilon_r$  = suhteellinen permittiivisyys

$x$  = baluunin fyysinen pituus.

Todellisuudessa baluunin ei tarvitse olla 12.5 cm:ä, koska suhteellinen permittiivisyys on noin 2. Tästä seuraa, että baluun lyhenee noin 9 cm:iin.

Vaikka piirilevyn permittiivisyys on 4,6, niin todellisuudessa baluunin sähkövakio ei ole sama. Sähkökenttä ei kulje ainoastaan piirilevyssä, vaan myös

ilmassa, joten koko systeemin suhteellinen permittiivisyys laskee noin 2:een. Baluunin pituus on laskettu APLAC-ohjelmalla.



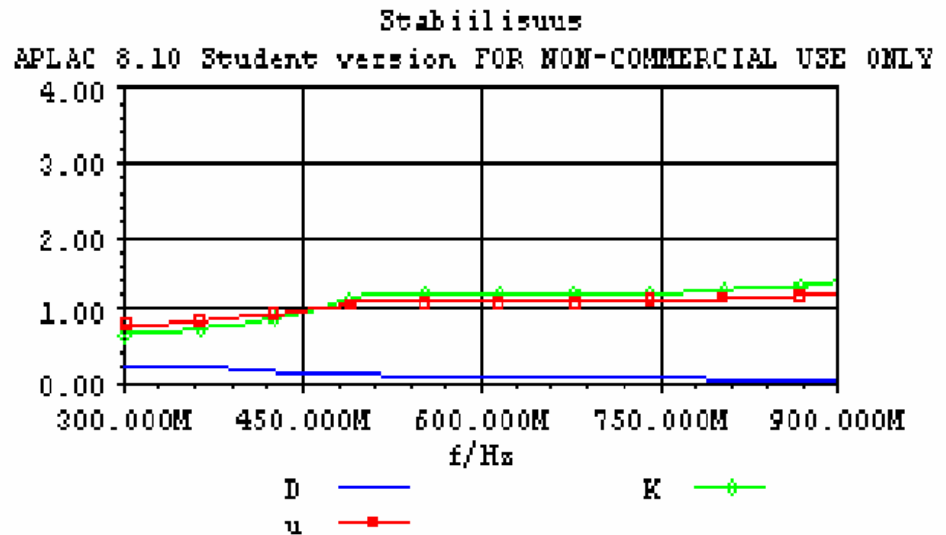
Kuva 20. Baluunin optimointi APLACilla

APLAC laskee pituuden käyttäen piirilevyn paksuutta, sähkövakiota, baluunin johtimien välistä mitta ja leveyttä parametreinaan. Impedanssin mennessä lähelle ääretöntä saadaan keskitaajuus, jolle baluuni on optimoitu. Tällöin signaali ei "näe" baluunia. Baluunin pituudeksi saatiin APLACilla 8,92 cm.

## 6 LNA:N SUUNNITTELU

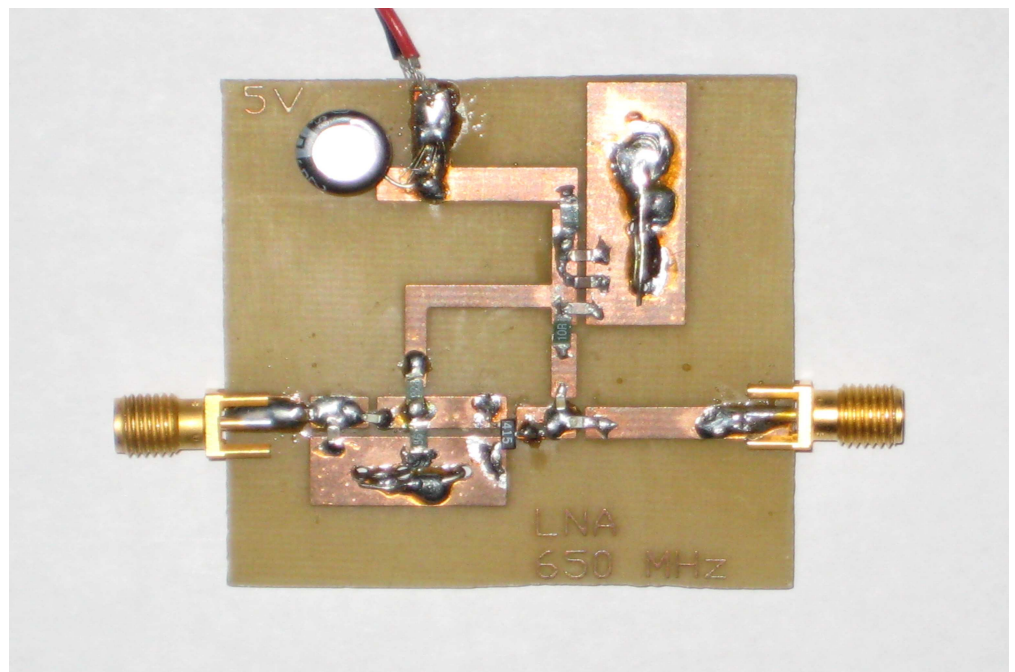
LNA-vahvistin (Low Noise amplifier) on vähäkohinainen vahvistin, joka vahvistaa heikkoja signaaleja. LNA-vahvistin pyritään toteuttamaan mahdollisimman vähäkohinaiseksi, jotta systeemin oma kohina ei häiritse vahvistettua signaalia. Vahvistimien ongelmana onkin itse tuotetun kohinan vahvistaminen ja sen hyötysignaalin häirintä. Vahvistin pyritään asentamaan mahdollisimman lähelle antennin ulostuloa, jotta siirtojohdon vaimennus ei lisäisi järjestelmän kohinalukua. LNA-vahvistimia käytetään lähes jokaisessa vastaanottoantennissa.

Tätä työtä varten suunniteltiin 650 MHz:n taajuudelle optimoitu vahvistin, joka vahvistaa myös 600 MHz:lle optimoitua perhosdipoliantennin vastaanottamaa signaalia. Suunnittelussa on myös otettava huomioon vahvistimen stabiilisuus, joka pyritään toteuttamaan niin, että se pysyisi yli 1:n UHF-taajuusalueella.



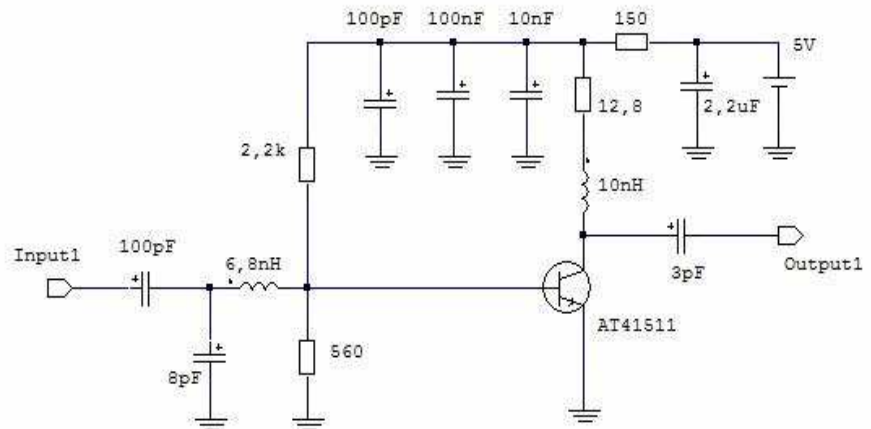
Kuva 21. LNA-vahvistimen stabiilisuus APLACilla esitetynä

LNA-vahvistin toteutettiin FR-4-piirilevyllä (epsilon = 4,6), joka on ominaisuuksiltaan samanlainen kuin perhosdipolin piirilevy. Piirin komponenttien arvot laskettiin APLACilla Smithin-diagrammin avulla. Aplacilla laskettiin piirin toiminnan keskitaajuus, jonka jälkeen piirilevy suunniteltiin CAD-ohjelmalla mahdollisimman pieneksi, jotta signaalin kulku olisi mahdollisimman lyhyt. Tätä varten myös komponentit olivat pintaliitoskomponentteja, jotka juotettiin piirilevyn pintaan. Maataso toteutettiin toiselle puolelle piiriä, joka vedettiin läpivientinä komponenteille.



Kuva 22. LNA-piiri

Piirikaaviossa olevat 100pF:n, 100nF:n ja 10nF:n kondensaattorit estävät piiriä resonoimasta. Vahvistimen toimintataajuus oli 650 MHz ja vahvistus tällä taajuudella oli 11,4 dB (käyttöjännitteellä 9 V). Kohinaluku taajuudella 650 MHz oli 4,6 dB. Käyttöjännite oli 5 V, transistorin tasavirta 25 mA ja vahvistuskerroin  $\beta = 50$ .



Kuva 23. LNA-vahvistimen piirikaavio

LNA-vahvistin suunniteltiin vahvistamaan yli 10 dB:n taajuusvälillä 500 MHz-650 MHz.

LNA:n vahvistus (G) ja kohina (NF) eri taajuuksilla:

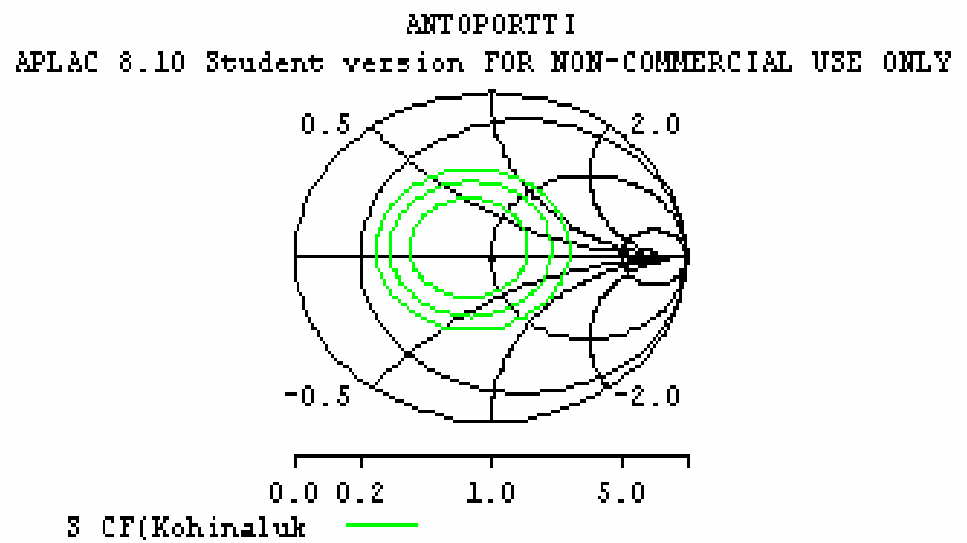
f (MHz)	G (dB)	NF (dB)
500	10,9	3
550	11,4	3,2
600	11,6	3,6
650	10,8	4,6
710	8,6	5,9
750	7,4	6,8
800	5,6	8

Kuva 24. LNA-vahvistimen vahvistus ja kohina

## 6.1 LNA-vahvistimen kohina

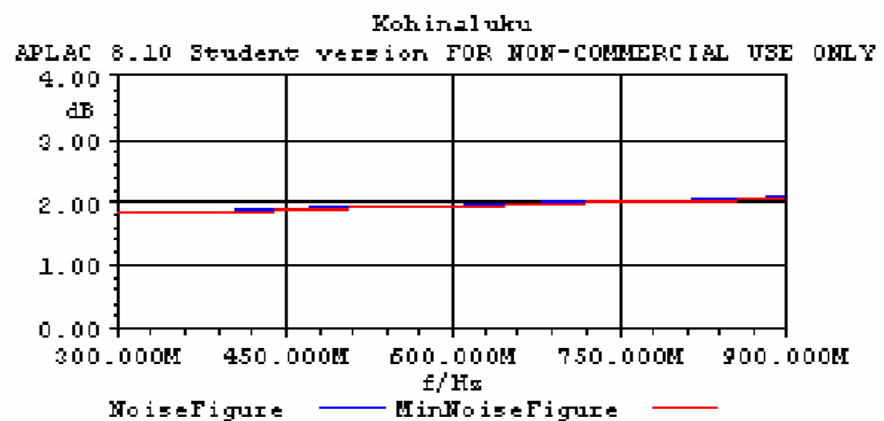
Vahvistimen komponentit voidaan sovittaa käyttämällä smithin-diagrammia, mutta nykyään on olemassa ohjelmia, joilla voidaan simuloida komponenttien sovitus kuten APLAC. APLACilla suunniteltiin vahvistin, joka olisi mahdollisimman vähäkohinainen ja stabiili.

APLACilla sovitetaan olemassa olevia komponentteja piiriin. Simuloimalla piirissä olevia osia saadaan teoreettiset arvot LNA:n toiminnasta. Ohjelmalla optimoitiin 650 MHz:n taajuudella piirissä olevat komponentit. Smithin diagrammi näyttää vahvistimen kohinaluvun.



Kuva 25. Kohinan optimointi APLACilla

Sovituksen jälkeen simuloidaan arvot, jotka APLAC antaa graafisesti esitettynä.



Kuva 26. LNA-vahvistimen kohinaluku APLACilla esitettynä

Komponenttien ominaisuudet asettavat suunnittelulle rajat, koska suunniteltaessa piiriä joudutaan turvautumaan kaupallisten komponenttien ominaisuuksiin. Tämän takia piirin täydellinen optimointi ei aina onnistu.

## 6.2 LNA-vahvistimen stabiilisuus

Vahvistimessa stabiilisuus on vahvistuksen kanssa tärkeimpiä ominaisuuksia. Vahvistin ei saa resonoida missään vaiheessa. Ehtona stabiilisuudelle on:

$$\frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} > 1 \quad (5.1)$$

missä

$$|\Delta| = |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}| < 1$$

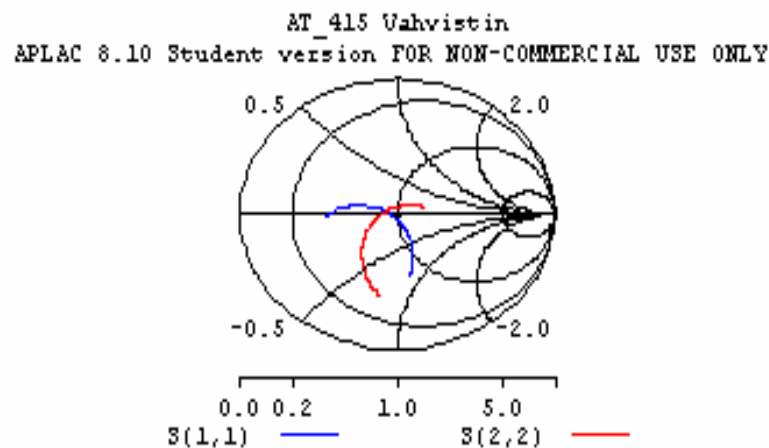
$S_{11}$  = sisään menon heijastuskerroin kompleksilukuna

$S_{12}$  = jännitevahvistus lähdöstä tuloon

$S_{21}$  = jännitevahvistus tulosta lähtöön

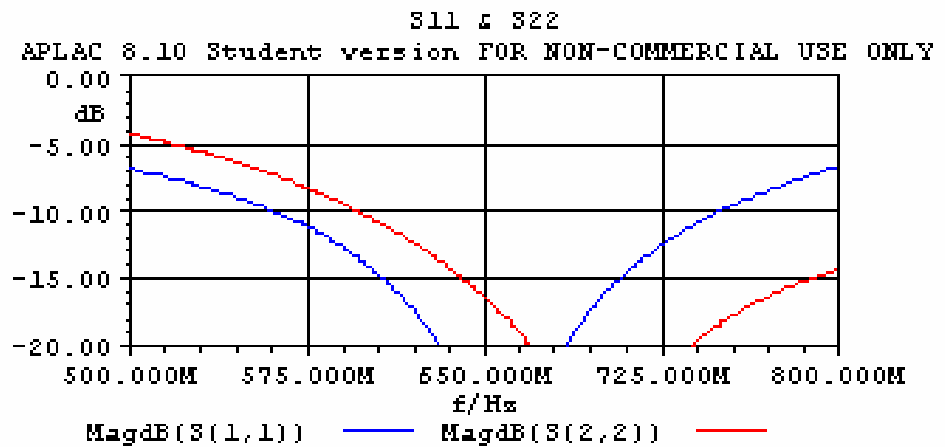
$S_{22}$  = ulostulon heijastuskerroin

Sisään menevän ja ulostulevan heijastuksen on oltava mahdollisimman pieni, jotta stabiilisuus saavutetaan. Arvot tulee olla mahdollisimman lähellä Smithin diagrammin keskustaa.



Kuva 27. Heijastuskertoimet Smithin diagrammissa

Stabiilisuus toteutettiin piirin lisätyillä vastuksilla. Tärkeää suunnittelussa on, että sisään tuleva signaali ei heijastu takaisin antenniin.



Kuva 28. Heijastukset APLACin simuloimalla

## 7 ANTENNIN MITTAAMINEN

Antennin mittaaminen on usein ainoa tapa selvittää antennin ominaisuudet. Antennin ominaisuuksiin kuuluu polarisaatio, suuntakuviot ja vahvistus. Ominaisuuksien laskeminenkin on mahdollista, mutta valmistuksessa ja suunnittelussa tulee kuitenkin virheitä, joita ei voida ottaa huomioon laskennassa. Antennien mittaustekniikka on yhtä laaja kuin erilaisten antennien sovellukset. On olemassa erilaisia mittaustaikkoja ja -menetelmiä antennien ominaisuuksien mittaamiseen. Antennin käyttämä taajuus ja antennin vaatima koko sulkee pois joitakin mittausten menetelmiä. Antennin säteilemällä kentällä on amplitudi, vaihe ja suunta, jotka riippuvat ajasta ja paikasta. Yleensä antenni on tarkoitettu pitkille etäisyyksille, joten lähettävän ja vastaanottavan antennin pitää olla mittaauksissa riittävän etäällä toisistaan. Reaktiivisessa lähikentässä ja säteilevässä lähikentässä (Fresnelin alue) antennin säteilyominaisuudet riippuvat näissä kentissä etäisyydestä. Tämän takia antennien on oltava riittävän etäällä toisistaan. Kaukokentässä (Fraunhoferin alue) antennin säteilyominaisuudet eivät ole riippuvaisia etäisyydestä. Antennin säteilemät kentät voidaan mitata, jos antennit sijaitsevat vähintään

$$\frac{2D^2}{\lambda} \tag{7.1}$$

missä

$D$  = antennin suurin mitta

$\lambda$  = aallon pituus

päässä toisistaan. Kaukokentässä kenttä muistuttaa tasoaaltoa, jolloin voidaan mitata suuntakuvio, vahvistus ja polarisaatio ilman, että etäisyys vaikuttaisi näihin.

Mitattaessa antennoja käytetään hyväksi resiprookkisusteoreemaa, eli teoreemaa, jonka mukaan antennien ominaisuudet ovat samoja sen toimiessa lähetys- tai vastaanottoantennina. Mitattavia suureita ovat suuntaavuus ( $D$ ), vahvistus ( $G$ ) ja polarisaatio ( $E$ ). [8, s. 169.]

## 7.1 Suuntaavuus

Suuntaavuus voidaan laskea suuntakuviosta, joka kuvaa antennin säteilemän tehotiheyden  $P(\theta, \Phi)$  tai kenttävoimakkuuden  $E(\theta, \Phi)$  kulmariippuvuutta. Suuntakuviosta voidaan päätellä pääkeilan suunta, 3 dB:n keilanleveys, sivukeilojen ja nollakohtien tasot ja sijainnit sekä keilahyötysuhde. Suuntaavuus saadaan laskemalla suuntakuviosta integroimalla.

$$D = \frac{4\pi}{\iint_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega} \quad (7.2)$$

missä

$D$  = suuntaavuus

$P_n(\theta, \Phi)$  = tehotiheys

$d\Omega$  = avaruuskulman alkio.

Kaavassa 7.2 lasketaan suuntaavuus integroimalla yli koko avaruuskulman  $4\pi$ .

Suuntaavuus ei ole tärkeimpiä ominaisuuksia antennissa, koska vahvistuksen ollessa hyvä, voidaan antenni suunnata mihin ilmansuuntaan tahansa. [9, s. 171.]



## 7.2 Vahvistus

Vahvistus  $G$  on pääkeilan tehotehden suhde häviöttömän isotrooppisen antennin säteilemään tehoon. Häviötön antenni säteilee saman tehon, kuin antenni vastaanottaa. Todellisuudessa metallipinnat ja dielektriset aineet vähentävät tehoa, joten vahvistus on suuntaavuutta pienempi. Vahvistus voidaan laskea, kun tiedetään pääkeilan suunnassa oleva vahvistus.

$$P_{rx} = P_{tx} \cdot G_{tx} \cdot G_{rx} \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \quad (7.3)$$

missä

$P_{rx}$  = vastaanotettu teho

$P_{tx}$  = lähetys teho

$G_{tx}$  = lähetys antennin vahvistus

$\lambda$  = aallonpituus

$r$  = antennien välinen matka metreinä.

Kaavan logaritminen muoto on

$$20 \lg G + 20 \lg \left( \frac{\lambda}{4\pi r} \right) = P_{rx} (dB) - P_{tx} (dB) \quad (7.5)$$

Vahvistus ilmoitetaan muodossa dBi, jossa  $i$  ilmoittaa vahvistuksen suhteessa isotrooppiseen antennaan.

Vahvistus  $G$  jaetaan suuntaavuudella, jolloin saadaan säteilyhyötysuhde. Mitä lähempänä ykköstä säteilyhyötysuhteen arvo on sitä parempi vahvistus.

$$\eta_r = \frac{G}{D} \quad (7.6)$$

missä

$\eta_r$  = säteilyhyötysuhde

D = suuntaavuus

Vahvistus on tärkeimpiä ominaisuuksia antennia mitattaessa ja suunniteltaessa. Vahvistus kertoo antennin kyvyn vastaanottaa heikkoja signaaleita. [9, s. 171.]

### 7.3 Polarisaatio

Polarisaatio kuvaa antennin säteilemän sähkömagneettisen kentän käyttäytymistä. Sähkökenttävektori voidaan jakaa kahteen vektoriin, jotka ovat toisiaan vastaan kohtisuorassa. Kohtisuoraan toisiaan vastaan olevilla vektoreilla voidaan kuvata ajan suhteen sinimuotoista sähkökenttää seuraavasti:

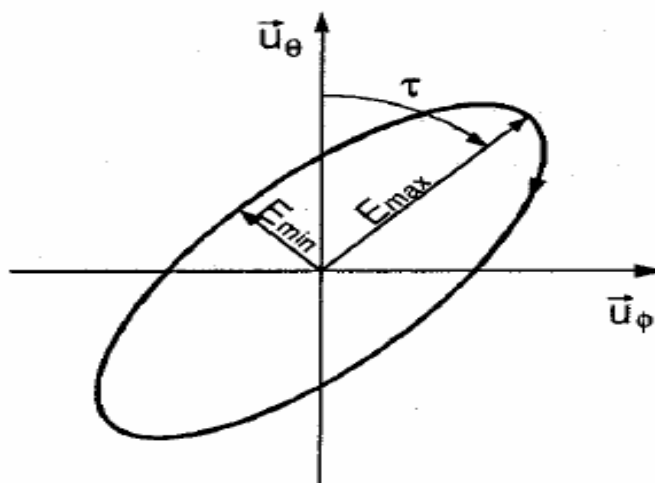
$$\vec{E}(t) = E_{\theta} \cos \omega t \cdot \vec{u}_{\theta} + E_{\phi} \cos(\omega t + \delta) \cdot \vec{u}_{\phi} \quad (7.7)$$

missä

$\vec{u}_{\theta}$  ja  $\vec{u}_{\phi}$  = yksikkövektoreita

$\vec{E}_{\theta}$  ja  $\vec{E}_{\phi}$  = sähkökentän vektoreita

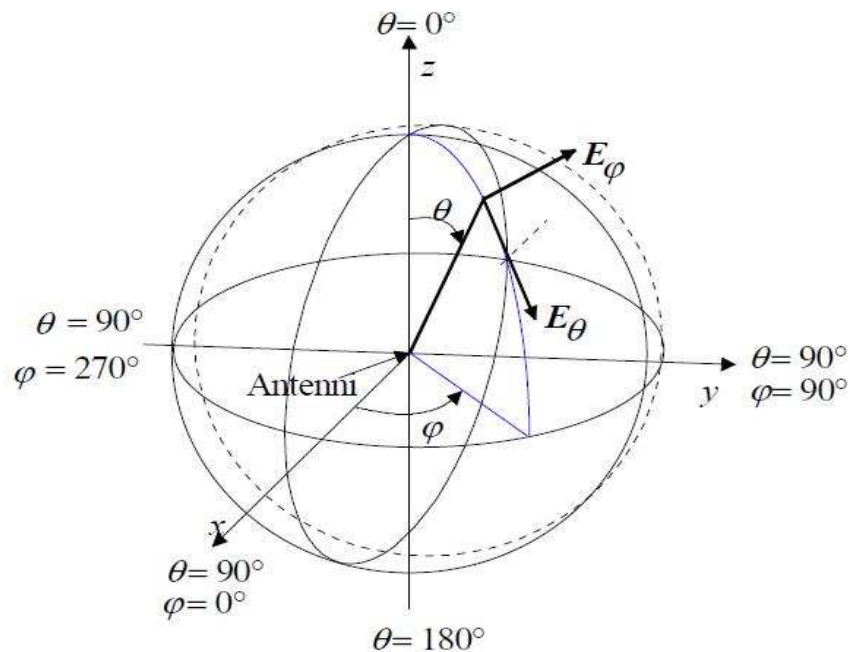
$\delta$  = kenttävektorin pyörimissuunta



Kuva 29. Polarisaatioellipsi

Näin ollen  $E_\theta$ :n ollessa nolla kyseessä on vaakapolarisaatio ja  $E_\phi$ :n ollessa nolla on kyseessä pystypolarisaatio. Polarisaatio voi olla lineaarinen, myötäpäivään pyörivä kenttävektori (oikeakätinen polarisaatio) tai vastapäivään pyörivä kenttävektori (vasenkätinen polarisaatio). Elliptistä polarisaatiota kuvataan akselisuhteella  $E_{\max}/E_{\min}$ , pyörimissuunnalla ja kallistuskulmalla  $\tau$ .

Pääpolarisaation kuvio saadaan mitattua, kun vastaanotto- ja lähetysantennien polarisaatiotasot ovat samat.



Kuva 30. Pallokordinaatisto

Antenni on suunniteltu toimimaan määrättyllä polarisaatiolla. Vastaanotetun signaalin polarisaation ollessa sama kuin vastaanottoantennin määrätty polarisaatio ei synny epäsovittua. Tällöin polarisaatio sovituu antenniin. [9, s. 171; 172.]

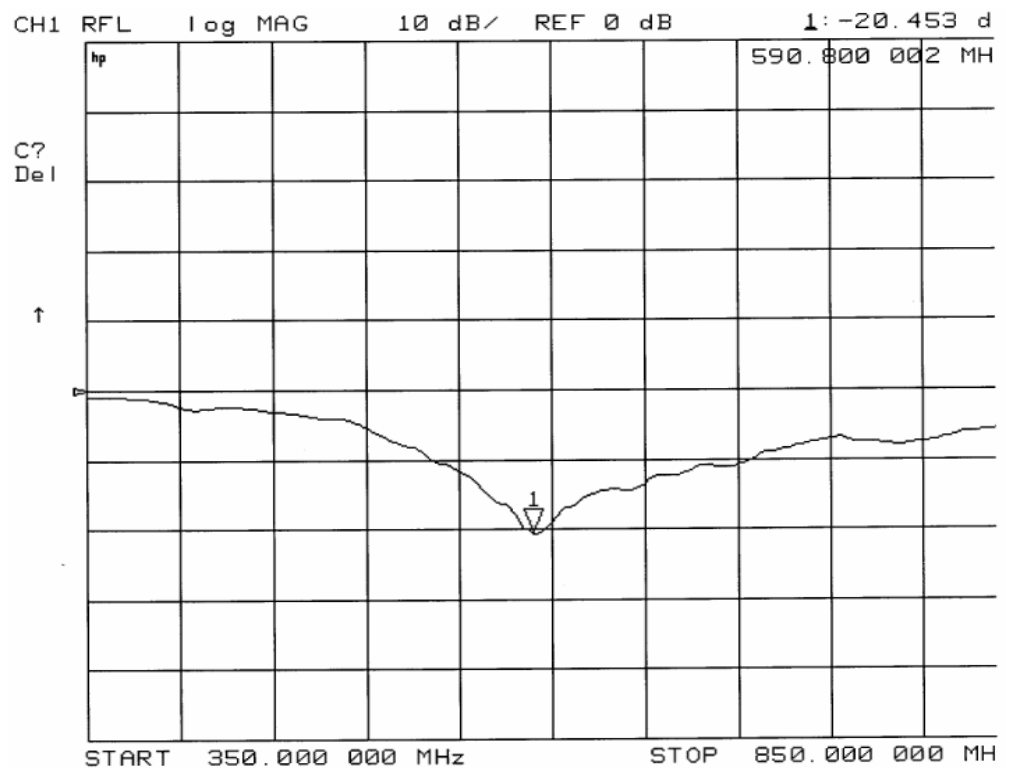
## 8 ANTENNIN VALMISTUS JA MITTAAMINEN

Antenni valmistettiin FR-4-piirilevylle (lasikuitulaminaatti), joka on 1,5 mm paksu. FR-4 piirilevyssä kuparin paksuus piirilevyn pinnalla on 35  $\mu\text{m}$  ja  $\epsilon_r = 4,7$  (suhteellinen permittiivisyys). CAD-sovelluksella piirrettiin antenni tarkasti mittojen mukaan, joka tulostettiin kalvolle. Piirilevy valotettiin kalvon läpi, jonka kehitys tapahtui piirilevylle natriumhydroksidiliuoksella. Näin toimimalla

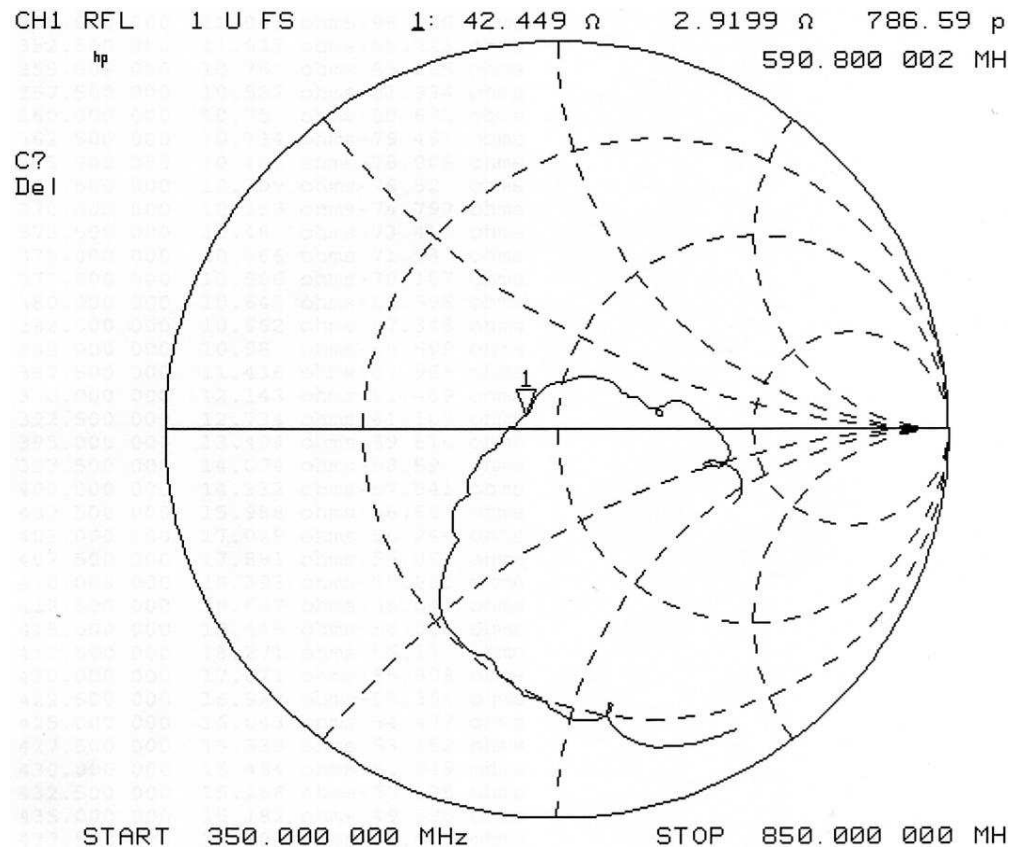
saatiin antennikuvio piirilevyllä tarkasti mittojen mukaan. Kehitetyn piirin haiputus tapahtui ferrikloridilla.

### 8.1 Perhosdipolin ominaisuudet

Perhodipolista valmistettiin kaksi antenna, jotka eivät sisältäneet vielä tässä vaiheessa baluuneita. Antenneista mitattiin impedanssi ja heijastukset. Heijastus määrättyllä taajuudella pyrittiin saamaan mahdollisimman pieneksi. Heijastus on noin -20 dB ja impedanssi noin 43 ohmia 590 MHz taajuudella.



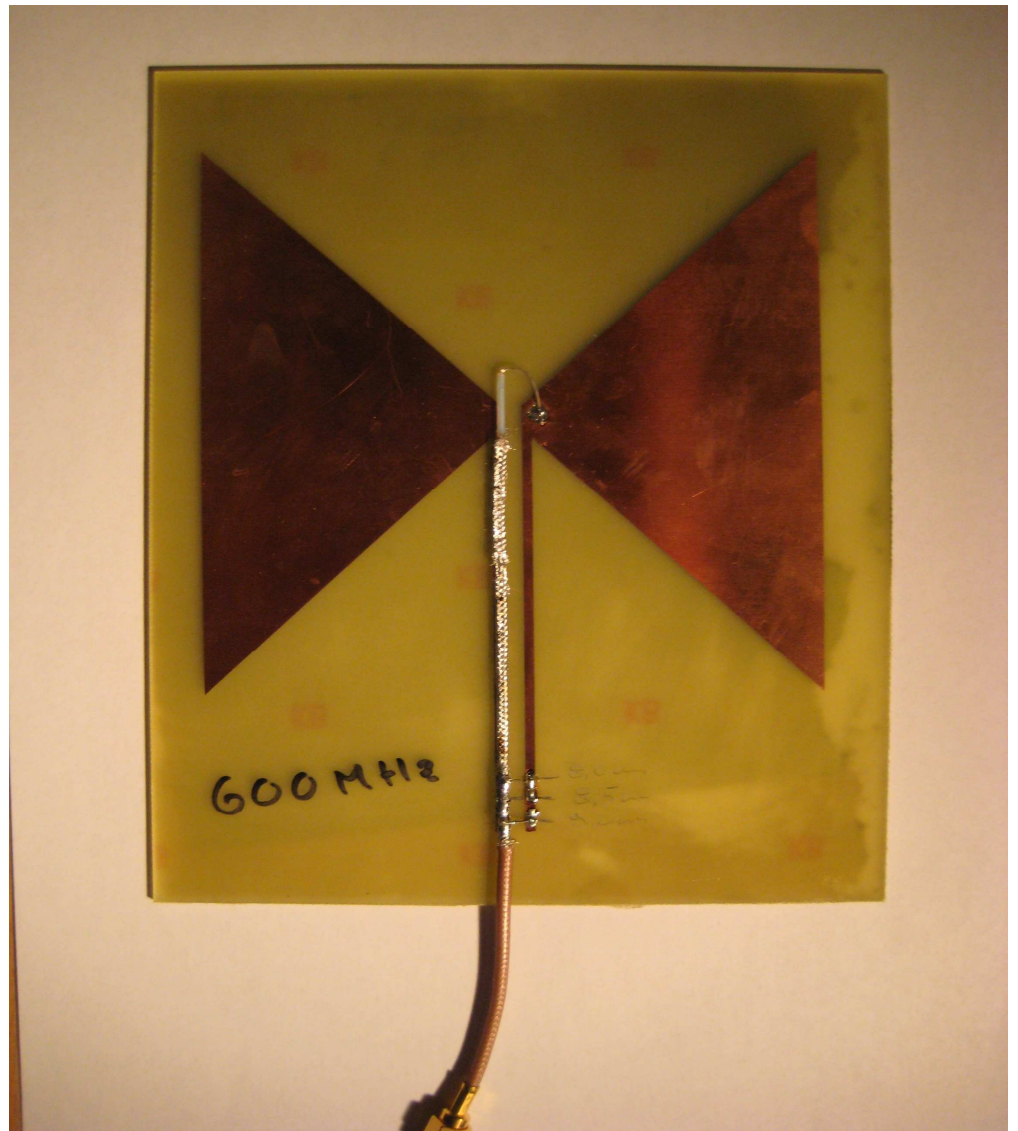
Kuva 31. Perhosdipoliantennin heijastus



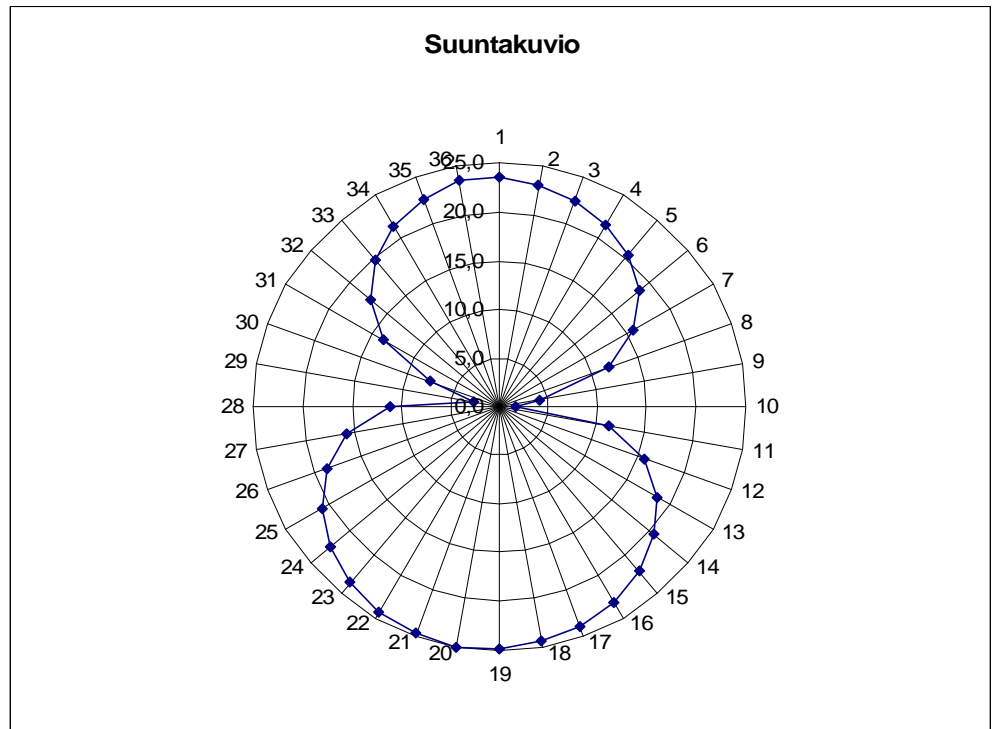
Kuva 32. Perhosdipoliantennin impedanssi

Antennit mitattiin vektoripiirianalysaattorilla, jolla saatiin edellä mainitut kuvat. Kuvista pääteltiin antennin olevan lähellä suunniteltua antennia, jonka ominaisuudet vastasivat suunniteltuja arvoja. Kuvien perustella optimoitiin antenni määrätyle taajuudelle (600 MHz).

Uudet antennit valmistettiin edellisten mittausten arvojen mukaan, joihin lisättiin baluun. Baluunin pituudeksi saatiin 9 cm, jonka arvo laskettiin APLAC-sovelluksella. Ohjelmassa käytettiin niin sanottua liukusäädintä, jolla baluunin pituus saatiin lasketuksi. Baluun suunniteltiin CAD-ohjelmalla kalvolle, joka valotettiin uudelleen piirilevyille. Piirilevyille baluunin päälle juotettiin 50 ohmin koaksiaalikaapeli antenniliitäntää varten. Piirilevyn valmistuksen jälkeen mitattiin uudelleen heijastus. Merkittäviä muutoksia antenniin ei tullut.



Antennin suuntakuvio mitattiin radiokaiuttomassa huoneessa, jotta häiriötekijät voitiin sulkea pois. Mittauksissa käytettiin lähetyksantennina samanlaista antennia kuin vastaanotossa. Mittaamisessa tärkeää oli varmistaa liittimien ja johtojen kunto, jotta mittauksesta saadaan mahdollisimman tarkka.

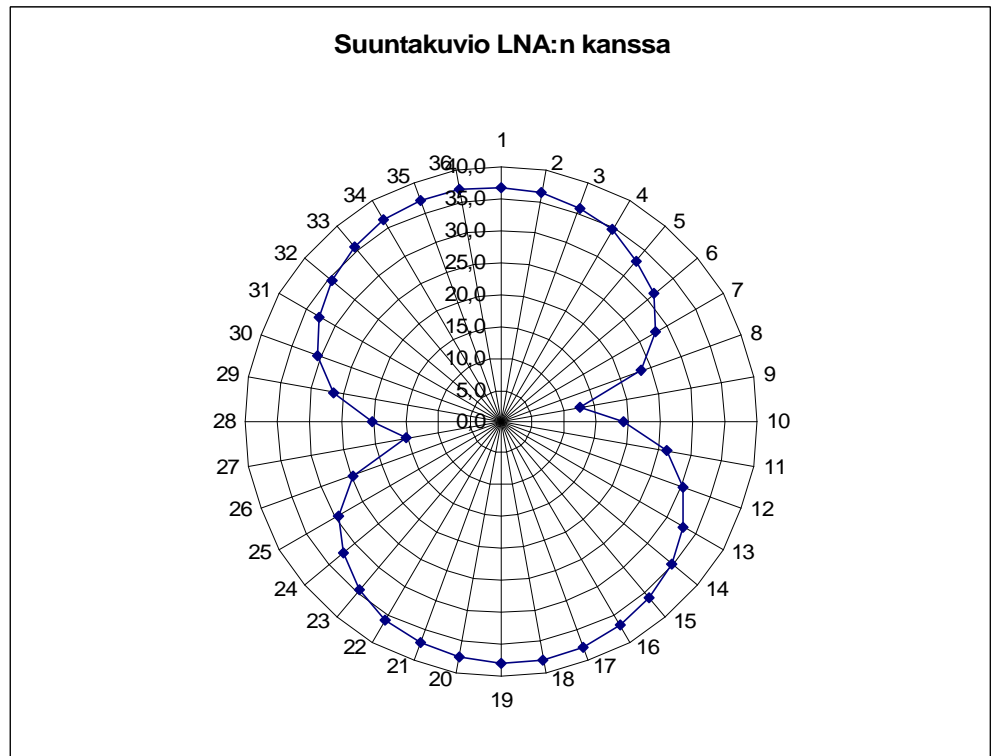


Kuva 33. Antennin suuntakuvio E-tasossa

## 8.2 Aktiivisen antennin ominaisuudet

Aktiiviseen antenniin kuuluu vahvistin, joka vahvistaa antennin vastaanottaman signaalin. Antenniin suunniteltiin LNA-vahvistin, joka optimoitiin 650 MHz taajudelle. LNA suunniteltiin vahvistamaan yli 10 dB:iä. Vahvistimen ominaisuuksia mitattiin radiokaiuttomassa huoneessa.

Mittaukset tehtiin radiokaiuttomassa huoneessa, jotta mittaus olisi mahdollisimman tarkka. E-tasossa 600 MHz:llä LNA vahvistaa keskimäärin 13,3 dB:iä. Suunta-antennin vahvistus voidaan laskea kaavan 7.5 mukaan. Antennista mitataan  $A_{\max}$  ja  $A_{\min}$ , joiden erotus on suunta-antennin ristipolarisaatiovaimennus pääkeilan maksimisuunnassa. Tuloksesta vähennetään lähetetty teho, josta saadaan vertailuteho isotrooppiselle antennille.



Kuva 34. E-tason suuntakuviio vahvistimen kanssa

### 8.3 Digi-tv-lähetteen vastaanotto

Vertailuantennina käytettiin yagi-antennia, joka mitattiin normaaliolosuhteis-  
sa (luokassa). Vertailu tehtiin ranskalaisten kehittämällä mittarilla, jolla voitiin  
mitata vastaan otetun signaalin taso dBuV:ssa sekä kantoaallon ja kohinan  
suhde C/N desibeleissä. Mittaustulokset ovat alla:

Taajuus(MHz)	Triax Yagi 10 UHF	
	C/N (dB)	P (dBm)
562MHz	44.1 dB	-52.65 dBm
658MHz	43.8 dB	-52.55 dBm
674MHz	41.2 dB	-55.55 dBm
730MHz	40.8 dB	-56.05 dBm



Taajuus(MHz)	Perhosdipoli	
	C/N (dB)	P (dBm)
562MHz	42.3 dB	-54.15 dBm
658MHz	38.5 dB	-58.35 dBm
674MHz	35.5 dB	-61.15 dBm
730MHz	33.2 dB	-63.15 dBm
Taajuus(MHz)	Perhosdipoli + LNA	
	C/N (dB)	P (dBm)
562MHz	44.5 dB	-41.25 dBm
658MHz	40.9 dB	-48.75 dBm
674MHz	35.0 dB	-51.75 dBm
730MHz	37.4 dB	-57.75 dBm

Mittauksista voitiin päätellä, että vertailuantenni ja perhosdipoli LNA:lla ovat keskimäärin yhtä hyviä. Mittauksista todettiin, että kohina on radioyhteydeltä tuleva ominaisuus, jota ei saa pois vahvistuksella. Kohinan ja kantoaallon suhteen pudotessa alle -30 dB:n kuva häviää tai menee rakeiseksi.

## 9 YHTEENVETO

Tämän insinööritöiden tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa toimiva aktiivinen perhosdipoliantenni. Suunnittelussa käytettiin olemassa olevia sovelluksia ja niissä olevia skriptejä.

Työn tarkoitus oli perehtyä dipoliantennien ominaisuuksiin ja kehittää parempi antenni kuin markkinoilla olevat antennit. Suunnittelussa otettiin huo-

mioon antennin ominaisuudet teoriassa ja pyrittiin rakentaa mahdollisimman hyvä antenni.

Työssä suunniteltiin kaksi erillistä piiriä, jotka yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. LNA-vahvistin ja antenni. LNA-vahvistin suunniteltiin mahdollisimman vähäkohinaiseksi vahvistuksen kustannuksella. Antenni suunniteltiin ja toteutettiin tarkasti jotta ominaisuudet, jotka laskettiin teoriassa saataisiin toteutettua antennissa.

Ominaisuuksia ei niinkään laskettu vaan pyrittiin hyödyntämään Matlab- ja APLAC-sovellusta. Antenni mitattiin radiokaiuttomassa huoneessa virheiden minimoimiseksi.

Työn tavoitteisiin päästiin ja antennia testattiin normaaliolosuhteissa. Antennin ominaisuudet täyttyivät yli odotusten ja antenni saatiin toimimaan kotitaloudessa.

Materiaalit työhön olivat niukasti saatavilla, koska esimerkiksi baluunista kerotavaa kirjaa ei ole julkaistu suomeksi. Englanninkielisiäkin oli harvassa, joissa ei esiintynyt matemaattista teoriaa baluuneista.

**VIITELUETTELO**

- [1] Digita Oy, Yhtiön esittely [verkkodokumentti, viitattu 7.11.2009]. Saatavissa: [http://www.digita.fi/digita\\_dokumentti.asp?path=1840;2249;3795](http://www.digita.fi/digita_dokumentti.asp?path=1840;2249;3795).
- [2] Digita Oy, Pääasemat ja kanavaniput [verkkodokumentti, viitattu 7.11.2009] Saatavissa: <http://www.digitv.fi/sivu.asp?path=1;8224;9519>.
- [3] Karttunen, Hannu; Koistinen, Jarmo; Saltikoff, Elena; Manner, Olli; Ilmakehä, sää ja ilmasto. URSA 2008.
- [4] STUK, Antennien säteilyt [verkkodokumentti, viitattu 11.7.2009] Saatavissa: [http://stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/kirjasarja/fi\\_FI/kirjasarja6/files/12222632510021211/default/6\\_Liitteet.pdf](http://stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6/files/12222632510021211/default/6_Liitteet.pdf).
- [5] H, Iizuka; T, Watanabe; K, Sakakibara; N, Kikuma; IEEE Antennas and wireless propagation letters, VOL.5, 2006; Stub-Loaded Folded dipole antenna for Digital Terrestrial TV reception.
- [6] Saunders, Simon R; Antennas and propagations for wireless communication systems. 1. painos. Wiley: England. 1999.
- [7] Makarov, Sergey N; Antenna and EM modeling with MATLAB. 1.painos. Wiley: Canada. 2002.
- [8] Davidson, David B; Computational electromagnetics for RF and microwave engineering. 1.painos. Cambridge 2005.
- [9] Lehto, Arto; Räsänen, Antti; RF- ja mikroaaltotekniikka (547). 5 korjattu painos. Helsinki 2001.

