

Jyri Karppinen

LF- JA MF-ALUEEN ANTENNIVAHVISTIN

Insinöörityö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Tietotekniikan koulutusohjelma

Kevät 2006



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Jyri Karppinen	
Työn nimi LF- ja MF-alueen antennivahvistin	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Langaton tiedonsiirto	Ohjaaja(t) Jukka Heino Toimeksiantaja Ismo Talus
Aika Kevät 2006	Sivumäärä ja liitteet 32 + 3
<p>Insinööriyön aiheena oli suunnitella ja rakentaa antennivahvistin. Antennivahvistin sijoitetaan sondi-antennin yhteyteen, jonka tarkoituksena on ottaa vastaan ja vahvistaa radiosignaaleja taajuusalueella 100 kHz - 10 MHz. Insinööriyö tehtiin Kajaanin ammattikorkeakoululle.</p> <p>MF- ja LF-alueen signaaleja otetaan vastaan yleensä lanka-, maataso- tai kehäantennilla. Vastaanotettu radiosignaali viedään vahvistinyksikölle, jonka avulla radiosignaali vahvistetaan ja syötetään radiovastaanottimelle. LF- ja MF-taajuusalueet sijaitsevat lähellä toisiaan, ja niiden avulla saadaan yhteyksiä pitkien matkojen päähän. Taajuusalueet käyttävät etenemisessä hyväksi ionosfäärin eri kerroksia. Alueilla saadaan parhaat yhteydet yöaikaan, jolloin ilmakehän alemmat kerrokset ovat häipyneet.</p> <p>Vahvistinyksikkö koostui kahdesta eri osiosta jännitevahvistimesta ja tehovahvistimesta. Jännitevahvistin rakennettiin BF245B FET-transistorin ympärille ja tehovahvistin 2N3906 transistorin ympärille.</p> <p>Vahvistimen esitestaus suoritettiin signaaligeneraattorin ja oskilloskoopin avulla tiedonsiirtolaboratoriossa. Testauksessa mitattiin vahvistimen taajuuskaista ja todettiin vahvistinyksikön vahvistavan haluttua taajuuskaistaa. Toiminnallisen vahvistinyksikön testaus toteutettiin signaaligeneraattorilla ja spektrianalysaattorilla, joiden avulla saatiin mitattua vahvistinyksikön taajuuskaista ja vahvistus. Vahvistimen todettiin vahvistavan haluttua taajuuskaistaa 100 kHz:n ja 10 MHz:n välillä. Vahvistusta saatiin vahvistinyksiköltä tarvittava 10 dB.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	HF, LF, MF, vahvistin, antenni
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Jyri Karppinen	
Title An LF and MF Band Antenna Amplifier	
Optional Professional Studies Wireless Data Transmission	Instructor(s) Jukka Heino
	Commissioned by Ismo Talus
Date Spring 2006	Total Number of Pages and Appendices 32 + 3
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to design and build an antenna amplifier for an electric antenna. The thesis was made for Kajaani University of Applied Sciences. The goal for the thesis was to make it possible to receive and amplify frequency band from 100 kHz to 10 MHz.</p> <p>Usually MF and LF band frequencies are received in a wire antenna, a ground plane antenna or a loop antenna. From the antenna the radio signals are transmitted into an antenna amplifier and from there the radio signals are amplified and transmitted to a radio receiver. LF and MF frequency bands are located close to each other. With the help of these bands a radio connection for long distances can be reached. The best connections are made during night-time.</p> <p>The amplifier unit was constructed in two major units, a voltage amplifier and a power amplifier. The voltage amplifier was built around the BF245B field effect transistor and the power amplifier was built around the 2N3906 transistor.</p> <p>The amplifier was pre-tested using a signal generator and an oscilloscope. The final testing of the functional amplifier unit was made using a signal generator and a spectrum analyzer.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	LF, MF, HF, amplifier
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at The Library of Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> The Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Työn tekeminen oli haastavaa, vaikka tämän tyyppisiä antennivahvistimia on rakennettu maailmalla paljon. Materiaalin hankkiminen osoittautui kuviteltua hankalammaksi, johtuen suomenkielisen materiaalin vähydestä. Työn valmistumista avustivat useat henkilöt. Haluan kiittää erityisesti insinöörityön ohjaajani Jukka Heinoa, kielellisestä ohjauksesta Eero Soinista ja Kaisu Korhosta.

Suuret kiitokset kuuluvat myös perheelleni ja luokkakavereilleni. Ilman ulkopuolista näkökulmaa monet pienet virheet olisivat jääneet huomaamatta.

Kajaanissa keväällä 2006

Jyri Karppinen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 SÄHKÖMAGNEETTINEN AALTOLIIKE	8
2.1 Antennikäsite	8
2.2 Radioaaltojen etenemisestä	8
2.3 Sähkömagneettinen spektri	10
2.4 LF-, MF- ja HF-taajuusalueet	11
2.5 Maan magneettikenttä	12
2.6 Auringonpilkut	14
2.7 Auringonpilkkujakso	16
2.8 Antennityyppejä	17
3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU	23
3.1 Vahvistin	24
3.2 Micro-Cap-analyysi	25
3.3 Vahvistinyksikön asettelu	26
4 KYTKENNÄN TESTAUS	27
5 YHTEENVETO	30
LÄHDELUETTELO	31
LIITTEET	

KÄYTETYT TERMIT

Alue	Nimi	Taajuus	Aallonpituus/ λ
HF	High Frequency	3 - 30 MHz	100 - 10 m
LF	Low Frequency	30 - 300 kHz	10 000 - 1000 m
MF	Medium Frequency	300 - 3000 kHz	1000 - 100 m
NOAA	National Oceanic & Atmospheric Administration		

1 JOHDANTO

Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa laajakaista-antennin vahvistinyksikkö Kajaanin ammattikorkeakoululle. Antennin tarkoituksena on ottaa vastaan ja vahvistaa radiosignaaleja 100 kHz - 10 MHz:n välillä.

Vahvistinyksikkö suunniteltiin antennille, joka tulisi olemaan noin 1,2 m pitkä metallinen tanko halkaisijaltaan noin 1 cm. Vahvistinyksikkö sijoitettiin metalliseen laatikkoon, jotta se pysyisi suojassa sään vaihteluilta.

100 kHz - 10 MHz:n välillä toimii muun muassa YLEn pitkäaaltoasemia, eri radiomajakoita, merenkulun radioliikennettä sekä radioamatööreillä on oma kaistansa tällä alueella. Taajuusalueen loppupäässä on paljon sotilasradioliikennettä.

LF-, MF- ja HF-taajuusalueet sijaitsevat lähellä toisiaan ja niiden avulla saadaan yhteyksiä pitkien matkojen päähän. Taajuusalueet käyttävät etenemisessä hyväksi ionosfäärin eri kerroksia. Alueilla saadaan parhaat yhteydet yöaikaan, jolloin ilmakehän alemmat kerrokset ovat häipyneet.

2 SÄHKÖMAGNEETTINEN AALTOLIIKE

2.1 Antennikäsite

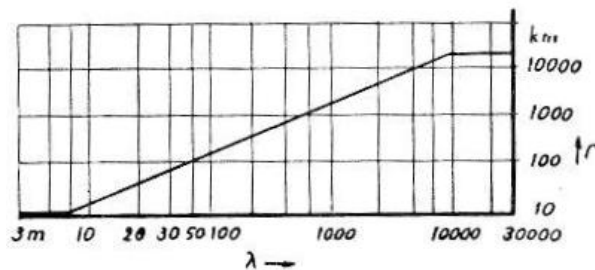
Sana antenni tulee latinankielisestä sanasta, joka on vastine purjelaivan raaka-puulle. Ensimmäinen tunnettu henkilö, joka käytti antennia, oli Benjamin Franklin. Hän sai vuonna 1752 aikaan kipinöitä leijan avulla ylös vedetystä lan-gasta ja siten ensimmäisen tuntuman ilmakehän sähköisyyteen. 135 vuotta myöhemmin Heinrich Hertz kokeili antennia desimetriaalloilla ja käytti dipolia heijastimella varustettuna ja ilman. Vasta vuosia myöhemmin antennoja alettiin käyttää Marconin lennättimessä tiedostetusti sekä lähetys- että vastaanottopuo-lelta, joskaan niissä ei ollut mitään ulkoisia yhtäläisyyksiä Hertzin käyttämiin dipoleihin verrattuna. [1, s. 11-12.]

Kuitenkin ajan mittaan on siirrytty käyttämään yhä lyhyempiä ja lyhyempiä aalto-ja, jotka ovat samaa suuruusluokkaa käytettyjen antennimittojen kanssa, ja rin-nan niiden käytön kanssa on kehitelty antennien teoriaa, sen sijaan että aikai-semmin tutkimukset olivat pelkästään kokeellisia. Hertzin ajoista lähtien antenni on ollut ja myös tulevaisuudessa tulee olemaan tärkein suurtaajuuslaite siirryttäessä langallisesta yhteydestä langattomaan. [1, s. 11-12.]

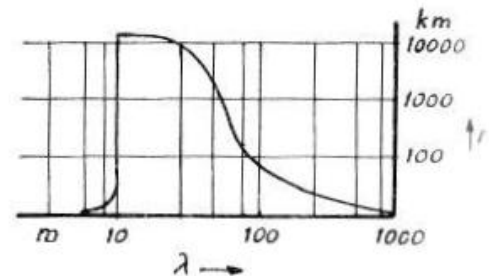
2.2 Radioaaltojen etenemisestä

Radioaallot ovat sähkömagneettista aaltoliikettä, joka etenee lähes valonno-peudella suoraviivaisesti eteenpäin. Antennin synnyttämät sähkömagneettiset aallot etenevät antenniin osittain pinta-aaltolina ja osittain avaruusaaltolina. Kumpaa tietä lähetysenergia saapuu vastaanottopäähän, riippuu ensisijassa käytetystä aaltopituudesta. Pinta-aallot ovat varsin vakaita ja etenevät maan pinnan suunnassa vaimentuen maanlaadusta, -peitteestä ja -profiilista riippuen sitä nopeammin, mitä pienemmäksi aaltopituus tehdään. Tämä nähdään ylei-

sesti kuvan 1a esittämästä käyrästä, joka esittää pinta-aallon keskimääräisen kantavuuden riippuvaisena aallonpituudesta. Kuvassa 1b on esitetty avaruusaaltojen keskimääräinen kantavuus aallonpituuden funktiona. [2.]

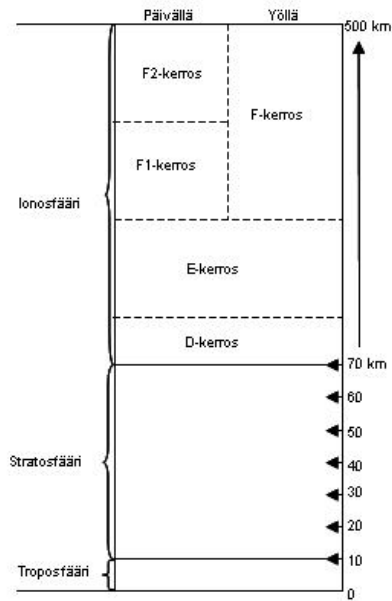


Kuva 1a. Pinta-aalto. [2]



Kuva 1b. Avaruusaalto. [2]

Lyhytaallolla radioaaltojen eteneminen tapahtuu etupäässä ionosfääristä heijastumalla. Ionosfääriksi sanotaan vyöhykettä noin 65 kilometristä lähes 1000 kilometriin saakka maanpinnan yläpuolella. Ionosfääri muodostuu nimensä mukaisesti ionisoituneista kaasumolekyyleistä, joissa on yksi tai useampi atomiydin. Ionosfääri jaetaan neljään eri kerrokseen (kuva 2), jotka ovat F1-, F2-, E- ja D-kerros. F-kerros on yöllä yhtenäinen ja on 250...350 km korkeudella, F-kerros jakautuu päivällä kahdeksi eri kerrokseksi, joita kutsutaan F1- ja F2-kerroksiksi. F1-kerros on 140...250 km ja F2-kerros 250...350 km korkeudella. E-kerros sijaitsee F-kerroksen alapuolella ja esiintyy 90...140 km korkeudella. E-kerroksen alapuolella on D-kerros, joka on 50...90 km korkeudella. D-kerroksessa tapahtuu suurin vaimeneminen. Esimerkiksi keskiaaltojen etenemisen puuttuminen ei johdu heijastavien kerrosten puuttumisesta, vaan D-kerroksen voimakkaasta absorptiosta. Radioaallot imeytyvät D-kerrokseen pääsemättä takaisin maan pinnalle. [3, s. 53.]



Kuva 2. Maapalloa ympäröivät kerrokset. [4, s. 14]

2.3 Sähkömagneettinen spektri

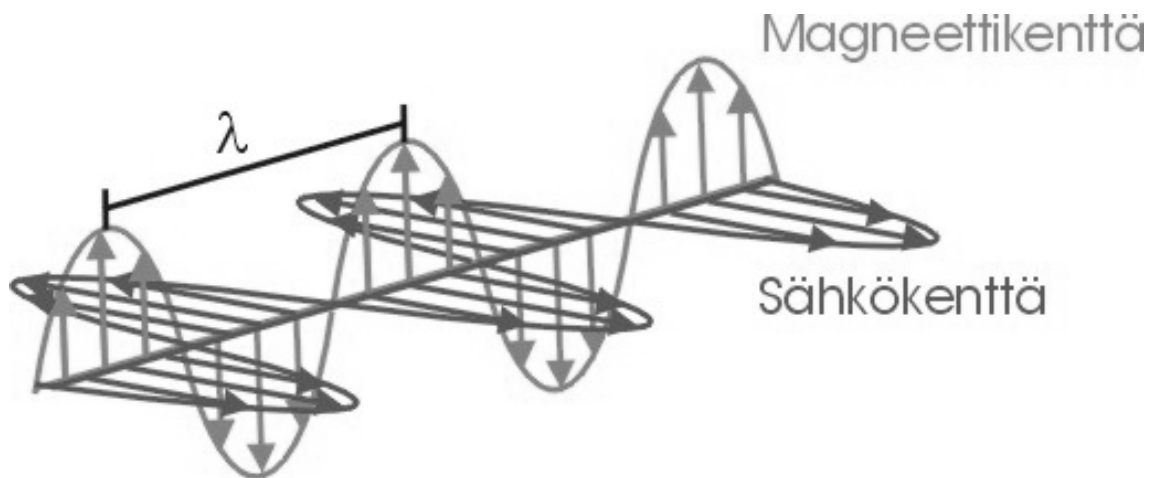
Sähkömagneettinen säteily on poikittaista aaltoliikettä, joka etenee valonnopeudella. Spektrissä on eri aallonpituusalueita, joita ovat mm. gammasäteily, röntgensäteily, ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily ja radioaallot. Säteilyn energia on sitä suurempi, mitä pienempi aallonpituus sillä on. [5.] Sähkömagneettisen säteilyn mukaan radioaalto on energian siirtoa paikasta toiseen. Sähkömagneettisen säteilyn kvantin energia on taajuuteen verrannollinen ja saadaan kaavasta

$$E = h * f , \quad (1)$$

missä $h = 6,6256 * 10^{-34} \text{ Js}$ on Plancin vakio ja f on taajuus.

Sähkömagneettiset aallot ovat seuraus magneettisen kentän ja sähköisen kentän vuorovaikutuksesta. Magneettikenttä kääntyy ja luo sähköisen kentän, joka taas muodostaa uuden kääntyessään magneettikentän ja niin edelleen kuvan 3 mukaisesti. Sähkömagneettisella säteilyllä on energiaa. Magneettikenttä ja sähkökenttä ovat 90° kulmassa toisiaan vastaan kulkusuuntaan nähden. Sähkömag-

neettisen aallon polarisaation suunta on määritelmän mukaan samansuuntainen kuin sen sähkökentän suunta. Aalto kulkee tyhjiössä 300 000 km/s. [6.]



Kuva 3. Magneettikentän ja sähkökentän komponentit. [5]

2.4 LF-, MF- ja HF-taajuusalueet

LF-alueella radioaallot etenevät pinta-aaltona 900 - 1 700 kilometriä. Antennit ovat kohtuullisen kokoisia ja aallonpituus on 10 - 1 km.

MF-alueella radioaallot etenevät pinta-aaltona lyhyehkön matkan 400 km, mutta tiedonsiirtokapasiteetti on edelleen pieni. Aallonpituus tällä taajuusalueella on 1000 - 100 m. Alueen alapäässä toimii edelleenkin ilmailun radiomajakoita 400 kHz:n molemmin puolin.

HF-alueella radioaallot etenevät pinta-aallon lisäksi avaruusaaltona. Ilmakehässä on 100 - 300 kilometrin korkeudessa ionisoituneita kerroksia, jotka heijastavat HF-alueen radioaaltoja. Tällä tavalla muutaman watin teholla saadaan yhteyksiä jopa maapallon toiselle puolelle. HF-alue on merkittävä sotilasliikenteessä.

Ongelmana ovat kaukoyhteyksien herkkyys ja heijastavien kerrosten vaihtelut vuorokauden, vuodenajan sekä auringonpilkkurytmin mukaan. Tämä tekee yh-

teyden varman saannin kahden pisteen välillä ammattitaitoa vaativaksi tehtäväksi. Lisäksi avaruusaalto tarkoittaa, että periaatteessa maailman kaikki samalla taajuudella olevat HF-radiot ovat kuultavissa lähes joka paikkaan. HF-alue on siis globaalissa mittakaavassa täynnä.

2.5 Maan magneettikenttä

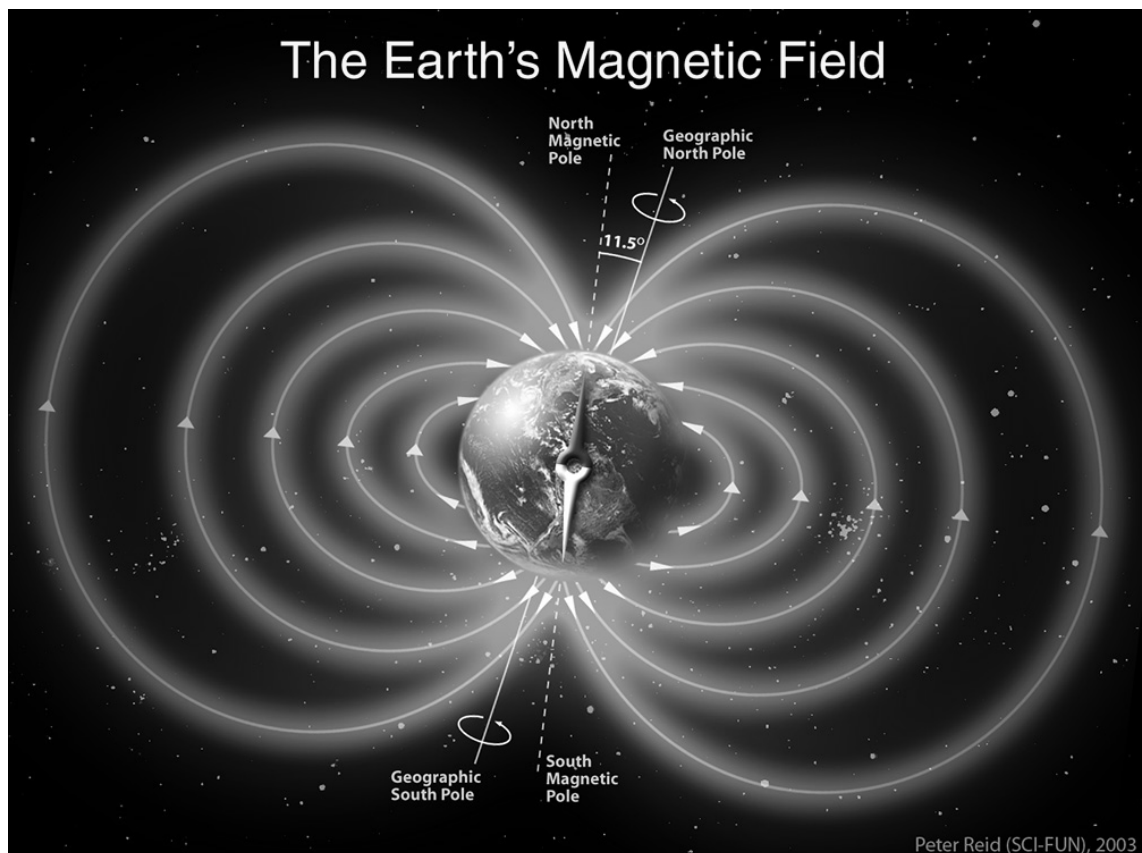
Aikaisimmat luotettavat havainnot maan magneettikentästä ovat 100-luvulta, kiinalaiselta tietosanakirjan kirjoittajalta Sho-Kualta, joka kuvaili magneetin suuntaominaisuuksia. Kiinalaisen mytologian mukaan ensimmäiset havainnot tapahtuivat jo 4500 vuotta aikaisemmin, noin vuonna 2600 eaa. [7.]

Kiinalaiset olivat ensimmäisiä senaikaisen kompassin käyttäjiä. Kompassi toimi siten, että magneettimalmista valmistettu lusikka laitettiin luistavalle pinnalle ja näin lusikka asettui pohjois-eteläsuuntaan. Tämän välineen nimi oli Xi Nan eli ”etelän kuvernööri” tai ”etelän ilmaisija”. Sitten syntyi kehittyneempiä malleja, kun opittiin magnetisoimaan rautaneuloja. Magnetoituneula asetettiin puualustalle, joka kellui vesiastiassa. Siinä sen oli mahdollista kääntyä helposti pohjois-eteläsuuntaan. Tätä käytettiin hyvin paljon purjehduksessa apuvälineenä. [8, s. 122-123.]

1600-luvulla William Gilbert, joka oli lääkäri Elizabeth I:n hovissa, julkaisi kirjan, joka käsitteli maan magneettikenttää. Vuonna 1741 Celsius ja Hiorter huomasi, että maan magneettikentän muutokset ilmenevät revontulina (engl. the Aurora Borealis tai Northern Lights). 1800-luvun loppupuolella alettiin yleisesti hyväksyä vaihtelut, jotka olivat tulleet tutuiksi magneettisina myrskyinä. Nämä vaihtelut alettiin yhdistää auringonpilkkujaksoon. Tämä auringonpilkkujakso on 11 vuoden jakso jolloin lasketaan auringonpilkkut silmämääräisesti. [7.]

Maapalloa ympäröi magneettikenttä, joka muistuttaa muodoltaan keskipisteesen kuvitellun sauvamagneetin (dipoli) kenttää. Dipolin akseli on kääntynyt noin 11° maapallon pyörimissuuntaan nähden. Kuvassa 4 on esitetty maan magneettikentän kenttäkuva. Todellisuudessa kenttä syntyy maapallon nesteytimessä n. 2900 km syvyydessä. Sinne syntyy dynamoperiaatteella miljardien ampeerien suuruisia sähkövirtoja, joiden aiheuttama magneettikenttä ulottuu kauas avaruuteen. [9.]

Ilman auringon vaikutusta maapallon magneettikentän kuva olisi säännöllinen perhosmainen kuvio. Maapallon magneettikentässä on sekä paikallisia että alueellisia poikkeamia. Paikalliset poikkeamat aiheutuvat kallioperän magneettisten mineraalien jakautumisesta maankuoressa. Alueelliset poikkeamat syntyvät maan ytimen pintaosassa kiertävistä sähkövirroista. Alueellisten poikkeamien muutokset ovat ajallisesti hitaita, mutta nämä muutokset otetaan huomioon suunnistajien kartoissa. [8, s. 123.]



Kuva 4. Maan magneettikenttä. [10]

Auringosta maapallon lähikenttään saapuva varattujen hiukkasten vuo eli aurinkotuuli säätelee ionosfäärin ja magnetosfäärin sähkövirtojen voimakkuutta. Hiukkasten määrä ja nopeus ovat riippuvaiset auringon aktiivisuudesta. Magneettisten myrskyjen esiintyminen ja voimakkuus riippuu auringon aktiivisuudesta. [8, s. 133.]

Aurinkotuulen hiukkasvirta yhdessä maapallon magneettikentän kanssa synnyttävät maapalloa ympäröivän magnetosfäärin, jonka sisäpuolelle maan kenttä rajoittuu. Aurinkotuulen ja maapallon magneettikentän vuorovaikutuksissa syntyy voimakkaita sähkövirtoja, joiden magneettiset vaikutukset nähdään maanpinnalla nopeasti muuttuvina magneettikenttinä eli magneettisina myrskyinä. Magneettiset myrskyt liittyvät siten aurinko-maa systeemin vuorovaikutusilmiöihin. [9.]

Magneettikentän vaihteluja seurataan magnetometreillä geomagneettisissa observatorioissa. Magneettikentän sisäsyntyistä hidasta muutosta sanotaan sekulaarimuutokseksi, joka vuodesta toiseen pysyy suunnilleen samana. Ilmatieteen laitos seuraa sekulaarisia muutoksia Nurmijärven geofysiikan observatorioon sijoitetuilla mittalaitteilla, jotka ovat toimineet yhtäjaksoisesti vuodesta 1953 lähtien. [9.]

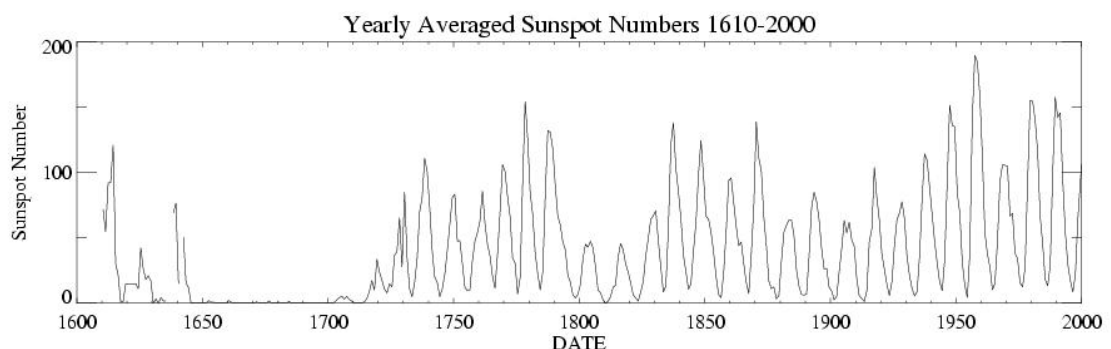
2.6 Auringonpilkut

Auringonpilkku on auringon pinnalla näkyvä tumma läiskä, joka on läpimitaltaan yleensä tuhansia kilometrejä. Auringonpilkut ovat auringon magneettikentän voimakkaita keskuksia, joissa magneettivuon tiheys on noin 10 000 kertaa suurempi kuin maapallon magneettikenttä. Pilkkujen määrä vaihtelee noin 11 vuoden jaksossa. Pilkkujen ollessa runsaimmillaan aurinko on aktiivinen, ja se säteilee enemmän kuin pilkkujen lukumäärän ollessa alhainen. Pilkkumaksimien aikaan maapallolla nähdään revontulia enemmän kuin muulloin ja maapallon magneettikentässä esiintyy häiriöitä, magneettisia myrskyjä. Auringonpilkkujen

lukumäärää mitataan auringonpilkkuluvulla. Viimeksi auringonpilkkujen maksimivuosi oli vuonna 2000. [4.]

Auringonpilkun koko on keskimäärin 10 000 km (2 500 - 50 000 km). Pilkkujen elinikä vaihtelee päivistä kuukausiin. Pilkuista voidaan usein erottaa syvä tumma umbra ja sitä ympäröivämpi vaaleampi osa, penumbra. Pilkun tumman keskiosan lämpötila on 4300 - 4500 K ja reunuksen, penumbran lämpötila hieman yli 5000 K. Auringonpilkku on noin 100 km syvyinen syvennys auringon pinnassa. Auringonpilkut ovat magneettikentän napoja ja esiintyvät yleensä pareina, jotka ovat vaakasuorassa auringon pyörimissuuntaan nähden. Auringonpilkkujen magneettikentät aiheuttavat flareja eli auringonpurkauksia.

Auringonpilkkuluvun laskeminen ei ole niin yksinkertaista miltä se kuulostaa. Jokaiselle havaitsijalle lasketaan kerroin k, jolla pyritään saamaan havaitsijoille yhdenmukainen arvo. Oletetaan, että katsot aurinkoa kiikareiden läpi. Voit nähdä kaksi tai kolme suurta tummaa pistettä. Katsoessasi tehokkaalla teleskoopilla voit mahdollisesti nähdä 10 tai 20 tummaa pistettä. Avaruudessa olevalla teleskoopilla voidaan havaita paljon enemmän pisteitä, 50:stä jopa 100 pisteeseen. Mutta mikä on oikea auringonpilkkuluku? [11.] Kuvassa 5 on esitetty auringonpilkkujen lukumäärät vuosien 1610 - 2000 välisenä aikana.



Kuva 5. Keskimääräiset auringonpilkkuluvut vuosina 1610 - 2000. [11]

On kahdenlaisia virallisia auringonpilkkuluja, jotka ovat yleisesti käytössä. Ensimmäinen auringonpilkkuluku on päivittäinen luku "Boulder Sunspot Number", joka lasketaan NOAA:n avaruustutkimuskeskuksessa käyttäen Rudolph Wolfin vuonna 1848 kehittämää kaavaa

$$R = k(10g + s), \quad (2)$$

missä R on auringonpilkkuluku, g on auringonpilkkuryhmien lukumäärä auringossa, s on auringonpilkkujen lukumäärä kaikissa ryhmissä ja k on vaihteleva muuttuja (yleensä <1), joka määräytyy tarkkailu olosuhteista ja teleskoopin tyypistä. Tiedemiehet keräävät tiedot observatorioista, jossa jokaisessa on oma k tekijä. Toinen auringonpilkkuluku on International Sunspot Number, jonka julkaisee päivittäin the Sunspot Index Data Center Belgiasta. [11.]

Boulderin numero, on yleensä 25 % suurempi kuin toiseksi virallinen arvo Kansainvälinen auringonpilkkuluku. Kummatkin, sekä Boulder että kansainväliset auringonpilkkuluvut on laskettu samaa periaatetta käyttäen samalla kaavalla. Tiedot auringonpilkkujen lukumäärästä tulevat kummallekin laskentatavalle eri observatorioilta. [11.]

2.7 Auringonpilkkujakso

Auringonpilkkujakso on auringonpilkkujen peräkkäisten pilkkulukuminimien välinen aika, joka on keskimäärin 11 vuotta. Jakso voi vaihdella 7 - 17 vuoden välillä, ja se on keskimäärin 10,5 vuotta. Uusi auringonpilkkujakso alkaa vanhan jakson ollessa vielä käynnissä. Auringon aktiivisuus vaikuttaa ilmeisesti myös maapallon lämpötilaan ja otsonikerrokseen. Viimeksi auringonpilkkujen maksimi oli vuonna 2000 ja minimin ennustetaan olevan vuonna 2006 - 2007. [4.]

Auringonpilkkujaksoissa on ollut ajan saatossa minimijaksoja, joille on annettu eri nimiä. Eräs minimi tunnetaan nimellä Maunderin minimi. Se sijoittui aikavälille 1645 - 1715, kun auringonpilkkut olivat harvinaisia. Tämä jakso tunnetaan myös niin sanottuna pilkkujääkautena. Samaan aikaan Eurooppa ja Pohjois-Amerikka kärsivät kylmistä talvista.

2.8 Antennityyppejä

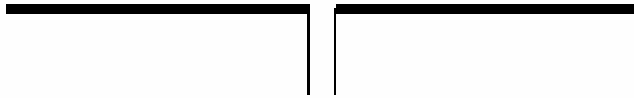
Radiotaajuusalue kattaa oktaaveissa erittäin laajan kaistan satojen kilometrien pituisista aalloista millimetrin pituisiin aaltoihin. Saman antennin käyttäminen eri taajuusalueilla on siis mahdotonta. Antennit voidaan jakaa eri taajuusalueille soveltuviin antennityyppeihin.

- Alle 3 MHz ($\lambda < 100$ m) käytetään puolialtrodipoli-, maataso-, lanka-, tai kehäantenneja. Tämän taajuusalueen merkitys on radioastronomialle vähäinen, mutta merkityksellinen geofysiikalle.
- 3 MHz - 1000 MHz (100 m - 30 cm) käytetään puolialtrodipoleja, maataso-, yagi- ja helix-antenneja, tai useammasta sellaisesta koottua antenniryhmää.
- Yli 1 GHz (< 30 cm) taajuuksilla pääosa radioastronomiassa käytetyistä antenneista on parabolipeiliheijastin- tai torviantenneja.

Puolialtrodipoli

Puolialtrodipoli (kuva 6) on perusantenni ja on osana melkein kaikissa antennityypeissä. Antennia syötetään yleensä keskeltä tai toisesta päästä. [12.]

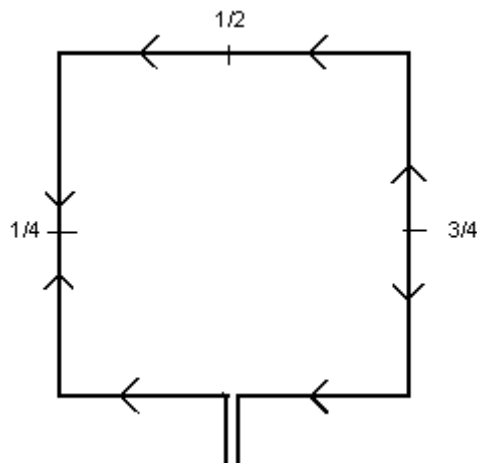
Puolialtrodipolilla on hieman yagi-antennia leveämpi taajuuskaista, yhden dipolin vahvistus on hyvin pieni, 2,1 dB eli 1,6-kertainen teoreettiseen täysin ympärisäteilevään antenniin verraten. Suuntakuvion ainoat minimi ovat päiden suunnassa. Lähelle maanpintaa sijoitetun vaakapolaroidun dipolin säteilykeila suuntautuu enemmän ylöspäin maaheijastuksen ansiosta. Polarisaatio on valittavissa asennusasennon mukaan. Dipoleita käytetään lähinnä HF-taajuusalueella. [13.]



Kuva 6. Puoliaaltodipoli.

Kehäantenni

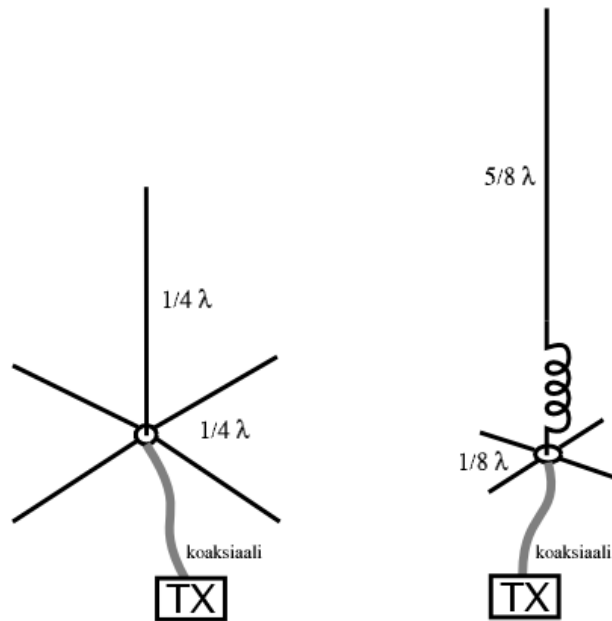
Kehäantenni (kuva 7) on suuntaava ja on lähes ainoa vaihtoehto hyvin matalilla taajuuksilla. Mitä pienempi taajuus, sitä suurempi kehä ja sitä enemmän kierroksia. Antennin polarisaatio on lineaarinen. Kehäantennia käytetään lähinnä LF- ja VLF-taajuuksialueella. [13.]



Kuva 7. Kehäantenni.

Maatasoantenni

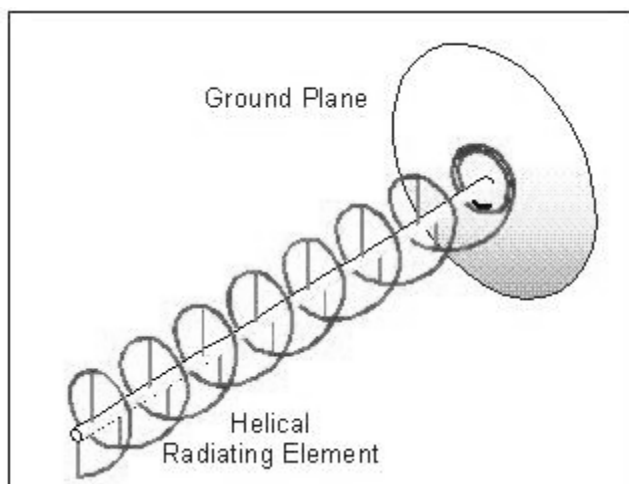
GP, eli ground plane, (kuva 8) on yksinkertainen antenni, johon kuuluu pysäyteilijä ja maataso. Maatasoantennilla voi toimia esimerkiksi auton kori tai peltikatto. GP:n epäsymmetrisyyden ansiosta sitä voi syöttää suoraan koaksiaalilla. Syöttö tapahtuu siten, että koaksiaalinen sisäjohtin kytketään säteilijään ja ulkojohtin maatasoon. [14.]



Kuva 8. $1/4 \lambda$ ja $5/8 \lambda$ GP-antenni. [14]

Helix-antenni

Helix-antennin (kuva 9) vahvistus riippuu sen pituudesta ja kierroksien lukumäärästä. Helixin polarisaatio riippuu siitä, mihin suuntaan spiraali on kierretty. Pienemmillä taajuuksilla tulee ongelmaksi antennin mekaaninen rakenne. Ongelmana on, miten suuri ja hutera spiraali tuetaan. Helixillä on yhä laajempi taajuuskaista. Lyhyitä helixejä käytetään avaruusaluksissa ja luotaimissa matalavahvistuksisina antenneine. Helixin keksi 1947 tunnettu radioastronomi, insinööri ja radioamatööri John Kraus, W8JK. [11.]

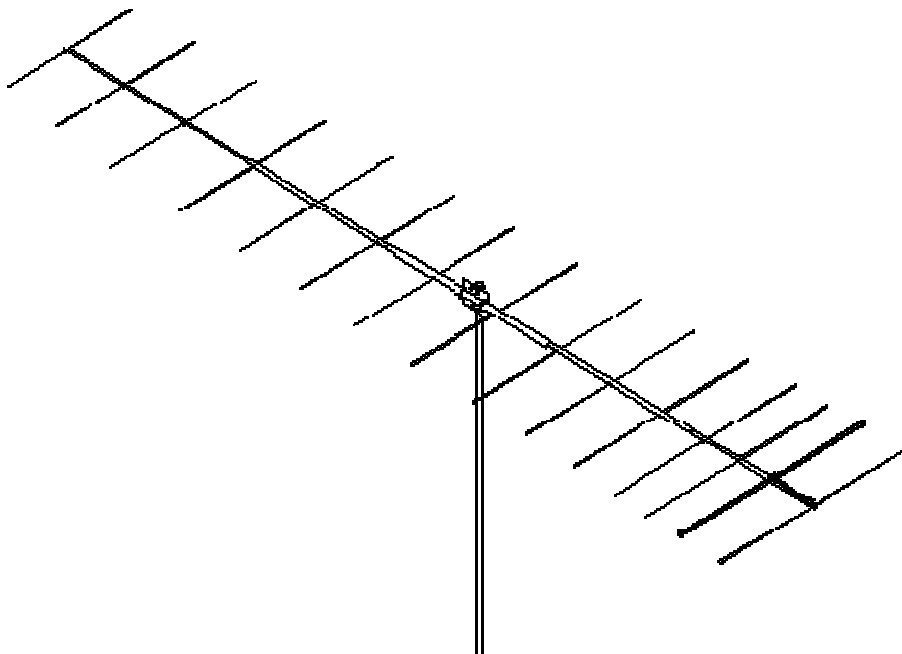


Kuva 9. Helix-antenni.

Yagi-antenni

Yagi-antenni (kuva 10) koostuu syöttöelementistä (yleensä puolialtrodipoli), heijastinelementistä ja halutusta määrästä muita parasiittielementtejä, eli suuntaajia. Elementtien pituuserot ja välit määräävät antennin toimintataajuuskaistan leveyden. Mitä vähemmän suuntaajissa on pituuseroja, sitä kapeampi taajuuskaista on ja sitä kapeampi pääkeila, eli korkeampi vahvistus. Yagi-antenni antaa lineaarisen polarisaation. Pyörivä polarisaatio aikaansaadaan vaiheistamalla sopivasti ns. risti-yagi 90 asteen vaihe-erolla. Yagin keksi Japanissa tohtori Yagi apulaisensa Udan kanssa 1920-luvulla.

Yagia muistuttava, kaikkiin elementteihin siirtolinjalla syötetty logaritmisperiodinen dipoli-antenniryhmä, voidaan suunnitella erittäin laajakaistaiseksi, mutta tämä tapahtuu vahvistuksen kustannuksella. Elementtien välit ja pituudet muuttuvat logaritmisesti, jolloin saadaan mahdollisimman tasaiset suoritusarvot koko taajuuskaistalle. Antennin koko kaksinkertaistuessa vahvistus kasvaa +3 dB ja säteilykeilan leveys putoaa puoleen. [13.]



Kuva 10. Yagi-antenni.

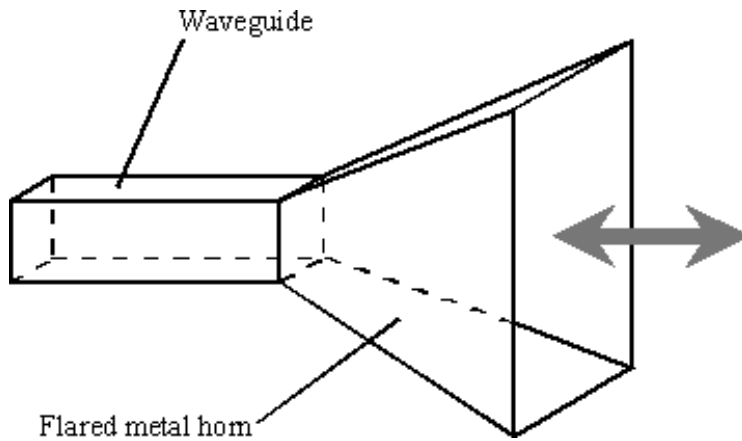
Kuvassa 11 on esitetty Oiva Pölläsen Kajaanin ammattikorkeakoululle rakentama yagi-antenniryhmä, joka on suunniteltu ottamaan vastaan säätietoja satelliiteista. Antenni koostuu neljästä ristiin laitetusta 3-elementtisestä ristidipoli yagi-antennista, jossa jokainen elementti on asetettu 45 asteen kulmaan taivasta kohden, antennille muodostetaan pyörivä polarisaatio vaiheistamalla. Tällä tavalla antenniryhmän peilautuvuusalue saadaan mahdollisimman suureksi. Antenni on suunniteltu ottamaan vastaan säätietoja 137 - 138 MHz:n alueella. [15.]



Kuva 11. Vaiheistettu yagi-antenniryhmä. [15]

Torviantenni

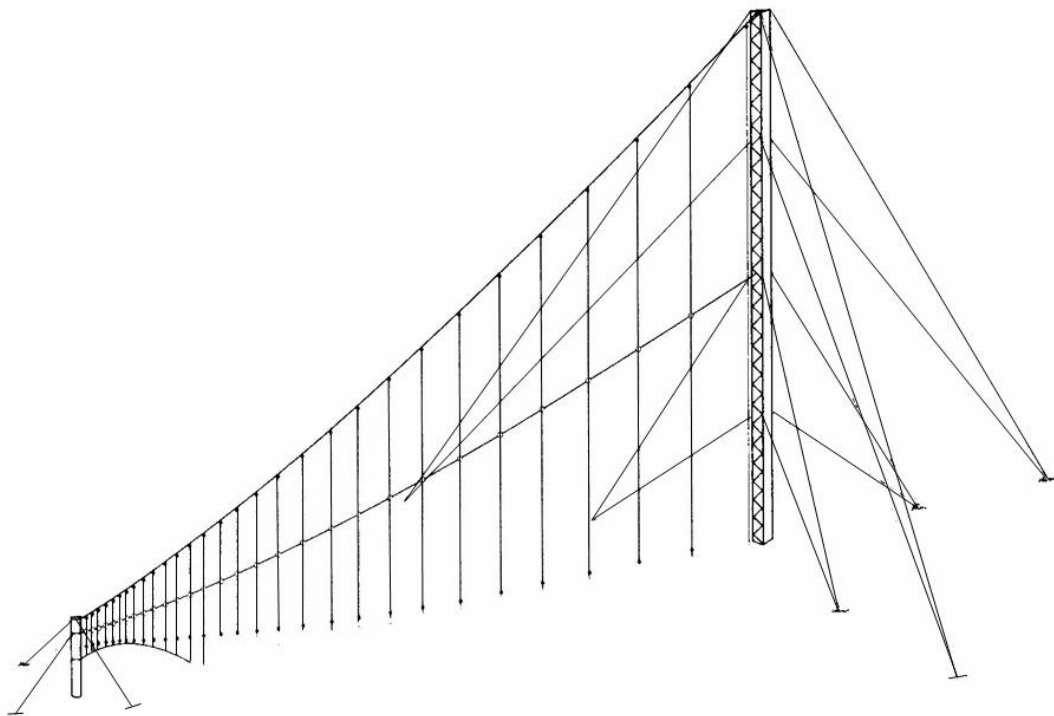
Torviantennin (kuva 12) vahvistuksen, eli keilanleveyden määrää sen suuaukon pinta-ala. Torviantennin kaistanleveys voi olla jopa yli yhden oktaavin. Polarisaatio on joko lineaarinen tai pyörivä riippuen siitä onko torvi suorakaide tai pyöreä. Pyörivä polarisaatio saadaan pyöreällä torviantennilla sijoittamalla sinne kaksi ns. probea, toinen vaakasuoraan ja toinen pystyyn ja vaiheistamalla niistä saatavat signaalit yhteen 90° vaihesiirrolla. [13.]



Kuva 12. Torviantenni

Verhoantenni

Verhoantenni (kuva 13) on yleisnimi suurelle joukolle erilaisia vaiheistettuja elementtirintamaryhmiä, jotka yleensä säteilevät kahteen suuntaan. Keilan leveys riippuu elementtien lukumäärästä. Nykyään suurikokoisia verhoantenneja käytetään enimmäkseen alle 10 MHz:n taajuuksilla ja niilläkin lähinnä kustannussyistä. [13.]



Kuva 13. Vertikaalinen verhoantenni. [3]

3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU

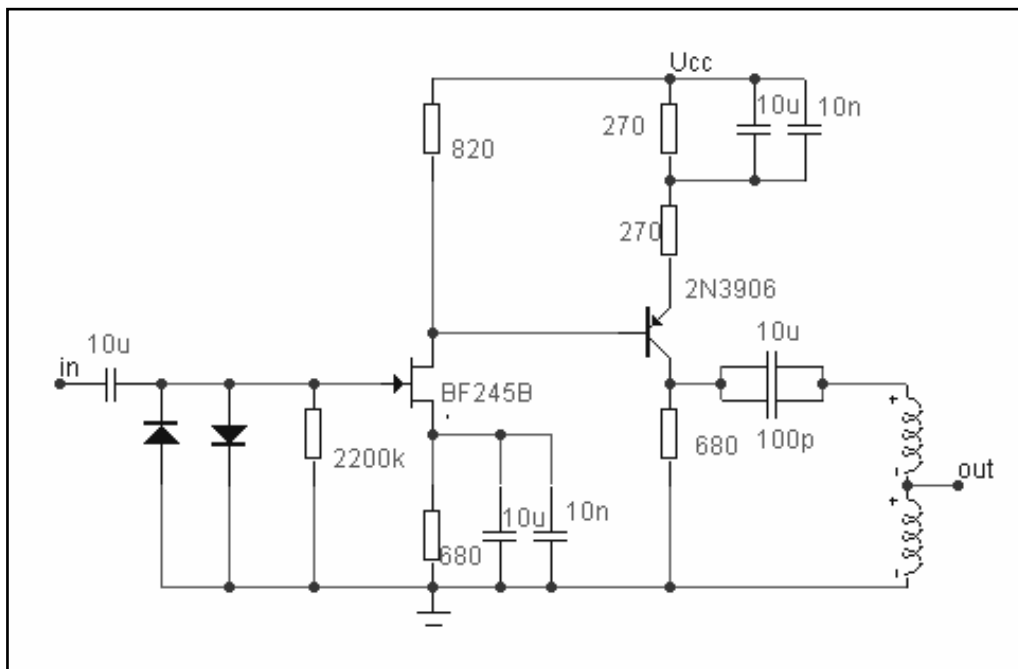
Lähdettäessä suunnittelemaan vahvistinyksikköä tuli ottaa huomioon antennin ominaisuudet. Antennityypiksi valittiin sähkökenttäantenni eli sondi, jolle vahvistinta alettiin suunnitella. Tämä antennityyppi valittiin aiheeksi, koska koululle oli jo ennestään rakennettu magneettikenttäantenni eli kela-antenni. Sähkökenttäantenni on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen. Käytännössä metallinen keppi, johon kiinnitetään vahvistin metallikotelossa. Antennin säteilykenttä on omnidirektionaalinen eli ympärisäteilevä ja radiosignaalit kytkeytyvät antenniin kapasiitiivisesti.

Suunnitteluvaiheessa käytiin läpi erityyppisiä antennivahvistimia. Vahvistinyksiköstä pyrittiin saamaan aikaan mahdollisimman yksinkertainen ja pieni kytkentä. Kytkenässä käytettävien komponenttien tulisi löytyä Kajaanin ammattikorkeakoulun välineistöstä ja olla mahdollisimman edullisia. Vahvistimen taajuuskais-taksi oli määrä tulla 100 kHz - 10 MHz.

Työ aloitettiin käymällä läpi erilaisia antennivahvistimia, joiden avulla saatiin jonkinlainen käsitys vahvistimen ominaisuuksista ja mitä sen tulisi pitää sisäl-lään. Kytkenästä rakennettiin ensimmäiseksi raakaversio, jota tämän jälkeen alettiin muokata laskujen ja Micro-Cap-ohjelman avustuksella. Vahvistinyksikkö suunniteltiin toimimaan 9 V:n käyttöjännitteellä ja rakennettiin kahden transisto-rin ympärille.

3.1 Vahvistin

Kuvassa 14 on esitetty insinööriyönä suunniteltu laajakaista-antennivahvistin. Vahvistimen suunniteltiin vahvistamaan signaaleja välillä 100 kHz - 10 MHz. Vahvistin koostuu kahdesta osasta jännitevahvistimesta ja tehovahvistimesta.



Kuva 14. Antennivahvistinkytkentä.

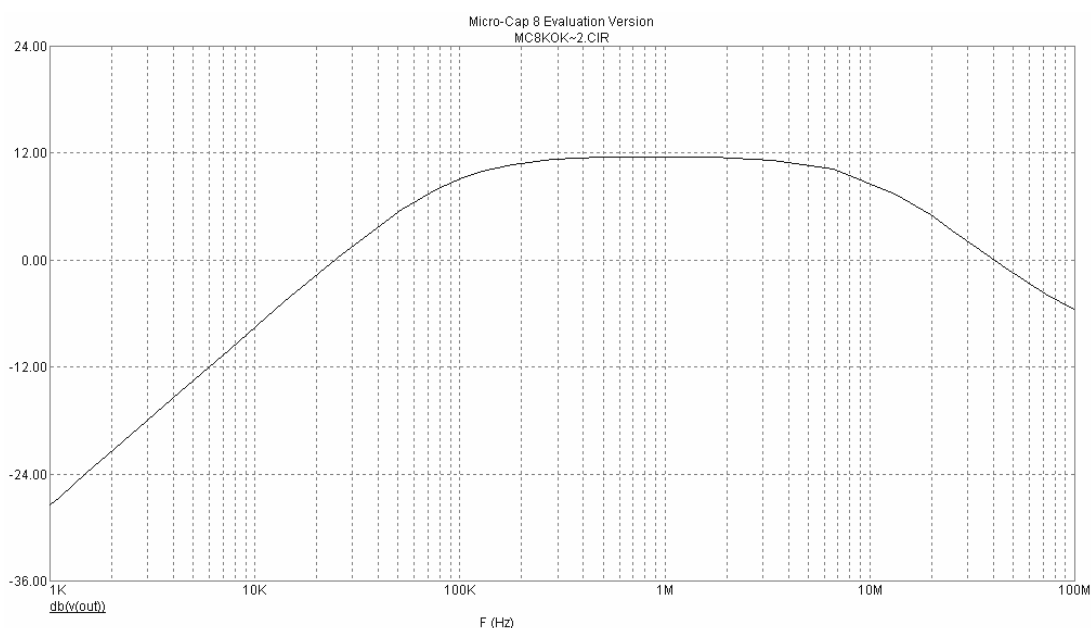
Jännitevahvistinpiiriksi valittiin N-kanavainen kanavatransistori BF245B. Tämä transistori on hyvä yleiskäyttöinen vahvistin, joka on suunniteltu pääasiassa audiokäyttöön. Kytkentä on CS-kytkentä, jossa käytetään automaattista toimintapisteen asetusta. Tämä tapahtuu vastuksen R_G avulla. Tällä tavalla FETin toimintapiste asettuu oikeaan kohtaan. FET puolen vahvistus on luokkaa 1,2, joka saadaan vastusten R_D ja R_S :n suhteesta.

Tehovahvistimen piiriksi valittiin yleiskäyttöinen PNP transistori 2N3906. Transistorin kollektoripuolelle tehtiin jännitejako. Näin saatiin kollektorijännitettä pudotettua 2 V pienemmäksi. Tämän avulla saatiin toimintapiste asettumaan halutulle 2,4 V:n tasolle. Vahvistettu signaali otetaan ulos muuntajakytkennän välitolla, jonka kytkentä näkee 220 Ω :n vastuksena. Muuntaja valmistettiin siten,

että kierrettiin ferriittirenkaan ympärille 16 kierrosta johdinta. Kytkennän tulopuolelle laitettiin kaksi kappaletta 1N4007-diodia, jotka suojaavat kytkentää antennista tulevilta piikeiltä.

3.2 Micro-Cap-analyysi

Vahvistinkytkentä analysoitiin Micro-Cap-ohjelmalla, jotta saataisiin vertailu kuvaaja valmiille kytkennälle. Kuvassa 15 on esitetty vahvistinkytkennän Micro-Capin AC-analyysi, josta nähdään teoreettinen vahvistus kytkennälle. Kytkentään ajettiin 1 MHz:n signaalia amplitudilla 1 mVp. Kuvasta näkee -3 dB:n pisteet, jotka ovat alarajataajuudella 90 kHz ja ylärajataajuudella 9,8 MHz. Vahvistusta saatiin analyysillä -3 dB:n pisteessä noin 9 dB.

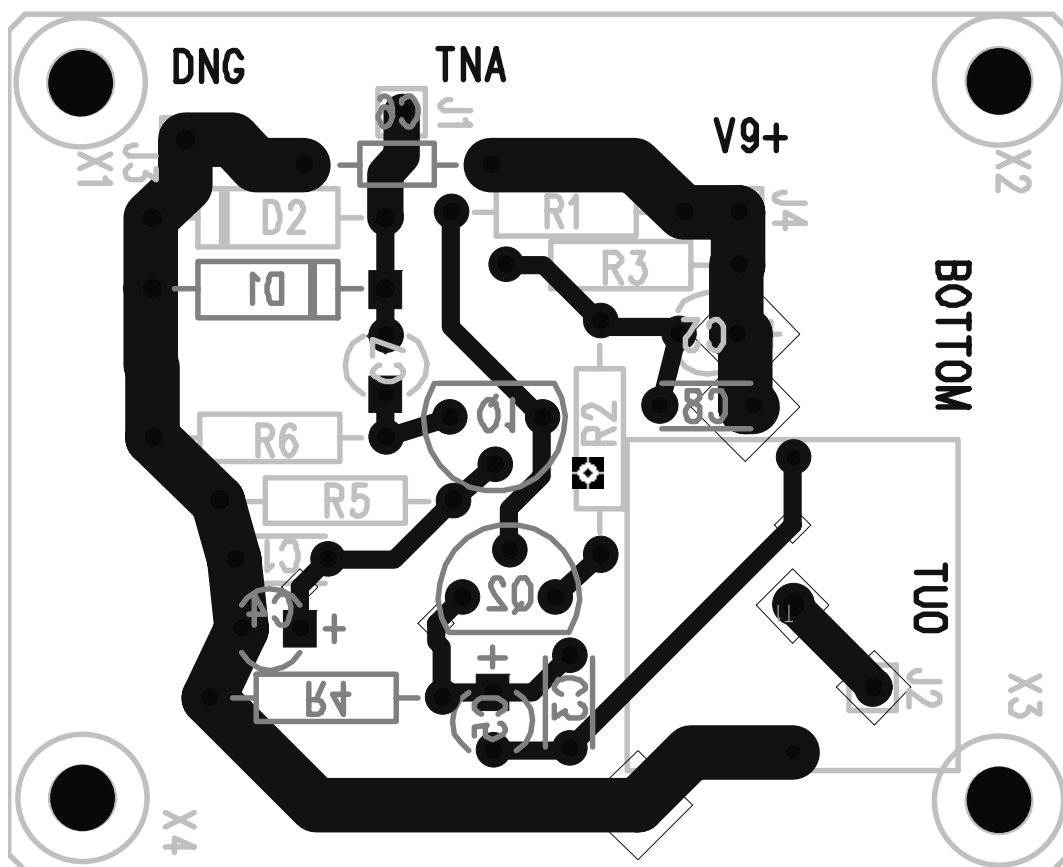


Kuva 15. Micro-Cap-analyysillä simuloitu taajuuskaista.

Analyysissä kytkentään syötettiin jännitettä amplitudilla 1 mVp, jotta kytkentä saataisiin toimimaan minimiarvoilla. Radiosignaali, jotka kytkentyvät antenniin, sisältävät amplitudia moninkertaisen määrän. Tämän vuoksi analyysin ylä- ja alarajataajuudet muuttuvat varsinaisessa kytkennässä. Micro-Cap-analyysin mukaan kytkennän piirit vahvistavat niin kuin datatiedoissa ilmoitetaan.

3.3 Vahvistinyksikön asettelu

Kytken­nän analysoinnin ja testauksen jälkeen todettiin kytkennän toimivuus. Kytken­nän suunnittelu ja komponenttien asettelu tehtiin PADS-ohjelmalla. Vahvistinyksikkö rakennettiin yksipuoleiselle piirilevylle juottamalla. Lopullinen piirilevyn asettelukuva on toteutettu kuvan 16 mukaisesti. Vahvistinyksikön komponenttiluettelo on esitetty liitteessä A.

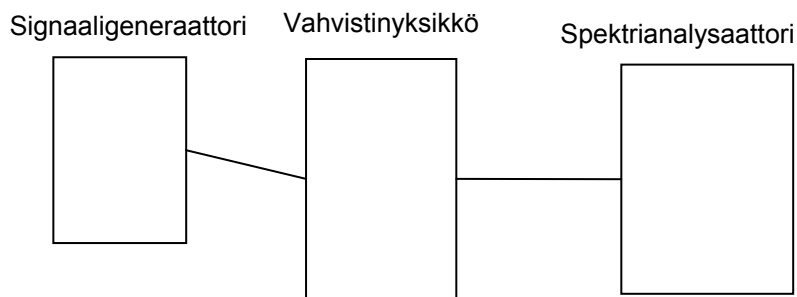


Kuva 16. Piirilevyn asettelukuva.

Vahvistinyksikkö tulee sijaitsemaan ulkoilmassa lähellä antennia. Vahvistinyksikön tarvitsema 9 V:n käyttöjännite, maataso ja vahvistettu signaali vastaanottimelle tuodaan monijohtimista kaapelia pitkin. Vahvistinyksikkö liitetään suoraan antenniin. Liitteessä B on esitetty kuvat testauskytkennästä, jyritystä piirilevystä ja valmiista vahvistinyksiköstä.

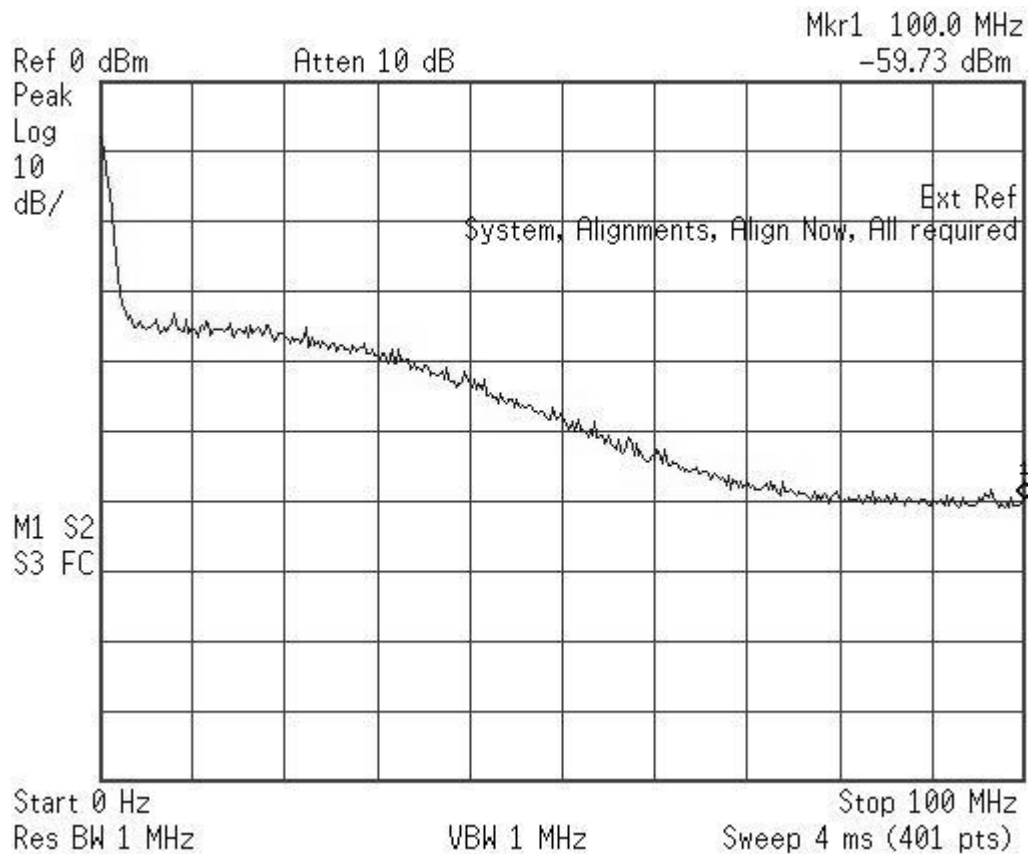
4 KYTKENNÄN TESTAUS

Vahvistinta testattiin signaaligeneraattorin avulla, joka simuloi vastaanottoantennia. Testauskytkennän lohkokaavio on esitetty kuvassa 17. Signaaligeneraattorilla syötettiin vahvistinyksikölle kohinaa amplitudilla 35 mVpp. Vahvistinyksikkö vahvisti signaalia, joka mitattiin spektrianalysaattorilla, jolla saatiin mitattua kytkennän taajuuskaista ja vahvistus.



Kuva 17. Testauskytkennän lohkokaavio.

Kytken­nän testauksessa havaittiin, että vahvistinyksikkö vahvisti 100 kHz:n ja 10 MHz:n välistä taajuuskaistaa 10 dB:n vahvistuksella. Kytken­nän taajuuskaista on esitetty kuvassa 18. Testaus tapahtui Kajaanin ammattikorkeakoulun tiedonsiirtolaboratoriossa suljetussa sisätilassa. Tästä syystä testausasetelma oli hieman huono. Ulkoilmassa testattaessa antenniin tulee huomattavasti enemmän häiriöitä, jotka vaikuttavat antennin ominaisuuksiin. Testauksen jälkeen pystyttiin toteamaan, että vahvistinyksikkö toimi halutulla tavalla.



Kuva 18. Mitattu taajuuskaista.

Vahvistinyksikön jatkokehitys

Vahvistinyksikköä voitaisiin jatkokehittää tuottamaan enemmän vahvistusta ja toimimaan suuremmalla taajuuskaistalla. Käyttöjännitteen, maatason ja anten-
nilta tulevan signaalin syötön voisi suunnitella toteutettavaksi toisella tavalla. Vahvistimessa käytettyjä komponenttien säänkestävyyden voisi tarkastaa siten, että komponentit kestävät pohjoisen kovat pakkaset, jotta vahvistinyksikön voisi sijoittaa ulos. Komponenttien fyysistä kokoa voisi muuttaa korvaamalla ne pinta-
liitoskomponenteilla. Vastusten arvot voisi myös tarkastaa, koska työssä käyte-
tyt komponentit olivat E-12-sarjan vastuksia.

Havaintoja

Ensimmäinen versio kytkennästä tuotti päänvaivaa, koska Micro-Cap-ohjelmalla kytkentä toimi moitteettomasti, mutta juotettu kytkentä ei toiminut ollenkaan. Kytkennän virheeksi paljastui ylimääräinen kondensaattori. Vahvistimen FETin kollektoripuolelle oli kytketty yksi ylimääräinen kondensaattori, joka söi kaiken vahvistetun signaalin.

Kytkenän suunnitteluvaiheessa jännitevahvistinpuolelle kokeiltiin useita eri FET-transistoreita, joilla oli erilaiset ominaisuudet. Tämä aiheutti sen, että jokaisella testauskerralla jouduttiin muuttamaan useita komponentteja, jotta kytkentä toimisi.

Erilaisten muutosvaiheiden jälkeen kytkennästä saatiin toimiva kokonaisuus. Virheiden etsimisessä tarvittiin usein ulkopuolisen näkökulmaa. Yleensä sattuneet virheet olivat selkeitä, jotka paljastuvat vasta valmiin kytkennän myötä.

5 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja rakennettiin vahvistinyksikkö antennille, joka vahvisti antennisignaaleja 100 kHz - 10 MHz:n välillä. Vahvistimen tuli toimia 9 V:n käyttöjännitteellä ja olla mahdollisimman kompakti paketti, jotta vahvistinyksikkö voitaisiin sijoittaa pieneen tilaan.

Vahvistinta suunniteltaessa pääsi tutustumaan uusiin vahvistinkäyttöön suunniteltuihin transistoreihin. Insinööriyön aikana pääsi myös perehtymään erilaisiin antennityyppeihin ja minkälaisen antennivahvistimen minkin tyyppinen antenni tarvitsee. Tämäntyyppisiä antennivahvistimia ei käytetä enää yleisesti. Suunniteluun kului yllättävän paljon aikaa, johtuen transistorien erilaisista ominaisuuksista, jotka aiheuttavat toimenpiteitä muutettaessa komponenttia. Kytkentään ei saatu haluttuja transistoreita, joilla kytkentä olisi toiminut varmemmin ja olisi ollut huomattavasti suurempi vahvistus sekä taajuuskaista.

Tiedonhaku tätä työtä varten täytyi tehdä monista eri kohteista. Suomenkielistä materiaalia aiheesta on kirjoitettu vähän. Internetistä löytyy tietoa englanninkielisinä julkaisuina eri järjestöjen sivuilta.

Testausvaiheen jälkeen pystyttiin toteamaan, että vahvistin vahvisti haluttua taajuuskaistaa 100 kHz - 10 MHz:n välillä ja vaimensi ulkopuolelle jäävät taajuudet.

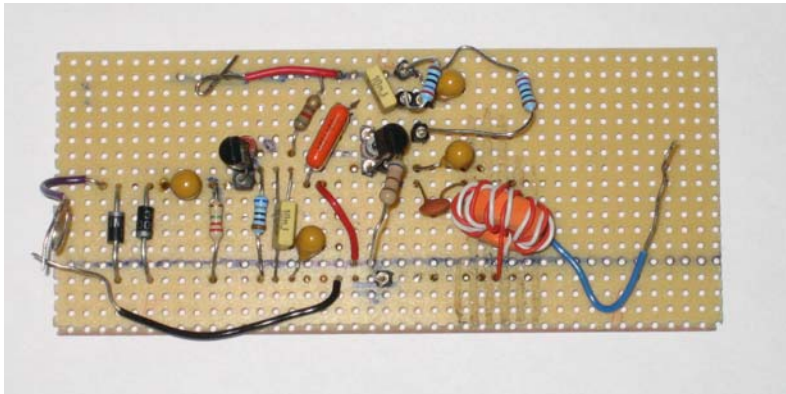
LÄHDELUETTELO

- 1 Mende, Herbert G. Antennit. Helsinki 1973.
Kustannusosakeyhtiö Tammi. ISBN 951-30-2158-0.
- 2 Hautamäki, Jarmo, Radiomiehen käsikirja:
radioteknillisiä suunnittelutehtäviä ja ominpäin opiske-
lua varten. Porvoo 1950, WSOY.
- 3 Laine, Reijo. Antennien ABC. Helsinki: Infopress, 1978.
ISBN 951-737-062-8.
- 4 Ilmakehä ABC, Ilmatieteen laitos. Luettu 6.3.2006.
[www-dokumentti].
<http://www.fmi.fi/abc/index.html?N=17#17>
- 5 Sähkömagneettinen spektri, Peda.net. Luettu 2.3.2006,
[www-dokumentti].
<http://www.peda.net/veraja/jklmlk/fysiikka/smspektrit>
- 6 The ARRL handbook for radio communications. 81.
painos. Newington: American Radio Relay League,
Inc., 2004. ISBN 0-87259-196-4.
- 7 C.R. Francis. V.L.F. Signals and the magnetosphere.
Practical Electronics. September 1979.
- 8 Kakkuri, Juhani. Ympäristö ja geofysiikka. Helsinki:
Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, 2000.
ISBN 952-5329-05-4.

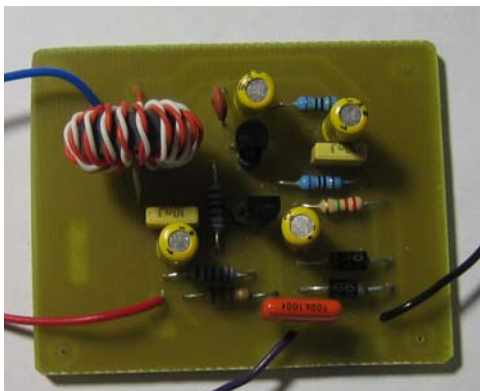
- 9 Maan magneettikenttä, Ilmatieteen laitos. Päivitetty 1.3.2006, luettu 2.3.2006, [www-dokumentti].
http://www.fmi.fi/tutkimus_avaruus/avaruus_3.html
- 10 The Scottish Science Technology Roadshow. Luettu 14.3.2006. [www-dokumentti].
<http://www.scifun.ed.ac.uk/card/card-left.html>
- 11 Sunspot Numbers, spaceweather.com. Luettu 14.3.2006. [www-dokumentti].
<http://www.spaceweather.com/glossary/sunspotnumber.html>
- 12 Siirtojohto ja antenniteoria, luentokalvoja, Jukka Heino. Versio 2, 2003.
- 13 Harrastajan radioastronomiia: vastaanotintekniikkaa, www.ursa.fi. Luettu 5.3.2006. [www-dokumentti].
<http://www.ursa.fi/ursa/jaostot/radio/radiotekniikka.html>
- 14 GP, wiki.ham.fi. Päivitetty 1.11.2005, luettu 5.3.2006. [www-dokumentti]. <http://wiki.ham.fi/GP>
- 15 Pöllänen, Oiva. Sääsatelliittien vastaanottolaitteisto. Kajaanin ammattikorkeakoulu 2005, Insinööriö syksy 2005.

KOMPONENTTILUETTELO

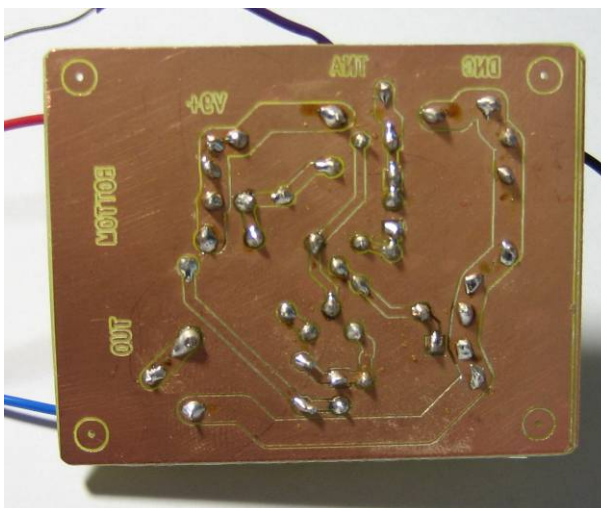
Transistori	BF245B	1 kpl
Transistori	2N3906	1 kpl
Diodi	1N4007	2 kpl
Vastus	270 Ω	2 kpl
Vastus	680 Ω	2 kpl
Vastus	820 Ω	1 kpl
Vastus	2,2 M Ω	1 kpl
Kondensaattori	100 nF	1 kpl
Kondensaattori	10 μ F	4 kpl
Kondensaattori	10 nF	2 kpl
Kondensaattori	100 pF	2 kpl
Ferriittirengas		1 kpl



Reikälevylle rakennettu testauskytkentä.



Valmis antennivahvistinyksikkö.



Valmis vahvistinyksikkö.

