

Teemu Laitinen

Korkeusmittarin tutkimustyö

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

19.5.2014

Tekijä Otsikko	Teemu Laitinen Korkeusmittarin tutkimustyö
Sivumäärä Aika	22 sivua + 2 liitettä 19.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	elektroniikka
Ohjaaja	lehtori Timo Kasurinen
<p>Tässä insinöörityössä perehdyttiin pienlentokoneelle soveltuvan korkeusmittarin toimintaan ja tutkittiin mittarin teknisen rakenteen eri osa-alueita. Työ perustuu Matjaz Vidmarin kehittämään korkeusmittariin, ja tavoitteena oli rakentaa Vidmarin tekemän sovelluksen pohjalta vastaavanlainen korkeusmittari sekä mahdollisesti kehittää parannuksia Vidmarin rakentamaan korkeusmittariin.</p> <p>Työn edetessä kuitenkin huomattiin että korkeusmittarin eri osa-alueiden tutkimiseen ja rakentamiseen menee enemmän aikaa kuin oletettiin. Tästä syystä päädyttiin ratkaisuun, että tässä työssä keskitytään ainoastaan antennin ja modulaattorin rakentamiseen ja jätettiin korkeusmittarin muut osa-alueet tekemättä, kuten vastaanottimen rakentaminen ja ohjelmointi.</p> <p>Työn suunnittelu ja rakentaminen tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa. Antennien suunnittelu ja rakentaminen suoritettiin koneosaston tiloissa. Työn lopputuloksena saatiin tehtyä antennit korkeusmittarin lähettimelle ja vastaanottimelle. Lisäksi työn kuluessa perehdyttiin EAGLE-piirilevysuunnitteluohjelmaan, jonka avulla suunniteltiin modulaattorin piirilevyä. Selvitystyön ja piirilevyn rakentamisen tuloksena saatiin valmistettua toimiva modulaattori.</p> <p>Korkeusmittarin muita osa-alueita käsitellään kahdessa muussa insinöörityössä, joiden aikaansaannoksista riippuu, saadaanko mahdollisesti toimiva korkeusmittari kehitettyä tulevaisuudessa tämän sovelluksen tietojen pohjalta.</p>	
Avainsanat	4.3 GHz, FMCW, antenni, EAGLE, modulaattori

Author Title	Teemu Laitinen Radio Altimeter Study
Number of Pages Date	22 pages + 2 appendices 19 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics
Instructor	Timo Kasurinen, Senior Lecturer
<p>This thesis explores the function of a radio altimeter which applies to a small aircraft. Also different parts of the radio altimeter are studied. The work is based on a radio altimeter developed by Matjaz Vidmar. The aim of this thesis was to build a radio altimeter based on Matjaz Vidmar's application and additionally, if it possible, to develop some advancements to Vidmar's radio altimeter.</p> <p>After beginning of the work, it was noticed that researching and construction take more time than expected. Because of this, it was decided that it is better to concentrate only on constructing antennas and to implement a modulator. The construction of receiver and programming were left out of this study.</p> <p>Planning and construction for this thesis was made at the premises of Metropolia University of Applied Sciences. Antennas were created in the building of Mechanical Engineering. As a result, antennas were completed for the transmitter and the receiver. In addition, it was explored how to design a modulator with EAGLE CadSoft. After researching and creating a PCB, the modulator was created and is ready to use.</p> <p>The other parts of the radio altimeter will be processed in two other theses. It depends on these theses whether the radio altimeter, based on application by Matjaz Vidmar, can be developed in the future.</p>	
Keywords	4.3 GHz, FMCW, antenna, EAGLE, modulator

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Korkeusmittarin rakenne	2
2.1	Korkeusmittarin käyttö ja ominaisuudet	2
2.2	Korkeusmittarin toimintaperiaate	3
2.3	FM-CW-korkeusmittarit	4
3	Antenni	6
3.1	Antennin perusteet	6
3.2	Antennin suunnittelu	7
3.3	Antennien rakentaminen	8
4	Modulaattori	10
4.1	Modulaattorin perusteet	10
4.2	Modulaattorin piirilevyn suunnittelu	10
4.3	Modulaattorin piirilevyn teko	14
4.4	Modulaattorin mittaaminen	17
5	Yhteenveto	20
	Lähteet	22
	Liitteet	
	Liite 1. Antennin fyysiset mitat	
	Liite 2. Modulaattorin kytkentäkaavio	

Lyhenteet

CAM	Computer Aided Manufacturing. Tietokoneavusteinen valmistus.
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor. Piirilevysuunnitteluohjelma.
FM-CW	Frequency-modulated continuous-wave. Taajuusmoduloitu kanta-aaltotutka.
GHz	Gigahertsi. Taajuuden yksikkö.
LPKF	LPKF Laser & Electronics AG. Saksalainen elektroniikka-alan yritys.
PCB	Printed Circuit Board. Piirilevy.
VCO	Voltage controlled oscillator. Jänniteohjattu oskillaattori.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutkitaan ja kehitellään pienlentokoneelle soveltuvaa korkeusmittaria, jolla havaitaan lentokoneen todellinen korkeus maanpinnasta ja autetaan lentäjää laskeutumisen eri vaiheissa tekemään oikeat toimenpiteet lentokoneen turvalliselle laskeutumiselle kiitoradalle. Projektin tavoitteena on kehittää ja rakentaa sellainen korkeusmittari, joka on täsmällinen ja mahdollisimman luotettava erilaisissa olosuhteissa.

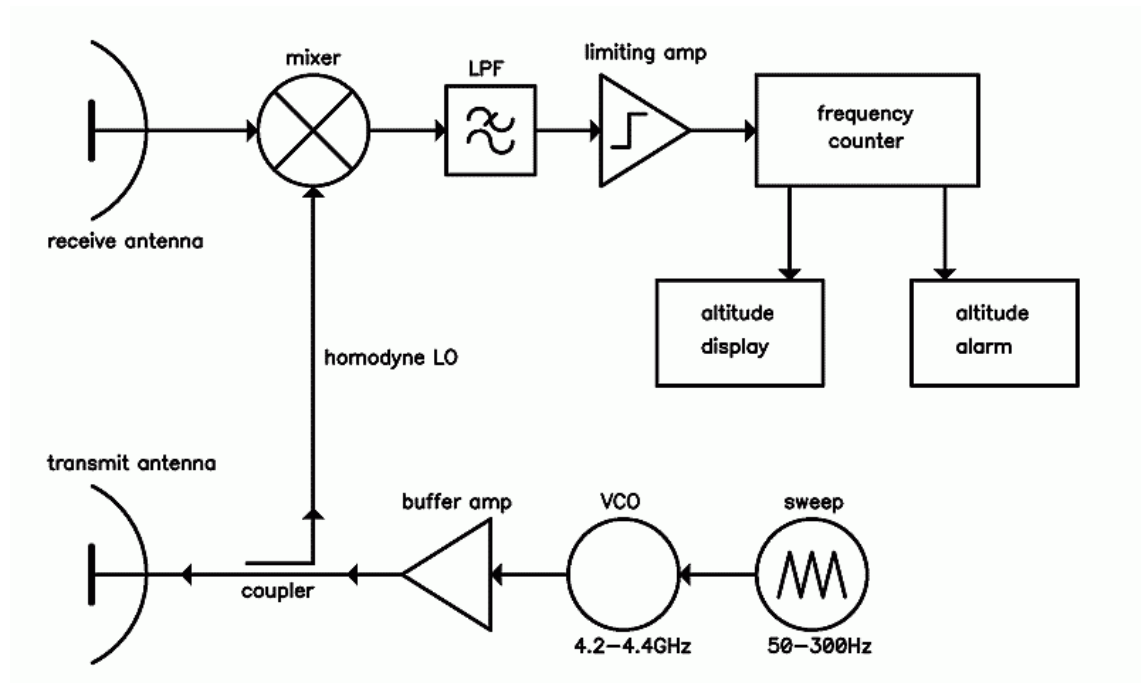
Korkeusmittariprojekti koostuu kaiken kaikkiaan kolmesta vaiheesta: antennisuunnittelu sekä lähettimen ja vastaanottimen suunnittelu ja toteutus. Korkeusmittarin yhteyteen on mahdollista kehittää myös puhetoiminto, joka auttaa lentäjää keskittymään paremmin itse laskeutumiseen, jolloin hänen ei tarvitse keskittyä mittarin lukemiseen laskeutumisen aikana. Tässä työssä käsitellään antennien rakentamista sekä modulaattorin suunnittelua ja testausta.

Työ on osa Metropolia Ammattikorkeakoululle tehtävää korkeusmittariprojektia. Työstä saatavia tuloksia ja päätelmiä käytetään mahdollisesti tulevaisuudessa, jos korkeusmittariprojektin muut vaiheet, kuten vastaanottimen toteutus ja ohjelmointi, saadaan tehtyä suunnitellusti. Tällöin projektista aikaansaatu korkeusmittaria voidaan käyttää sellaisenaan tai kehittää edelleen osaksi suurempaa kokonaisuutta.

2 Korkeusmittarin rakenne

2.1 Korkeusmittarin käyttö ja ominaisuudet

Korkeusmittaria käytetään pienlentokoneiden sekä myös miehittämättömien lentokoneiden (UAV, Unmanned Air Vehicle) korkeuden seurantaan. Mittari suunnitellaan toimimaan 4.3 GHz:n taajuudella lyhyen kantaman FM-tutkana siten, että kaistanleveys on 200 MHz, eli toiminta tapahtuu 4.2–4.4 GHz:n taajuudella. Mittarin ominaisuuksissa kiinnitetään erityistä huomiota tarkkuuteen ja hyvään resoluutioon eli erotuskykyyn (kuva 1).



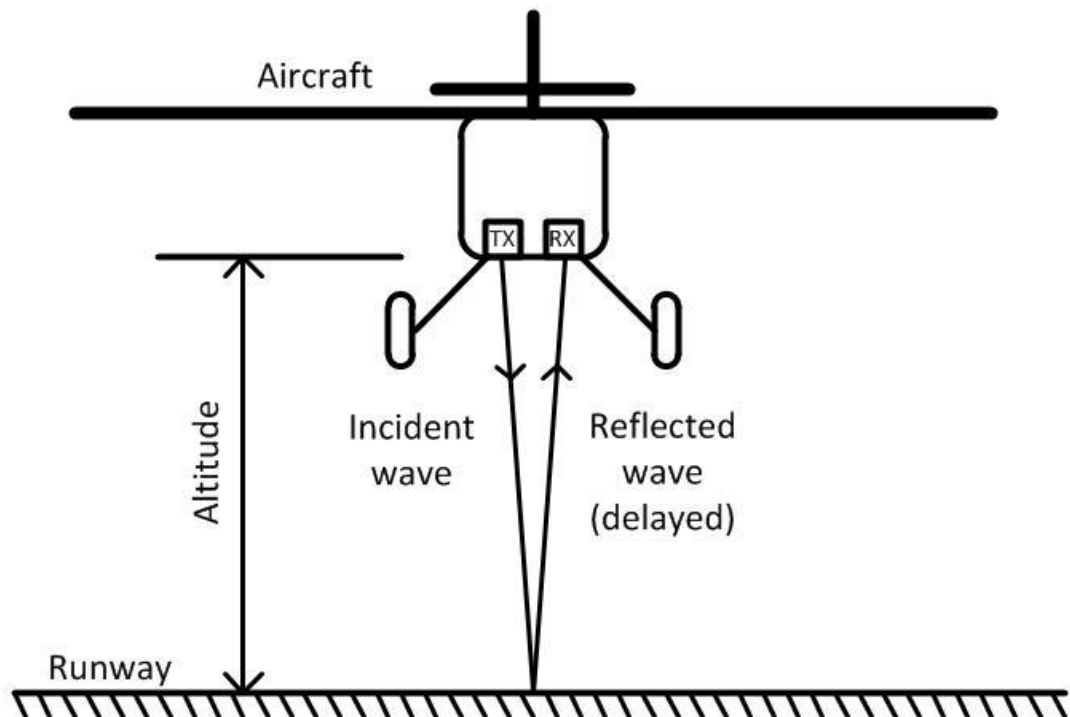
Kuva 1. Korkeusmittarin lohkokaavio [1]

Korkeusmittarin lohkokaavio on esitetty kuvassa 1. Jänniteohjatun oskillaattorin eli VCO:n värähtelytaajuutta säädetään kolmioaallon avulla, jolloin kantataajuisesta signaalista saadaan radiotaajuinen signaali. Tämä signaali kulkee lähettimen kautta maanpinnalle ja heijastuneena vastaanottimelle. Lähettimen teho on tyypillisesti 10..500 milliwattia. Signaali saapuu sekoittimelle, joka vertaa lähetetyn ja vastaanotetun taajuuden välistä eroa. Tämä signaali suodatetaan ensin, sitten vahvistetaan ja rajoitetaan taajuuslaskimelle sopivaksi. Tästä saadaan korkeusmittarin näytölle sopiva arvo, joka ilmaisee lentokoneen etäisyyden maanpinnasta. [1.]

2.2 Korkeusmittarin toimintaperiaate

Korkeusmittarin toiminta perustuu lähettimen ja vastaanottimen välillä kulkevaan signaaliin, jossa lähettimen signaali heijastuu maanpinnan kautta vastaanottimelle. Signaaliin matkaan kuluva ajasta saadaan viive, jonka perusteella voidaan laskea korkeusmittarin korkeus maanpinnasta.

Korkeusmittarin toiminnan periaate esitetään kuvassa 2. Ilmailukäyttöön soveltuvan korkeusmittari toimii samalla tavalla kuin kantoaalto-utka (FMCW), joka mittaa etäisyyttä koneen alla olevaan pintaan.



Kuva 2. Korkeusmittarin toiminnan periaate [1]

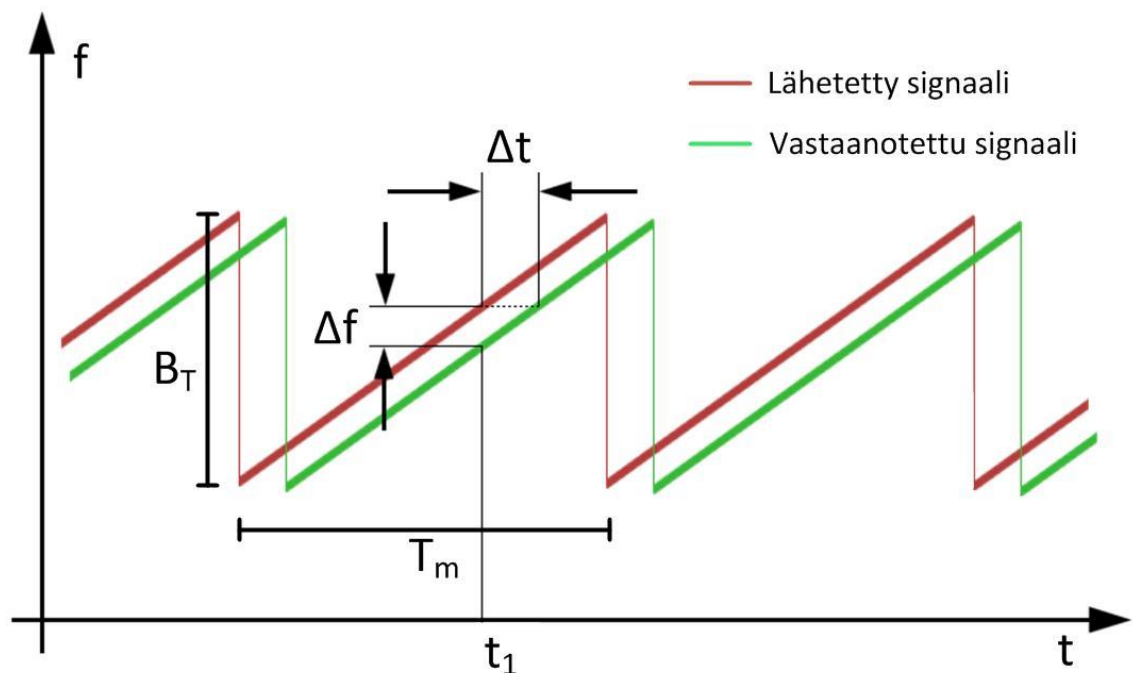
Korkeusmittari tarvitsee toisistaan eristetyt antennit sekä lähettimelle (TX) että vastaanottimelle (RX). Näiden välillä signaali kulkee maanpinnan kautta, jolloin saadaan signaalin etenemiseen kuluva aika Δt . Tämän viiveen ja valon nopeuden c avulla voidaan laskea lentokoneen korkeus R maanpinnasta:

$$R = \frac{c\Delta t}{2} \quad (1)$$

Korkeusmittarin suunnittelussa on erityisesti kiinnitettävä huomiota siihen, ettei lähettimen ja vastaanottimen välillä pääse liikkumaan suoraa radiosignaalia, joka saattaa aiheuttaa virhettä mittariin. [1.]

2.3 FM-CW-korkeusmittarit

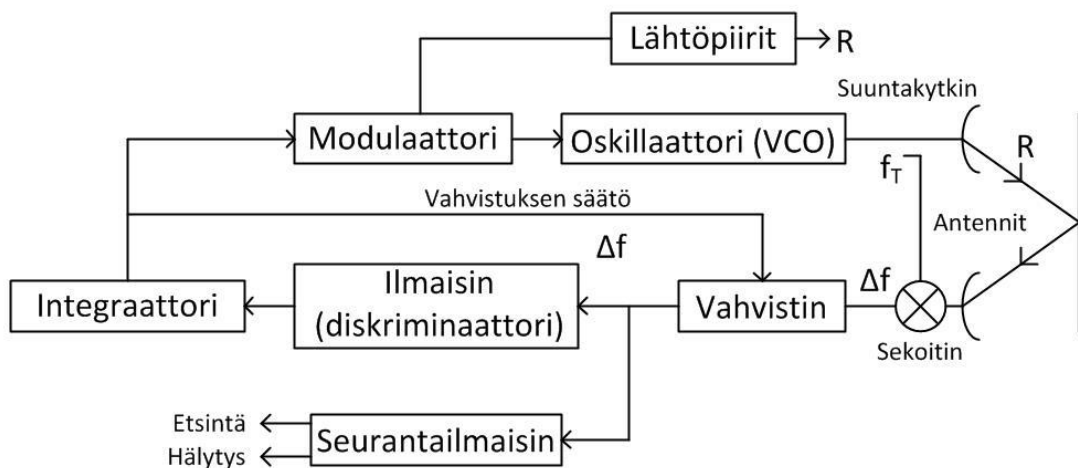
FM-CW-tutkia käytetään yleisesti lentokoneiden korkeusmittareina. Nämä radiokorkeusmittarit lähettävät tyypillisesti kuvan 3 mukaista taajuusmodulointua sahanteräsignaalia. Signaali heijastuu alla olevasta pinnasta (maa, meri) takaisin ja saapuu viiveen Δt kuluttua takaisin. Sekoittimella saadaan lähetystaajuuden ja vastaanottotaajuuden erottaajuus Δf .



Kuva 3. CW-tutkan taajuusmodulaatio [2, s. 25]

Tavanomaisissa radiokorkeusmittareissa pyyhkäisy aika T_m ja taajuusdeviaatio B_T ovat vakioita. Tällaiset korkeusmittarit ovat kuitenkin alttiita häirinnälle; niinpä sotilaslaitteissa Δf ja B_T ovat vakioita ja pyyhkäisy aikaa säädetään korkeuden funktiona. Toisin sanoen mitattavana suureena on pyyhkäisy aika, jonka perusteella korkeus saadaan määritettyä.

Erään radiokorkeusmittarin lohkokaavio esitetään kuvassa 4. Erottaajuutta Δf tarkkailaan diskriminaattorilla, joka ilmoittaa, onko Δf liian suuri vai pieni, ja muodostaa virhejännitteen. Virhejännitteellä säädetään modulaattorina toimivan sahanterääalto-generaattorin pyyhkäisyäikää. Tällä järjestelmällä on hyvä häirinnäsietokyky kapean vastaanottokaistan ja pienen lähetystehon ansiosta. Lisäksi lähetteen kaistanleveys on suuri, jolloin signaali vaikuttaa ulkopuolisesta lähinnä kohinalta. Etuna on myös se, että balansoidun diskriminaattorin sisäänmenon signaali-kohinasuhde saa olla pieni ilman että toiminta häiriintyy.



Kuva 4. Radiokorkeusmittarin lohkokaavio [2, s. 26]

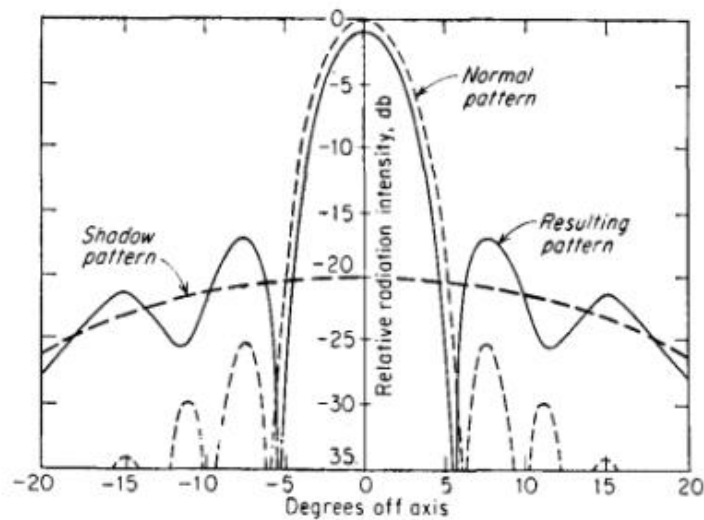
Siviililentoliikenteessä tyypillinen radiokorkeusmittarin keskitaajuus on 4,3 GHz. Sotilas-lentokoneen korkeusmittarin on toimittava myös suurilla kallistuskulmilla. Tämän takia antennin keilanleveyden tulee olla suuri. Sotilaallisissa FM-CW-korkeusmittareissa B_T pyritään tekemään suureksi, jotta häiritseminen käy mahdollisimman vaikeaksi. [2, s. 26.]

3 Antenni

3.1 Antennin perusteet

Antennilla tarkoitetaan radiolaitteiston osaa, jota käytetään lähettämään ja vastaanottamaan sähkömagneettisia aaltoja. Lähettävä antenni muuttaa siirtojohdossa kulkevan suurtaajuisen vaihtosähkön sähkömagneettiseksi säteilyksi, joka puolestaan saa aikaan vastaanottavassa antennissa sähkömotorisen voiman. Antennin tyypillä ja mitoituksella on vaikutusta siihen, miten antenni toimii [3, s. 29].

Parabolista heijastinta eli parabolista peiliantennia käytetään usein radiotaajuisissa antenneissa. Antennin heijastimen koko on oltava sitä suurempi mitä suurempi on käytetty aallonpituus, joten parabolinen peiliantenni on käytännöllinen pienillä aallonpituuksilla eli suurilla taajuuksilla.

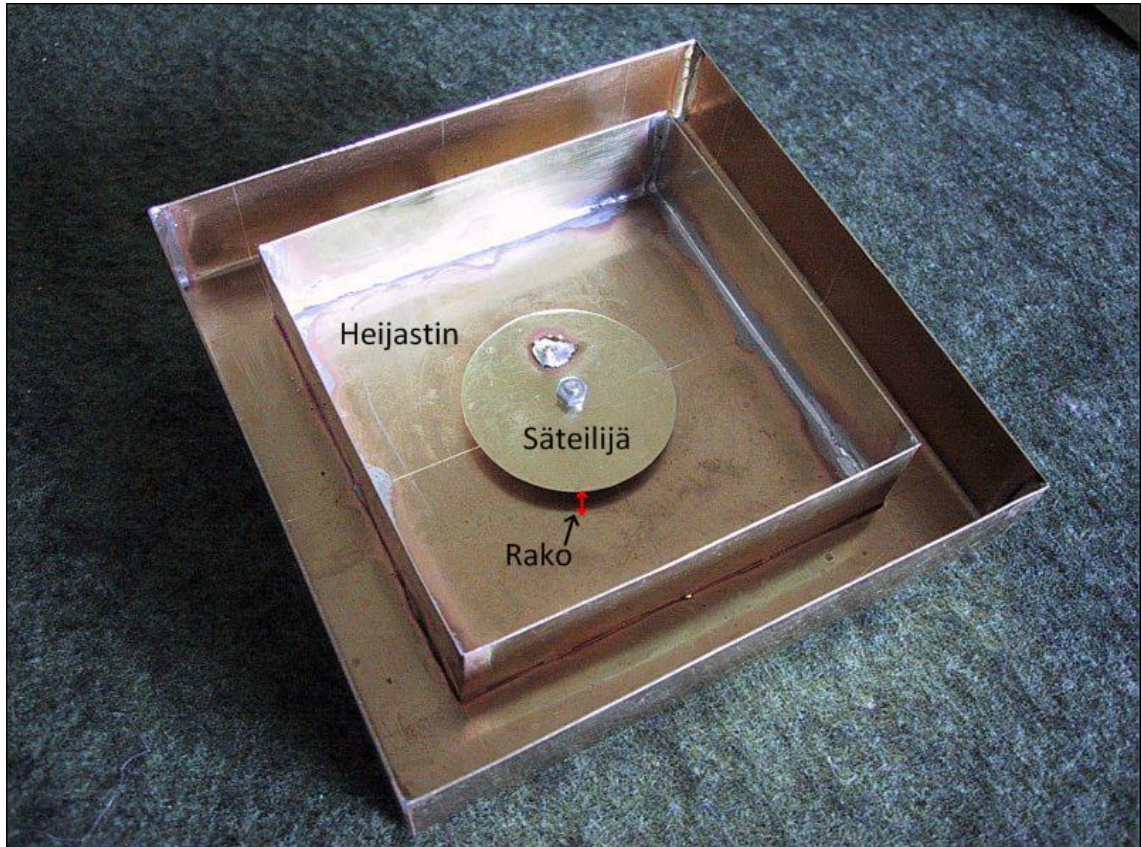


Kuva 5. Parabolisen peiliantennin suuntakuvi [4, s. 270]

Kuvasta 5 nähdään parabolisen peiliantennin suuntakuvi. Antennin tehoista suurin osa suuntautuu yhteen määrättyyn suuntaan, joten antennivahvistus on suuri. Tämän kuvan perusteella voidaan päätellä, että parabolinen peiliantenni soveltuu hyvin korkeusmittarin antenniksi. [4, s. 270.]

3.2 Antennin suunnittelu

Antennin suunnittelussa pohjana käytetään Matjaz Vidmarin kehittämää sovellusta. Tarkoituksena on suunnitella ja rakentaa antenni Vidmarin sovelluksen pohjalta korkeusmittaria varten sekä tutkia antennin ominaisuuksia käytännössä (kuva 6). Sekä lähettävä että vastaanottava antenni ovat tässä sovelluksessa samanlaisia ominaisuuksiltaan, joten riittää, kun suunnitellaan yhdenlainen antenni.



Kuva 6. Korkeusmittarin antenni [1]

Antennin rakenne muodostuu laatikkomaisesta heijastimesta sekä varsinaisesta säteilijästä, joka sijaitsee paraabelin polttopisteessä antennilaatikon keskellä. Säteilijä rakennetaan siten, että säteilijälevy sijaitsee eri tasossa kuin heijastin, ja tällöin muodostuu rako säteilijän ja heijastimen välille. Jotta lähettävän ja vastaanottavan antennin välinen eristys saataisiin mahdollisimman hyväksi, raon suuruudella on suuri merkitys tähän. Säteilijän malli suunnitellaan siten, että sen säteilykuvio täyttää paraabeliheijastimen pinta-alan hyvin ja säteilee mahdollisimman vähän heijastimen ulkopuolelle. Tällöin

heijastimen edessä pitäisi olla vapaata tilaa mahdollisimman paljon jotta säteilykuvio saadaan halutuksi [6].



Kuva 7. Antennin peili ja säteilysuunta [5]

Kuvassa 7 voitiin nähdä parabolisen peiliantennin säteilykuvio. Säteily lähtee antennilaatikon keskipisteessä olevasta säteilijästä ja muodostaa kapean keilan pois päin antennista. Oikein suunnitellun säteilijän mallin avulla saadaan myös lähettimen ja vastaanottimen välinen suora radiosignaali estettyä, sillä säteilykuvio täyttää koko heijastimen eikä säteilyä ulkopuolelle pääse tapahtumaan [5].

3.3 Antennien rakentaminen

Antennilaatikoiden suunnittelu ja rakentaminen tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun koneosaston tiloissa. Kone- ja tuotantotekniikan projekti-insinööri Joel Kontturi toimi apuna suunnittelussa ja koneiden käytössä. Suunnittelu ja rakentaminen toteutettiin Matjaz Vidmarin sovelluksen antennipiirustusten ja -mitoitusten pohjalta. Tarkoituksena oli antennilaatikoiden rakentamisen jälkeen tutkia antennin materiaalin ja rakenteen vaikutuksia antennin ominaisuuksiin sekä löytää tähän mahdollisesti parannusehdotuksia.

Antennilaatikoiden mitoitukset tehtiin tietokoneen piirustusohjelmalla, josta pystyttiin tulostamaan antennin mitoitukset (liite 1) paperille ja näin päästiin laboratorion taittokooneelle leikkaamaan messinkilevystä tarvittavat siivut laatikkoa varten.



Kuva 8. Antennilaatikko rakennettuna

Kun messinkilevyistä oli saatu taitettua mitoitusten mukaiset laatikot, käytiin koneosastolla hitsaamassa antennilaatikon kulmat umpeen ja porattiin tarvittavat reiät SMA-liitintä ja säteilijän kiinnitystä varten. Kuvasta 8 voitiin nähdä, että antennilaatikon keskellä olevan säteilijälevyn etäisyyttä heijastimeen voidaan säätää tarvittaessa ruuvia pyörittämällä. Etäisyydellä on merkitystä, sillä säteilykuvion suunta määräytyy heijastimen ja säteilijälevyn keskinäisestä etäisyydestä. Raon oikealla koolla vastaanottavan antennin heijastin pystyy kaikkein tehokkaimmin ottamaan vastaan lähetetyn signaalin. Jotta paras mahdollinen etäisyys pystytään määrittämään, pitää sekä lähettimen että vastaanottimen antennit mitata ja raon etäisyys säätää siinä vaiheessa, kun korkeusmittari on rakennettu.

4 Modulaattori

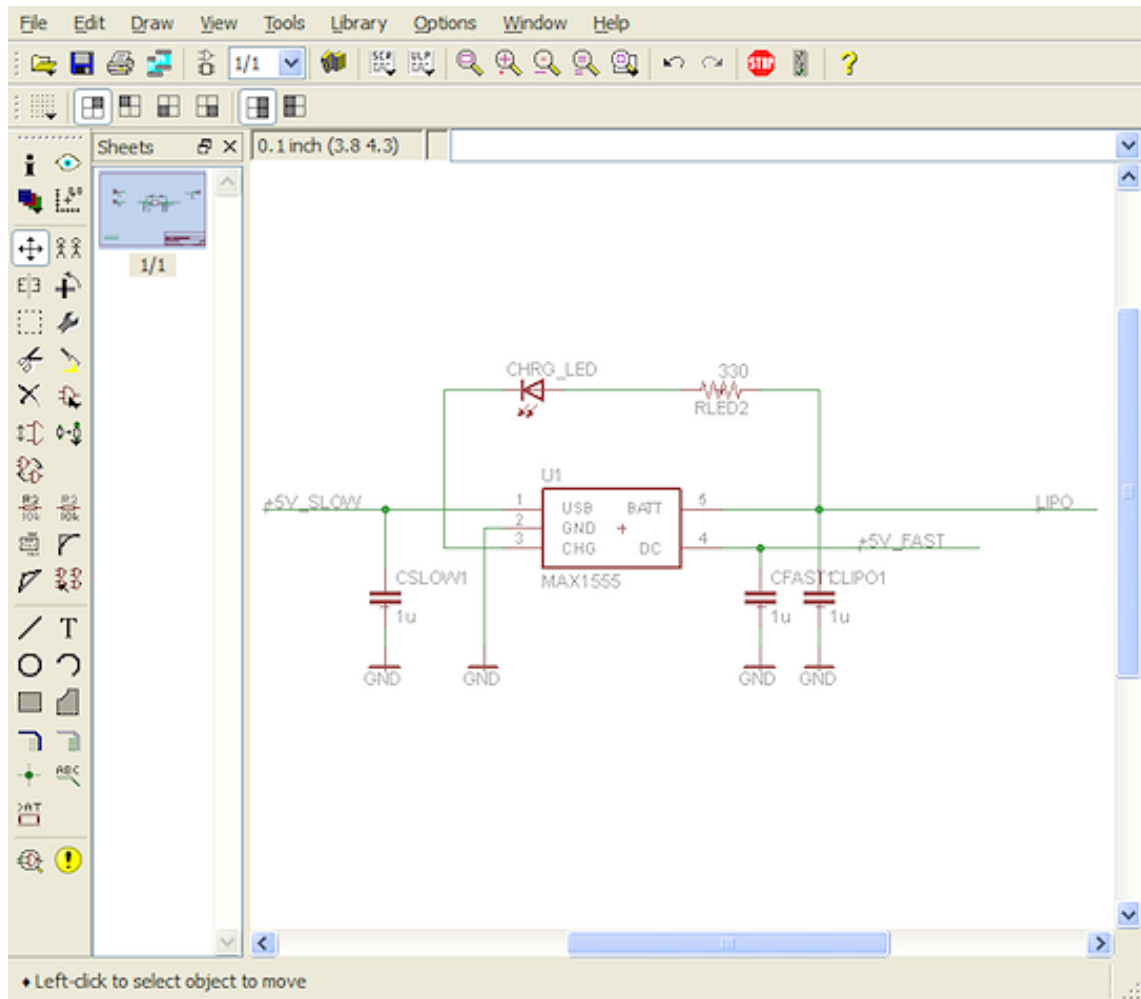
4.1 Modulaattorin perusteet

Radiojärjestelmässä signaalin siirtämisessä paikasta toiseen tarvitaan modulaatiota. Siirrettävä informaatio, kuten ääni tai kuva, muutetaan ensin matalataajuiseksi signaaliksi. Signaali syötetään modulaattoriin, joka moduloi eli muuttaa suurtaajuisen aallon jotain ominaisuutta, kuten amplitudia tai taajuutta, signaalin tahdissa. Näin saatu suurtaajuinen signaali lähetetään antennilla vastaanottimelle, jossa tapahtuu käänteinen operaatio eli demodulaatio. Demodulaatiossa moduloidusta signaalista erotetaan alkuperäinen signaali, joka voidaan edelleen muuttaa informaatioksi, kuten ääneksi tai kuvaksi [7, s. 213].

Modulaattorilla tarkoitetaan sekoitinta, jossa kantataajuuksinen signaali muutetaan radiotaajuiseksi. Tässä työssä modulaattorilla on tarkoitus tuottaa kolmioaaltoa, joka tehdään taajuusmodulaation avulla. Modulaattori muodostuu kahdesta oskillaattorista. Oskillaattorissa kondensaattori latautuu vastuksen kautta tiettyyn jännitteeseen, kunnes komparaattorina toimiva operaatiovahvistin vaihtaa tilaansa ja kondensaattori alkaa purkautumaan siihen saakka, kunnes kondensaattorin jännite alittaa komparaattorin vertailuarvon, jolloin operaatiovahvistimen lähtö vaihtaa jälleen tilaansa. Näin saadaan kolmiomuotoista kantaaltoa. Toisella oskillaattorilla kantaallon taajuus on 150 Hz ja toisella 15 Hz. Näistä kahdesta oskillaattorista saatujen aaltomuotojen summa lähetetään radiotaajuisena jänniteohjatuille oskillaattorille (VCO), joka toimii 4.3 GHz:n taajuudella [1].

4.2 Modulaattorin piirilevyn suunnittelu

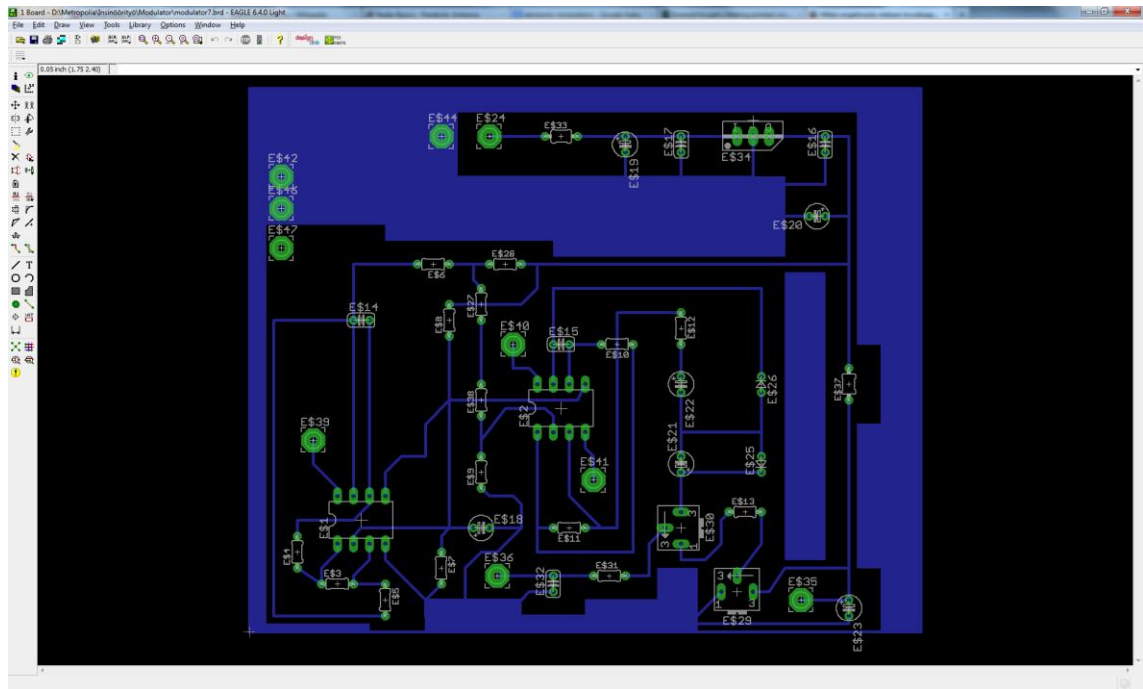
Modulaattorin piirilevyn suunnittelussa käytettiin EAGLE-piirisuunnitteluohjelmaa, joka soveltuu hyvin sekä harraste- että ammattilaiskäyttöön. EAGLE-ohjelmasta on saatavilla ilmainen versio EAGLE Light, jonka käytössä on hieman rajoitteita ammattilaisversioon verrattuna, kuten piirilevyn koon rajoitus sekä mahdollisuus luoda piirilevyyn ainoastaan kaksi signaalikerrosta (Top ja Bottom).



Kuva 9. Kuvaruutukaappaus EAGLE:n Schematic Editorin suunnittelunäkymästä [8]

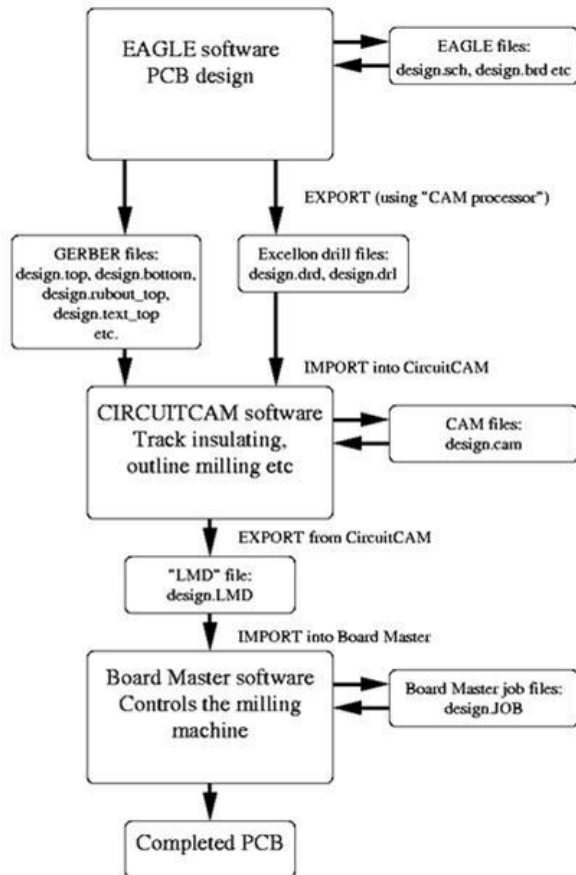
EAGLE-ohjelma koostuu kolmesta osasta: Schematic Editor (kuva 9), Layout Editor ja Autorouter. Schematic Editorilla luodaan kytkentäkaavio, Layout Editorilla tehdään piirilevy-suunnittelu ja Autorouteria voidaan käyttää automaattisen johdotuksen apuna. [8]

Tässä työssä EAGLE-ohjelman käytössä luotiin ensin *Schematic*-osiossa modulaattorin kytkentäkaavio (liite 2), josta saatiin *Layout*-osioon siirrettyä automaattisesti komponentit ja johdotukset. Kuitenkin työn edetessä huomattiin, että tehtäessä isompaa kytkentäkaaviota, *Layout*-osioon siirtyneet komponentit ja johdotukset muodostivat todella sekavan viidakon keskenään. Tällöin näitä oli hankala saada järkevään järjestykseen kytkennässä. Tästä syystä *Schematic*-osioista päätettiin luopua kokonaan ja siirryttiin luomaan kytkentäkaavio suoraan *Layout*-osioon, jossa komponentit ja johdotukset saatiin haluttuun järjestykseen (kuva 10).



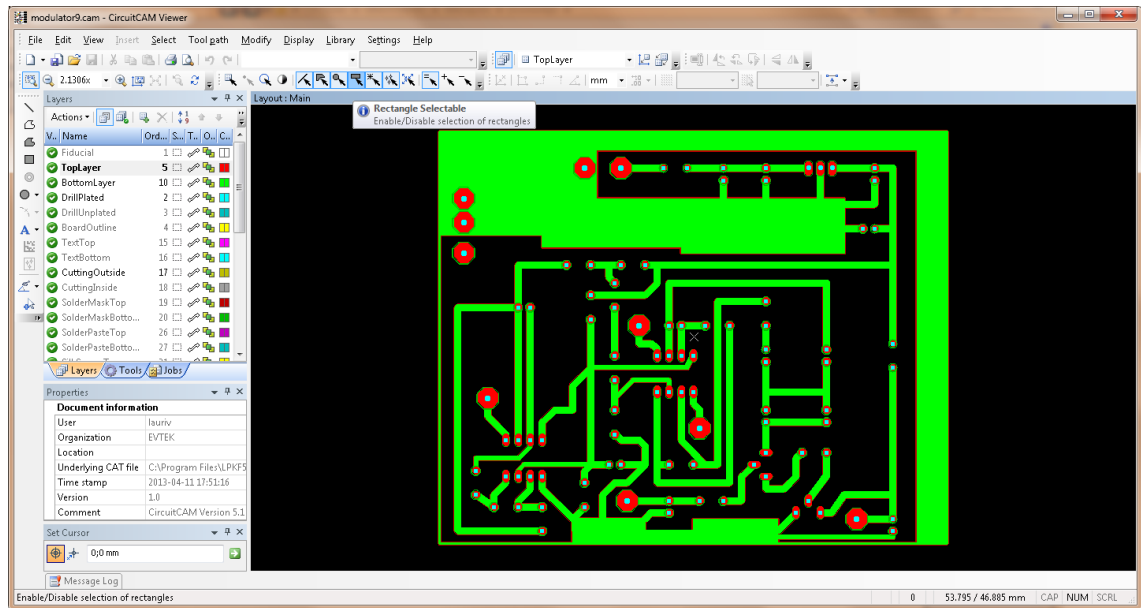
Kuva 10. Modulaattorin kytkentä EAGLE-ohjelman *Layout*-osiossa

Kun EAGLE-ohjelmalla oli saatu tehtyä modulaattorin kytkentäkaavio, alettiin suunnittelemaan miten kytkentäkaavio saadaan siirrettyä EAGLE-ohjelmasta piirilevyjyrsimelle sopivaksi. Asiaa tutkiessa selvisi, että piirilevyn teossa eri osa-alueet kuten siihen porattavat reiät, johtavat urat, levyn reunat sekä muut mahdolliset työn vaiheet muodostavat sisältävät jokainen toisistaan eroavaa informaatiota. Näin ollen jokaisesta osa-alueesta on olemassa oma tiedostomuotonsa, ja nämä täytyy muodostaa eri ohjelmien avulla. Koko prosessiin tarvitaan kaiken kaikkiaan kolmea eri ohjelmaa: EAGLE, Circuit CAM sekä jyrsimen oma BoardMaster. Prosessi on esitetty lohkokaaviona (kuva 11).



Kuva 11. Piirilevyn tekemisen vaiheet [9]

Ensimmäiseksi luodaan EAGLE-ohjelmalla tarvittavat CAM-tiedostot, joita tarvitaan piirilevyn tekemiseen. Saatavat tiedostot ovat samannimisiä, tiedostopäätte kertoo, mitä informaatiota tiedosto sisältää: kuparointi, reiät, levyn reunat tai tekstiä. Ohjelma luo kuparointia varten eri kerrokset. Lisäksi ohjelmassa määritellään rei'ille oikeat mittasuhteet ja sijainnit piirilevyllä. Näiden toimenpiteiden jälkeen tiedostot siirretään Circuit CAM -ohjelmaan.

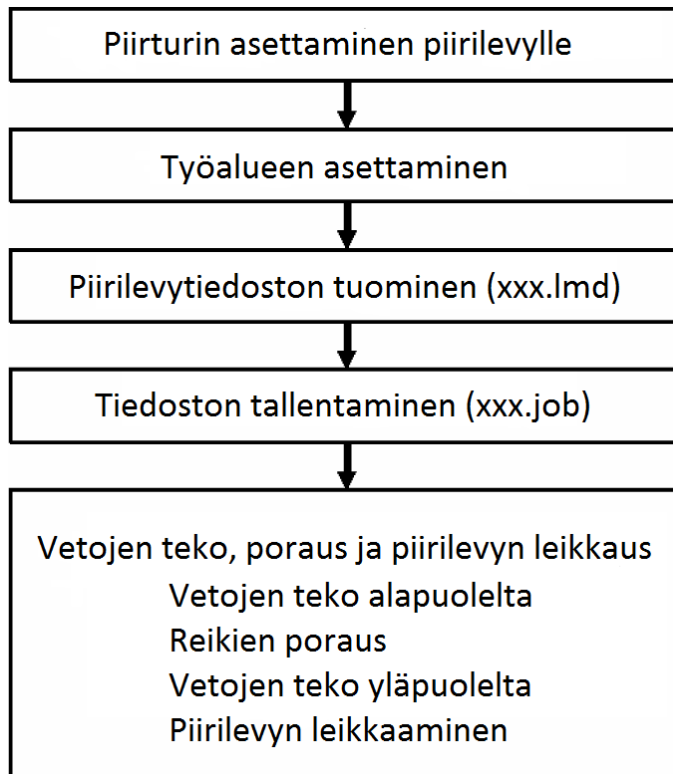


Kuva 12. Modulaattorin kytkentä Circuit CAM-ohjelmassa

Circuit CAM-ohjelmaan tuodaan aiemmin EAGLE:ssa luodut tiedostot. Ohjelmalla määritellään tiedostojen ominaisuudet piirilevyjyrsimelle sopiviksi ja tuodaan eri kerrokset näkyviin kytkentäkaaviossa (kuva 12). Lisäksi johdotusten ja kuparoinnin välille tehdään eristys. Piirilevyn irroitusta varten ei tässä työssä tehty omaa tiedostoa, vaan käytettiin erillistä giljotiinia, jotta tämä vaihe nopeutuisi. Lopputuloksena saatiin Circuit CAM-ohjelman avulla jyrsimen käyttöä varten .lmd -päätteinen tiedosto, joka viedään jyrsimen BoardMaster-ohjelmaan. [9]

4.3 Modulaattorin piirilevyn teko

Kun Circuit CAM-ohjelmalla oli luotu ja määritelty piirilevyjyrsimelle sopiva tiedosto, päästiin varsinaiseen piirilevyn jyrsimiseen BoardMaster-ohjelman avulla. BoardMaster-ohjelmalla ohjataan LPKF:n jyrsinkonetta, jolla saadaan tehtyä piirilevyjä joko yksitai kaksipuoleisina. Piirilevyn luomisessa on useita vaiheita. Ne esitetään lohkokaaaviossa (kuva 13, ks. seur. s.).

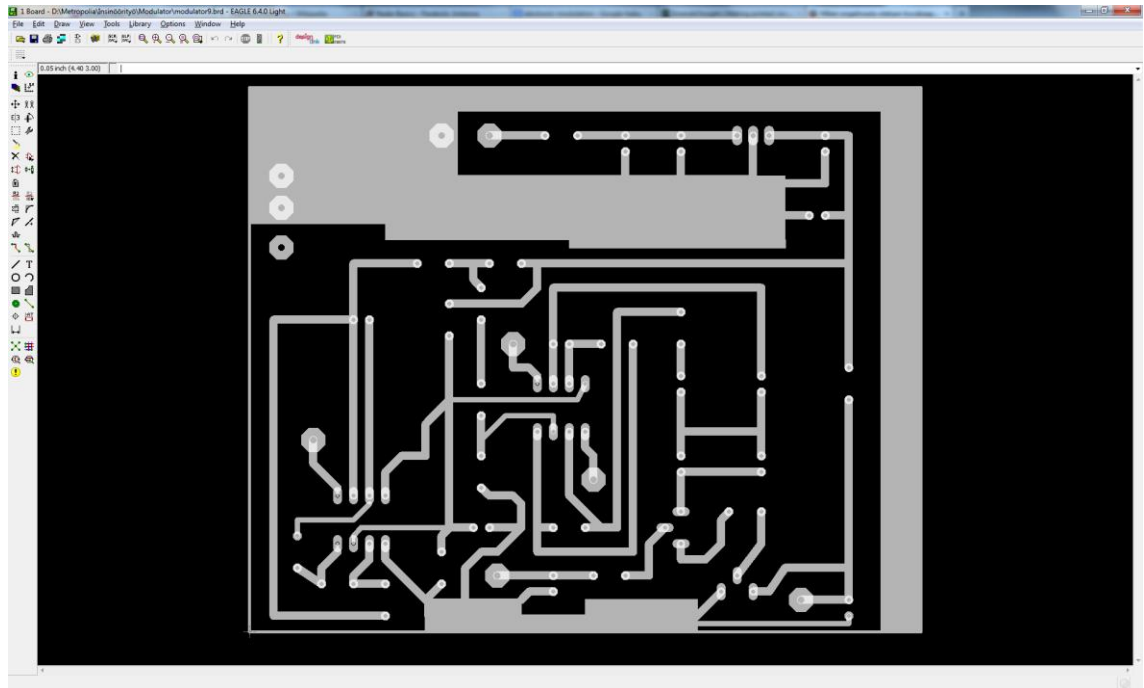


Kuva 13. Piirilevyn luominen käyttäen LPKF-piirturia ja BoardMasteria [10, s. 42]

Ensimmäisenä vaiheena on asettaa piirturi eli jyrsimen terä arvioidulle työskentelyalueelle. Seuraavaksi tuodaan Circuit CAM:ssa tehty tiedosto BoardMaster-ohjelmaan. Tämän jälkeen tiedoston piirilevy asetetaan sopivaan kohtaan ohjelmassa ja liikutetaan jyrsimen terää siten, että piirilevyn kaikki kulmat löydetään. Kohdistusreikien teko olisi pitänyt tehdä tässä vaiheessa kaksipuoleista piirilevyä varten, mutta koska modulaattorin kytkentä saatiin mahtumaan kokonaan yhdelle puolelle levyä, ei kohdistusreikiä tarvinnut tehdä. Seuraavaksi asetetaan ohjelmassa työkalut eri työvaiheisiin eli viivavetojen tekemiseen ja reikien poraukseen. Asetuksissa määritellään terän koot sekä vetojen tekoa että porausta varten. Piirilevyn leikkaaminen tehtiin giljotiinin avulla, joten tämä työvaihe jätettiin ohjelmassa välistä. Kun tarvittavat asetukset saatiin BoardMaster-ohjelmassa kohdalleen, jyrsin suoritti viivavetojen teon ja reikien porauksen ohjelman asetusten pohjalta. Näin saatiin modulaattoria varten piirilevy tehtyä. [10, s. 42–43.]

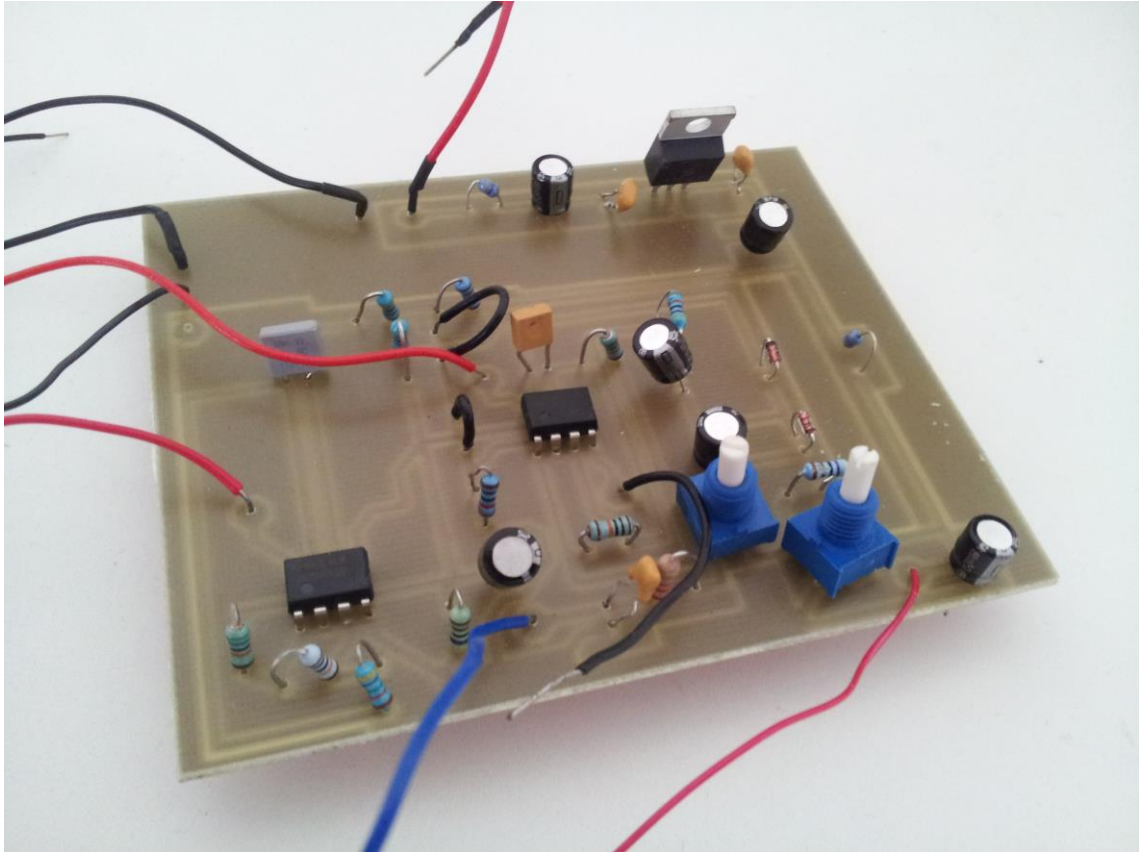
Kun piirilevy oli saatu tehtyä, alettiin juottaa modulaattorin tarvitsemia komponentteja piirilevyyn. Kuitenkin jo muutaman komponentin juottamisen jälkeen huomattiin että komponenttien kiinnittämiseen käytettävä tina levisi laajemmalle alueelle kuin oli tarkoitus ja näin ollen piirilevyn maadoitetun alueen ja komponenttien välillä tapahtui oikosul-

kuja. Syy tähän löytyi piirilevyssä käytetyistä viivanleveyksissä, jotka osoittautuivat liian kapeiksi siihen nähden, mitä johdotukset sekä komponenttien kiinnitysalueet vaativat. Jo aiemmin piirilevyn suunnitteluvaiheessa oli ongelmia saada kaikki komponentit ja johdotukset mahtumaan samalle yksipuoleiselle piirilevyille, jolloin ei vielä osattu huomioida muita mahdollisia ongelmia, joita piirilevyn tekeminen tuo tullessaan.



Kuva 14. Modulaattorin kytkentä EAGLE:ssa (viivaleveyksiä kasvatettu)

Kun komponenttien juottamisessa ilmenneet ongelmat havaittiin, päädyttiin leventämään johdotusten viivaleveyksiä sekä paranneltiin lisäksi komponenttien sijoittelua EAGLE-ohjelman avulla (kuva 14). Tällä tavoin helpotettiin merkittävästi komponenttien juottamista, sillä komponenttien varsin suuren määrän takia modulaattorissa, virheisiin ei ollut varaa juurikaan. Tinausten korjaamiseen pystyttiin käyttämään tinaimuria ja veitsenkärkeä, mutta isompien virheiden korjaamiseen vaadittiin kokonaan uusi piirilevy ja komponenttien irrotus pieleen menneestä piirilevystä. Koko prosessi piirilevyn suunnittelusta komponenttien juottamiseen jouduttiin tässä työssä tekemään useaan otteeseen, ennen kuin piirilevystä saatiin valmis kappale. Lopuksi piirilevyn jokaisesta komponentista mitattiin yleismittarilla piirilevyn maaton ja komponentin välinen eristyksen pitävyys. Tällä havaittiin mahdolliset oikosulut ja muut ei-halutut kytketyymiset. Havaitut heikot eristykset korjattiin veitsenkärkeä ja tinaimuria hyväksikäyttäen.

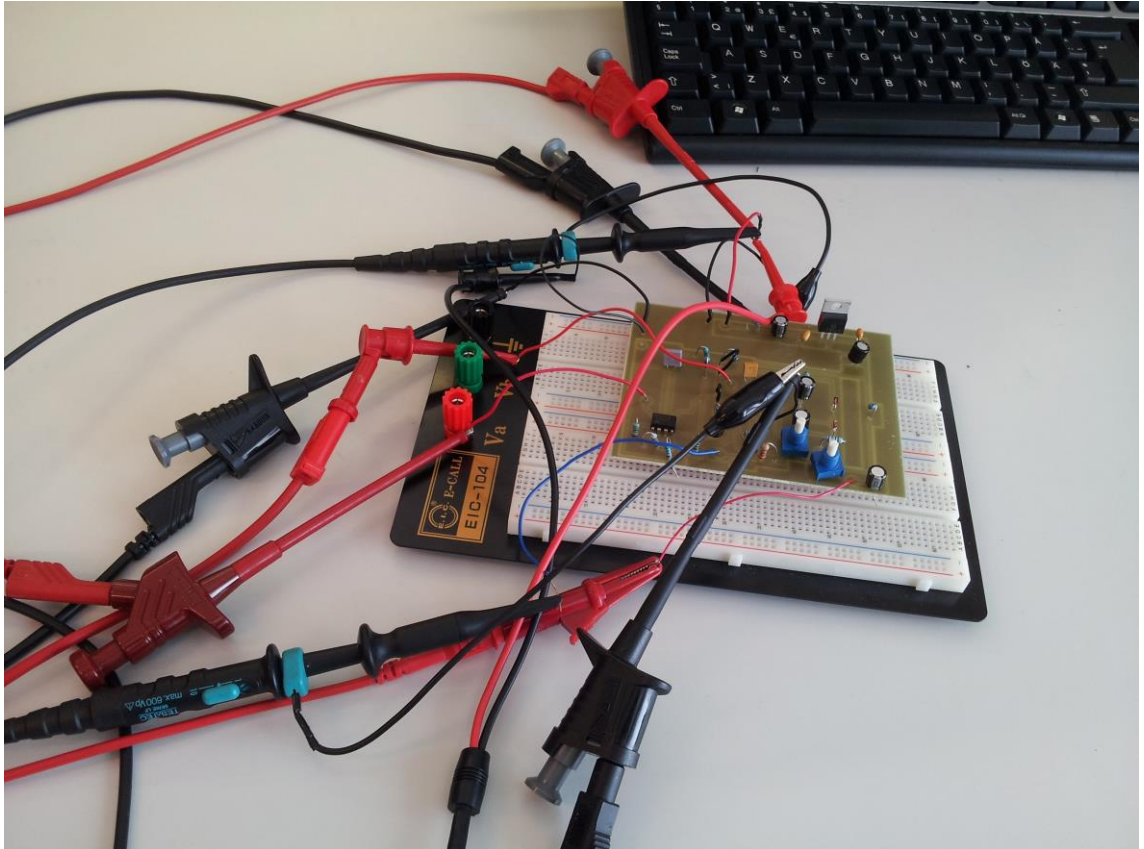


Kuva 15. Modulaattori rakennettuna

Kuvassa 15 on esitetty modulaattori piirilevyllä rakennettuna. Kytkennässä tarvittiin kahta hyppylankaa, mutta muuten kytkentä saatiin toteutettua komponenttien asettelun ja johdotusten osalta suunnitellusti. Piirilevyllä on lisätty mittauksia varten kaapelin päät jännitteensyöttöjä, käyttöjännitteitä, maadoituksia ja mittapisteitä varten.

4.4 Modulaattorin mittaaminen

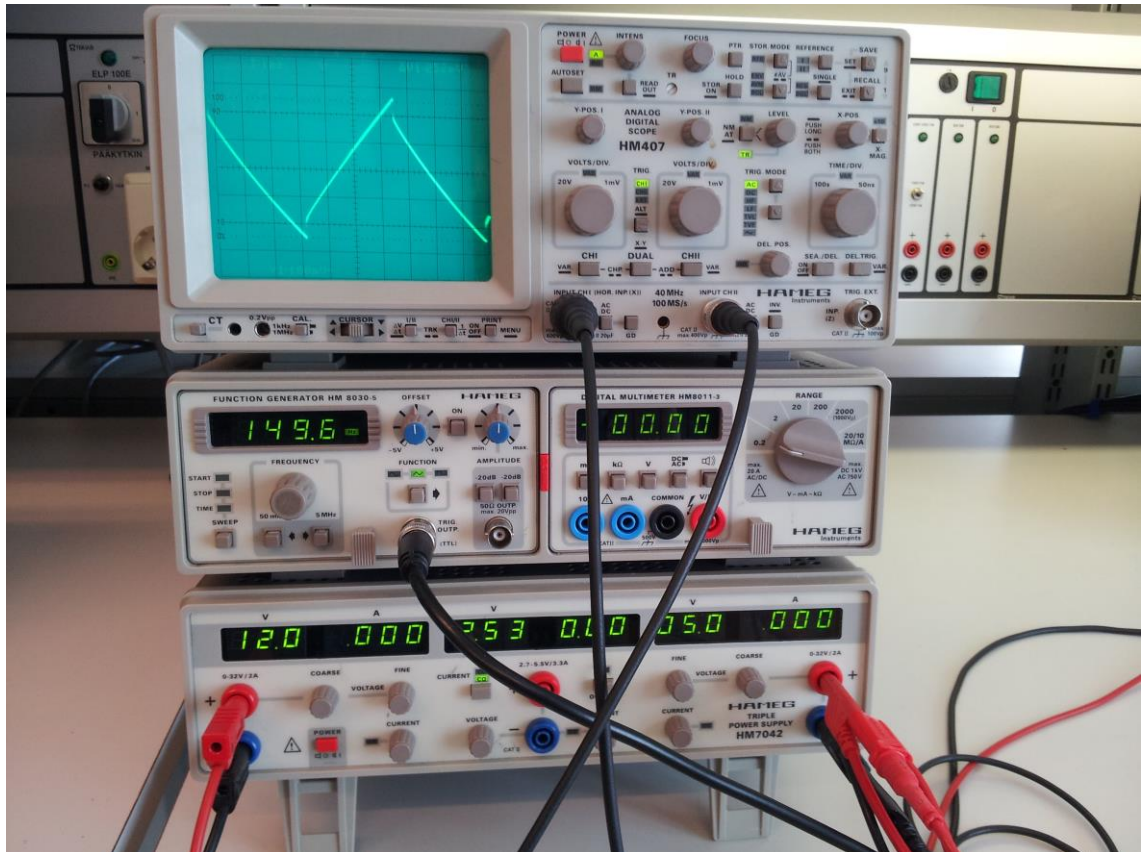
Modulaattorin piirilevyn suunnittelun, jyrsimisen ja komponenttien juottamisen jälkeen suoritettiin modulaattorin toiminnan testausta Metropolia Ammattikorkeakoulun elektronikan laboratoriossa. Mittauksessa käytettiin Matjaz Vidmarin sovelluksen modulaattorin kytkentää samoilla mittausarvoilla (liite 2). Mittauksessa oli tarkoituksena testata, miten modulaattori käytännössä toimii sekä katsoa, millaisia aaltomuotoja modulaattoriin tulee ja millaista lähtee eteenpäin VCO:lle.



Kuva 16. Modulaattori kytkentäalustalla sekä eri jännitteensyötöt ja mittapäät

Modulaattorin kytkennän mittausta varten tarvittiin yhteensä kaksi jännitteensyöttöä sekä operaatiovahvistimille käyttöjännitteet. Mittapäät aaltomuotoja varten laitettiin toista jännitteensyöttöä (12V) sekä modulaattorilta VCO:lle lähtevää väylää vasten (kuva 16). Tämän väylän ja maatason välille muodostuva aaltomuoto on tämän mittausprosessin tärkein mitattava ominaisuus.

Testauksen yhteydessä mittapäät kytkettiin oskilloskoopin kahteen kanavaan, joiden avulla voitiin tutkia millaisia aaltomuotoja kytkennästä saadaan kun sähkötkytettiin päälle virtalähteeseen.



Kuva 17. Virtalähde ja oskilloskooppi mittauksessa ja näkymä oskilloskoopin kuvaruudulla

Kuvassa 17 näkyy mittauksessa käytetty virtalähde sekä oskilloskooppi ja sen näytölle muodostunut aaltomuoto. Mittausta suoritettiin tässä vaiheessa kanavasta 1, joka näyttää modulaattorilta VCO:lle lähtevän väylän. Kun tätä aaltomuotoa verrataan Matjaz Vidmarin sovelluksessa esitettyyn teoriaan, niin voidaan todeta, että työssä rakennettu modulaattorin kytkentä toimii vaadittavalla tavalla. Tämä kolmioaalto muodostuu kahden oskillaattorin taajuuksien summasta. Tässä modulaattorissa käytettiin taajuusmodulaatiota, jolloin kantoaallon taajuutta voidaan säätää amplitudin ollessa vakio. Kantoaallon taajuus voidaan asettaa tässä modulaattorissa välille 50...300 Hz. Käytetty taajuus riippuu vastuksen ja kondensaattorin arvoista oskillaattorissa.

Korkeusmittarissa modulaattorin tehtävä on tuottaa VCO:n tarvitsema värähtelytaajuus. Tällä värähtelytaajuudella pyritään eliminoimaan dopplertaajuuden aiheuttama virhe joka johtuu lentokoneen nousu- ja laskuvaiheessa tapahtuvassa korkeusmittarin näennäisessä etäisyyden muutoksessa suhteessa maanpintaan. Tällöin korkeusmittari ei ole kohtisuorassa maanpintaan nähden vaan hieman vinossa, jolloin mittaus ei ole täysin luotettava.

5 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin Matjaz Vidmarin kehittämän korkeusmittarin ominaisuuksia ja tämän pohjalta suunniteltiin ja rakennettiin korkeusmittarin kahta osa-aluetta: antennia ja modulaattoria. Vidmarin sovelluksen tietojen pohjalta työssä saatiin toteutettua korkeusmittariprojektiin antennit sekä modulaattori. Näitä osia tarvitaan myöhemmin, kun korkeusmittarin muut osa-alueet on suunniteltu ja rakennettu.

Tämän insinööriyön alkuperäisenä tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa korkeusmittari kokonaisuudessaan alusta loppuun sekä myös kehittää eri osa-alueita. Työn edetessä huomattiin kuitenkin korkeusmittariprojektin laajuus, joten projekti päätettiin jakaa useampaan osaan siten, että tässä työssä tullaan käsittelemään ainoastaan muutamaa osa-aluetta korkeusmittariin liittyvästä kokonaisuudesta. Tämä oli aikataulullisesta syystä järkevä ratkaisu.

Projektin ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin korkeusmittariin tarvittavien antennien toimintaa. Antennimitoitusten pohjalta antennilaatikot rakennettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun koneosastolla ja niistä saatiin fyysisiltä mitoiltaan onnistuneet rakennelmat. Antennien ominaisuuksien sähköisiä mittauksia ei suoritettu tässä työssä, sillä mittauksia varten ei saatu asiantuntevaa henkilöä avuksi. Lisäksi antennilaatikoiden rakentamisen vaiheessa aikataulut viivästyivät useita kuukausia, joten tästä vaiheesta päätettiin luopua ja luottaa siihen, että antennit toimivat.

Toisessa vaiheessa tutkittiin modulaattorin ominaisuuksia ja alettiin suunnittelemaan piirilevyä Matjaz Vidmarin sovelluksesta otetun kytkentäkaavion pohjalta. Suunnitteluun käytettiin EAGLE-piirilevy-suunnitteluohjelmaa, jota ei oltu käytetty kovin monta kertaa Metropolia Ammattikorkeakoulun piirilevy-suunnitteluissa ennen tätä työtä. Tästä syystä ohjelmaan perehtymiseen meni aikaa jonkin verran. Ohjelmalla saatiin luotua piirilevykaavio, joka pystyttiin siirtämään Circuit CAM -ohjelmassa muokkaamisen jälkeen LPKF:n jyrsimelle. Jyrsimen käytössä oli myös opeteltavaa jonkin verran, mutta lopulta jyrsimellä saatiin luotua piirilevy, johon päästiin juottamaan komponentteja. Komponentteja juottaessa huomattiin heti alussa, että viivanleveydet olivat piirilevyllä liian kapeita, joten viivanleveyksiä levennettiin EAGLE:lla, ja piirilevy luotiin uudestaan jyrsimellä. Piirilevyntekoprosessia jouduttiin tekemään useita kertoja ennen kuin saatiin luotua onnistunut modulaattorin kytkentä piirilevyille. Lopuksi modulaattoria testattiin

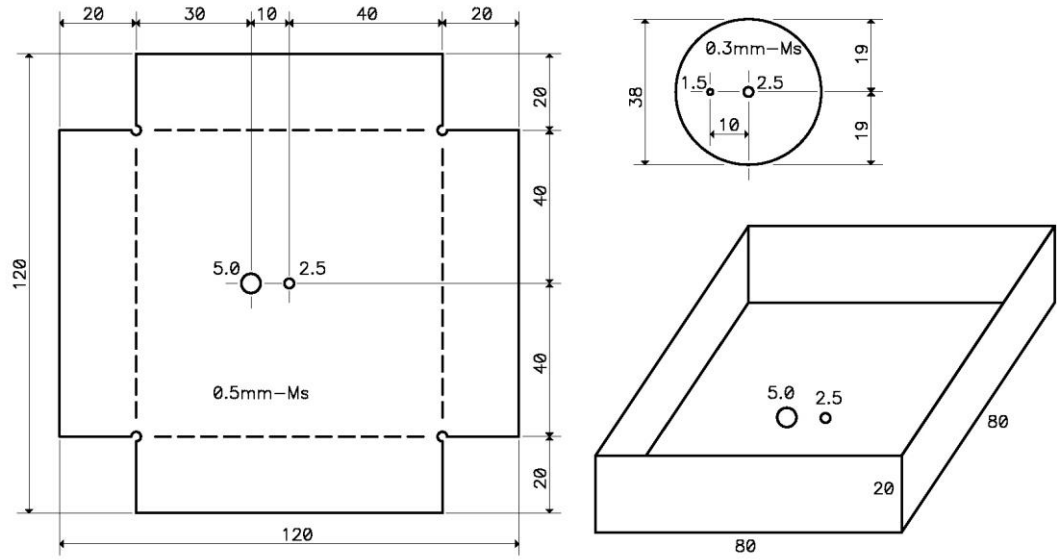
elektroniikan laboratoriossa oskilloskooppiin kytkettynä ja havaittiin, että modulaattorilta VCO:lle lähtevä aaltomuoto vastaa teoriassa esitettyä.

Työn tavoite ja aikaansaannokset muuttuivat monelta osin siihen verrattuna, mitä alunperin oli suunnitteilla. Aikataulun venyminen ja uusien asioiden opettelu vaikuttivat eniten tähän. Työn kuluessa saatiin kuitenkin rakennettua antenni ja modulaattori korkeusmittaria varten. Näiden rakennettujen osien pohjalta korkeusmittariprojektista on yksi osuus takana, ja loput osa-alueet tehdään myöhemmin osana projektia.

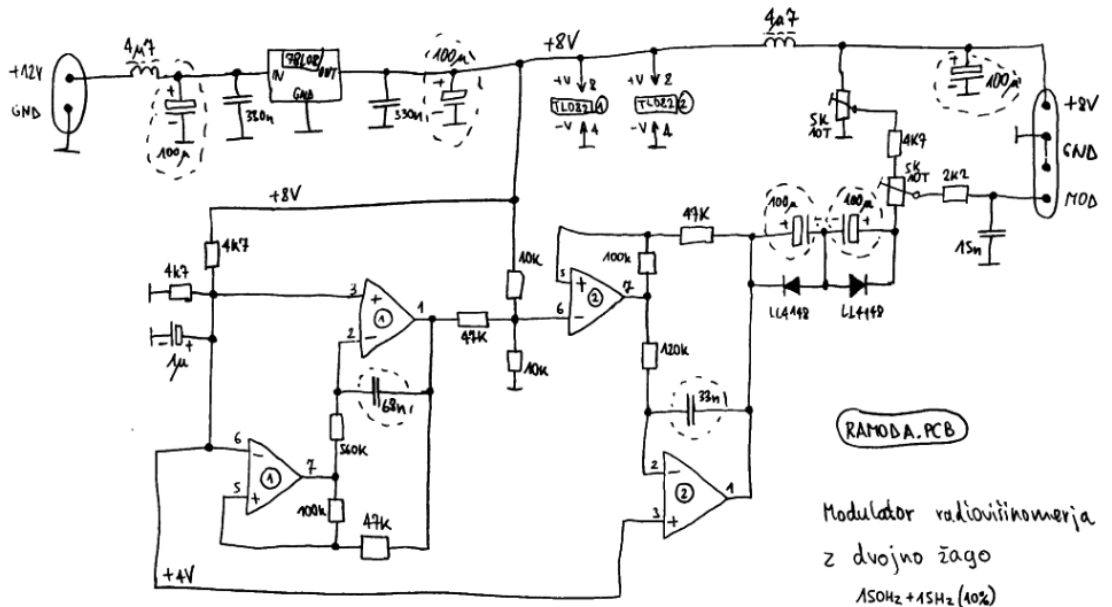
Lähteet

- 1 Vidmar, Matjaz. Landing Radio Altimeter. Verkkodokumentti. <<http://lea.hamradio.si/~s53mv/radalt/radalt.html>>. Luettu 16.1.2014.
- 2 Klemola, Olli, Lehto, Arto. 1998. Tutkatekniikka. Otatieto.
- 3 Graf, Rudolf. 1999. Modern Dictionary of Electronics, 7th Edition. Rudolf F. Graf.
- 4 Skolnik, Merrill. 1962. Introduction to Radar Systems. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- 5 Wolff, Christian. Parabolic Antenna. Verkkodokumentti. <<http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Parabolic%20Antenna.en.html>>. Luettu 2.3.2014.
- 6 Schmitt, Ron. 2000. Understanding electromagnetic fields and antenna radiation takes (almost) no math. Verkkodokumentti. <<http://www.classictesla.com/download/emfields.pdf>>. Luettu 2.4.2014.
- 7 Räisänen, Antti, Lehto, Arto. 2007. Radiotekniikka. Otatieto.
- 8 Jämsä, Lauri. 2010. EAGLE-piirisuunnitteluohjelmiston esittely. Verkkodokumentti. <<http://www.ruuvipenkki.fi/2010/07/28/eagle-piirisuunnitteluohjelmiston-esittely>>. Luettu 19.3.2014.
- 9 Sharples, Steve. Eagle PCB -> LPKF Milling Machine Mini-How-To. Verkkodokumentti. <http://optics.eee.nottingham.ac.uk/eagle/eagle2lpkf_at_eee.html>. Luettu 24.3.2014.
- 10 He, D.F., Itozaki, H. 2006. Making printed circuit boards (PCBs) using an LPKF plotter. Circuit World, Vol. 32 Iss: 3.

Antennin fyysiset mitat



Modulaattorin kytkentäkaavio



RAMODA.PCB

Modulator radioviivomerija
z dvojno žago
150Hz + 15Hz (10%)

SS3MV AA/1/2005