

DOPPLER SUPERHETERODYNE -VASTAANOTIN

Pekka Taskila
Opinnäytetyö
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu,
Tekniikan yksikkö, Tietotekniikan
osasto

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Tietotekniikan koulutusohjelma	Insinöörityö	47	+	6
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Elektroniikan suunnittelu ja testaus	10.12.2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Tietotekniikan yksikkö, Tietotekniikan osasto	Pekka Taskila			
Työn nimi				
Doppler superheterodyne -vastaanotin				
Avainsanat				
Doppler-ilmiö, taajuus, paikannus, mittaus, superheterodyne-vastaanotin				

Doppler-ilmiö aiheuttaa kuullussa taajuudessa vääristymän, joka voidaan havaita taajuuden, aallonpituuden tai vaiheen muutoksena alkuperäisestä signaalista. Vääristymän suuruuteen ja suuntaan vaikuttaa se, pieneneekö vai suureneeko signaalilähteen ja vastaanottimen välinen etäisyys, sekä nopeus, jolla ne liikkuvat toisiinsa nähden. Tätä ilmiötä on mahdollista hyödyntää radiolähettimen paikantamisessa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa protolevy, jolla voitaisiin madalta vastaanotettu UHF-taajuus helpommin käsiteltävään muotoon, josta doppler-ilmiön aiheuttama taajuudenmuutos voidaan havaita. Taajuuden madaltamista varten suunniteltiin superheterodyne-vastaanotin. Protolevy valmistettiin ja testattiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tiloissa. Protolevyn testauksessa käytettiin signaaligeneraattoria simuloimaan vastaanotettua signaalia.

Alkuperäiseen tavoitteeseen ei tämän opinnäytetyön puitteissa päästy. Superheterodyne-vastaanottimen ohjelmoitavan PLL-piirin ohjelmointiongelmien vuoksi ei pystytä varmuudella sanomaan, pystytäänkö suunnitellulla protolevyllä muuntaamaan vastaanotettu signaali tarpeeksi alhaiselle välitaajuudelle, jota voitaisiin jatkokäsitellä.

OULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES ABSTRACT

Degree programme

Information Technology

Thesis

Bc. S.

Number of pages + appendices

47 + 6

Line

Design and testing of electronics

Date

10.12.2011

Commissioned by

Oulu University of Applied Sciences,
School of Engineering,
Information Technology Laboratory

Author

Pekka Taskila

Thesis title

Doppler superheterodyne receiver

Keywords

The Doppler Effect, frequency, positioning measurement, superheterodyne receiver

The Doppler Effect is distortion in the heard frequency which can be identified as change of the frequency, wave length or phase. Relative movement between the frequency transmitter and the receiver and their speed to each other affect the size of the distortion. For example, when the distance between transmitter and receiver is extending, the frequency heard by receiver is lower than the frequency emitted by the transmitter. This phenomenon can be used in locating a radio transmitter.

The goal of this final thesis was to design prototype receiver. The device should lower received signal to level which can be furthermore processed. The receiver type was chosen to be Superheterodyne receiver. The frequency change made by Doppler Effect should be noticeable in IF-frequency. The prototype receiver was manufactured and tested in laboratory of Oulu University of Applied Sciences. A signalgenerator was used to simulate received signal.

The original goal was not met since programming failure of PLL-circuit. Because of the failure it is not sure if the designed prototype is capable of transforming the received signal to low enough IF-frequency.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	4
ABSTRACT	4
SISÄLTÖ	4
LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	7
2 DOPPLER-ILMIÖ	8
2.1 Paikannus doppler-ilmiön avulla	9
2.2 Superheterodyne-vastaanotin.....	11
3 KOMPONENTTIEN VALINTA.....	14
3.1 Virtalähteen suunnittelu	15
3.2 Piirilevyn ohjelmointiliitin	16
4 ELEKTRONIIKAN SUUNNITTELU	19
4.1 Kytkenä.....	19
4.2 Alipäästösuodatin	20
5 PIIRILEVYJEN VALMISTUS.....	21
6 PIIRILEVYN TESTAUS.....	24
6.1 Käyttöjännitetestti	24
6.2 T7024-vahvistinpiirin testaus	26
6.3 Paikallisoskillaattorin testaus.....	28
6.4 Mikserin testaus.....	32
7 LMX2531LQ2570E-PIIRIN OHJELMOINTI.....	37
7.1 Ohjelmoinnin esivalmistelut	37
7.2 Ohjelmoinnin virhetilanteet	37
7.3 Codeloader4-ohjelman asetukset	39
8 JATKOTOIMENPITEET	43
9 POHDINTA.....	44
LÄHTEET	45
LIITTEET	47

LYHENTEET

CE	Chip Enable, piirin aktivointisignaali
DB25	D-subminiature-liitin, jossa on 25 pinniä (sarjaportti)
Hz	Hertsi, 1/s
ISM	Industrial Scientific Medical
ISM-taajuusalue	Vapaasti käytettävissä oleva taajuuskaista (902 - 928 MHz ja 2,4000 - 2,4835 GHz, sekä 5,728 - 5,850 GHz)
LE	Latch Enable
LNA	Low-Noise Amplifier, matalakohinainenvahvistin
LPT	Line Print Terminal, rinnakkaisportti, DB25-liitin
PA	Power Amplifier, tehovahvistin
PLL	Phase Locked Loop, vaihelukitusilmukka
RF	Radio Frequency, radiotaajuus
RX	Receive, vastaanotto
SMA	SubMiniature version A-liitin
TX	Transmit, lähetys
UHF	Ultra High Frequency, 0,3 GHz – 3 GHz taajuusalue
USB	Universal Serial Bus, tietokoneen sarjaväylä

VCO

Voltage-Controlled Oscillator, jänniteohjattu
oskillaattori

1 JOHDANTO

Doppler-ilmiönä on tunnettu jo pitkään. Itävaltalainen matemaatikko ja fyysikko Charles Doppler selitti ilmiön toiminnan vuonna 1842. Ilmiö on saanut nimen sen löytäjän mukaan. Doppler-ilmiöksi kutsutaan tapahtumaa, kun havaitsija havaitsee jonkin tapahtuman eri taajuudella kuin lähettäjä on sen alun perin lähettänyt. Doppler-ilmiön laskukaavat toimivat äänelle, valolle ja radioaalloille. Toisin sanoen laskukaavat pätevät kaikelle aaltomuotoisille ja toistuville tapahtumille, kuten esimerkiksi meren aaltojen iskeymien laskemiseen. (1, hakusana Doppler effect; 2, hakusana Doppler effect.)

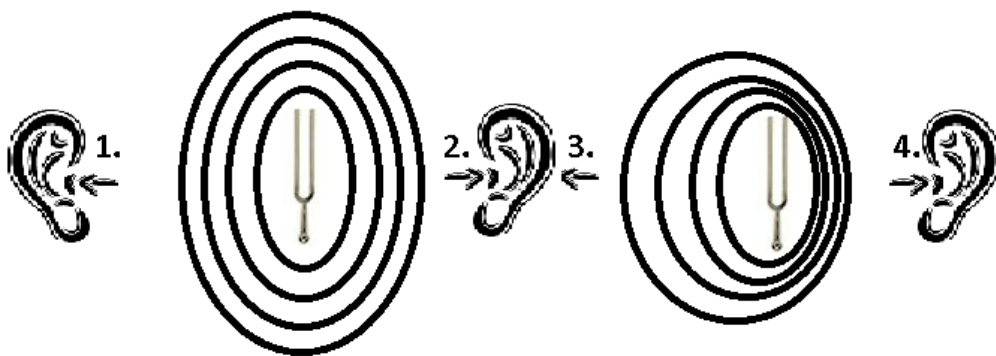
Doppler-ilmiötä käytetään hyväksi monissa sovelluksissa ja uusia sovelluksia kehitellään koko ajan lisää. Näistä ehkäpä tunnetuimpia ovat erilaiset kaiku-luotaimet ja poliisin käyttämä dopplertutka. Tässä opinnäytetyössä selvitetään doppler-ilmiön hyväksikäyttöä lähettimen tarkassa paikannuksessa. Kun tiedetään, millä taajuudella lähetin lähettää signaalia, voidaan lähettimen paikka selvittää tarkastelemalla doppler-ilmiön muuttamaa vastaanotettua taajuutta. Kun tiedetään oma kulkunopeus, voidaan päätellä, kuljetaanko kohdetta kohti vai siitä poispäin. Tietoa siitä, kuljetaanko kohdetta kohti vai siitä poispäin, voidaan käyttää kohteen tarkkaan paikantamiseen, jos tiedetään yli kolmesta mittauspisteestä, missä suunnassa kohde on (kolmiomittaus). (3.)

Työn tavoitteena on rakentaa prototyyppi, josta voidaan luotettavasti saada vastaanotetusta signaalista välitaajuus, jota pystytään käsittelemään siten, että siitä voidaan laskea doppler-ilmiön aiheuttama muutos vastaanotettuun signaaliin. Tässä työssä valittiin lähetettäväksi signaaliksi 2,4 GHz:n vapaa ISM-taajuus. Nykyisillä taajuuslaskureilla ei ole kustannustehokasta laskea 2,4 GHz:n taajuudella värähtelevän signaalin jokaista kellojaksoa ja yrittää löytää siitä muutamien kymmenien hertsien muutoksia vastaanotetussa taajuudessa. Tässä työssä ei oteta huomioon laitteen massatuotanto- tai dopplertaajuuden laskuri osion vaatimuksia.

2 DOPPLER-ILMIÖ

Doppler-ilmiöksi kutsutaan tapahtumaa, kun lähde ja vastaanottaja liikkuvat toisiaan kohti tai toisistaan poispäin. Tällöin vastaanottaja havaitsee lähteen lähettämän signaalin eri taajuudella kuin se on lähteeltä lähettänyt. Signaali havaitaan alkuperäistä tiheämpänä, kun vastaanotin ja lähetein lähenevät toisiaan, ja alkuperäistä harvempana, kun ne loittonevat toisistaan. (1, hakusana Doppler effect; 2.)

Ilmiö on todettavissa esimerkiksi ääniraudan avulla. Äänirauta on esine, joka lähettää ääniaaltoja tasaisella 440 Hz:n taajuudella ja sitä käytetään esimerkiksi soittimien virittämiseen. Kuvassa havaitsija (korva) pysyy paikoillaan. Vasemmanpuoleisessa kuvassa myös lähde (äänirauta) pysyy paikallaan ja oikeanpuoleisessa kuvassa lähde (äänirauta) liikkuu oikealle päin. (Kuva 1.)



Äänirauta paikallaan

Äänirauta liikkuu oikealle

KUVA 1. Havaitsijan havaitseman taajuuden muutos lähteen liikkeessa

Kuvassa 1 kohdissa 1 ja 2 äänirauta ja korva ovat paikallaan. Korva havaitsee ääniraudan taajuuden samana kuin se on ääniraudasta lähtenyt, eli 440 Hz:n taajuudella. Kohdassa 3 korva havaitsee liikkuvan ääniraudan taajuuden matalampana ja kohdassa 4 kimeämpänä kuin se on ääniraudasta lähtenyt. Taajuuden muutos riippuu siitä, millä nopeudella äänirauta liikkuu ja liikkuuko se korvaa kohti vai poispäin siitä. Kuvassa ääniraudan ympärillä olevat ympyrät kuvaavat ääniaaltoja. (Kuva 1.) Havaittu doppler-ilmiön muut-

tama taajuus saadaan laskettua kaavalla 1 (1, hakusana: Doppler effect; 4, s. 9).

$$f = f_0 * \left(\frac{v+v_k}{v-v_l} \right), \text{ missä}$$

KAAVA 1

f = havaittu/vastaanotettu taajuus

f_0 = alkuperäinen lähetetty taajuus

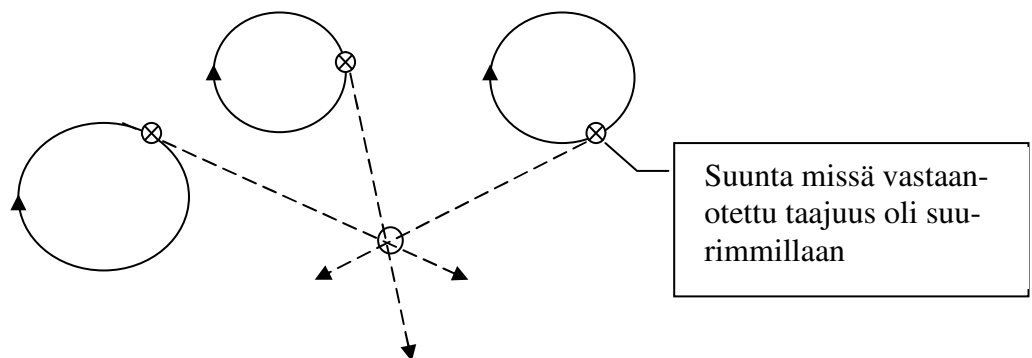
v = äänen nopeus (valonnopeus laskettaessa RF-taajuudella tai valolle ta-
pahtuvia ilmiöitä)

v_k = kuulijan lähestymisnopeus

v_l = lähettäjän lähestymisnopeus

2.1 Paikannus doppler-ilmion avulla

Kun oletetaan, että lähetin pysyy paikoillaan ja lähettää signaalia tietyllä taajuudella. Voidaan doppler-ilmion aikaansaamaa taajuuden muutosta käyttää hyväksi lähettimen paikannuksessa, kun tiedetään luotettavasti oma kulkunopeus. Kuljettaessa tiettyä nopeutta suurehkoa ympyrää voidaan etsiä suurimman doppler-taajuuden aiheuttama suunta. Lähetin sijaitsee siinä suunnassa, joka antaa suurimman doppler-taajuuden muutoksen. Kun tämä toimenpide toistetaan vähintään kolmessa eri paikassa, voidaan luotettavasti paikantaa lähetin. (6, s. 8.) (Kuva 2.)



KUVA 2. Lähettimen paikantaminen

Tässä opinnäytetyössä lähettimen taajuus pidetään vakiona. Taajuudeksi on valittu 2,4 GHz, koska se on vapaassa käytössä olevalla ISM-kaistalla (6, hakusana ISM-taajuusalue). Koska oletetaan, että lähetin pysyy paikoillaan, voidaan kaavaan 1 merkitä lähettimen nopeudeksi nolla ($v_l = 0$). Näin saadaan kaava 2.

$$f = f_0 * \left(\frac{v+v_k}{v} \right), \text{ missä}$$

KAAVA 2

f = havaittu/vastaanotettu taajuus

f_0 = alkuperäinen lähetetty taajuus

v = äänen nopeus

v_k = kuulijan lähestymisnopeus

Kaavasta 2 voidaan äänen nopeus v korvata valonnopeudella c , sillä RF-taajuudet kulkevat valonnopeudella tyhjiössä. Väliaineesta riippuen RF-taajuudet saattavat kulkea myös hitaammin, mutta tässä työssä etsitään ai-noastaan suurimman taajuusmuutoksen aiheuttamaa suuntaa, joten RF-taajuuden nopeus voidaan merkitä valonnopeudella. Näin saadaan kaava 3, jolla voidaan laskea teoreettisen doppler-ilmiön aiheuttaman taajuuden muutoksen. (7, hakusana Radioaallot.)

$$f = f_0 * \left(\frac{c+v_k}{c} \right), \text{ missä}$$

KAAVA 3

f = havaittu/vastaanotettu taajuus

f_0 = alkuperäinen lähetetty taajuus

c = valonnopeus

v_k = kuulijan lähestymisnopeus

Kaavaan 3 sijoittamalla saadaan laskettua esimerkiksi reipasta kävelyvauhtia lähetintä kohti kulkevan vastaanottajan havaitsema taajuudenmuutos, kun käytössä on 2,4 GHz:n taajuudella toimiva lähetin.

$$2\,400\,000\,000 \text{ Hz} * \left(\frac{299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right) = 2\,400\,000\,020 \text{ Hz}$$

Taajuus havaitaan siis 20 Hz todellista taajuutta korkeampana, kun kuljetaan lähetintä kohti. Vastaavasti samalla nopeudella lähettimestä poispäin kuljettaessa havaitaan taajuus 20 Hz matalampana. Kun vaihdetaan vastaanottajan nopeudeksi polkupyörällä 6 m/s ajava henkilö, aiheuttaa doppler-ilmio 50 Hz:n taajuuspoikkeaman vastaanotettuun taajuuteen. Mopedilla ajava henkilö aiheuttaakin jo noin 100 Hz muutoksen vastaanotettuun taajuuteen.

Kaava 3 toimii ainoastaan, kun kuljetaan kohtisuoraan lähetintä kohti. Jos vastaanotin liikkuu kulmassa lähettimeen nähden, pienenee Doppler-taajuus $\cos(a)$:n verran. a on kulma lähettimen kulkusuunnan ja lähettimen suunnan välillä. Kun tiedetään oma kulkunopeus, voidaan doppler-taajuutta hyväksi käyttäen laskea kulma, missä lähetin sijaitsee vastaanottimen kulkusuuntaan nähden. Kulma a voidaan laskea kaavan 4 mukaisesti. (4, s. 13.) (Kuva 3.)

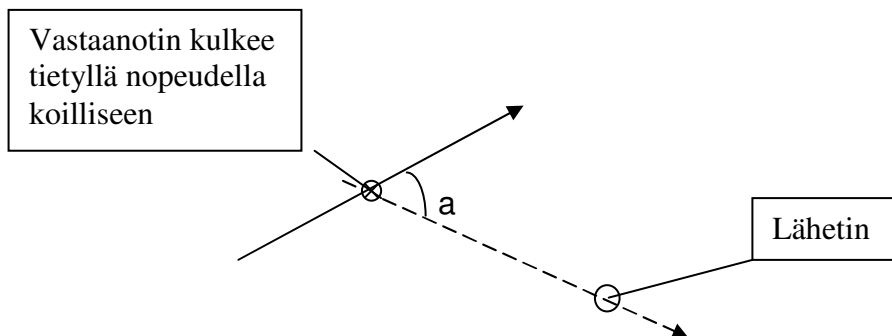
$$a = \arccos * \frac{v(\text{doppler})}{v(\text{vastaanotin})}, \text{ missä}$$

KAAVA 4

a = kulma kulkusuunnan ja lähettimen suunnan välillä

$v(\text{doppler})$ = doppler-ilmion aiheuttamasta taajuudenmuutoksesta laskettu teoreettinen kulkunopeus, mikäli kuljettaisiin suoraan lähettä kohti

$v(\text{vastaanotin})$ = vastaanottimen kulkunopeus

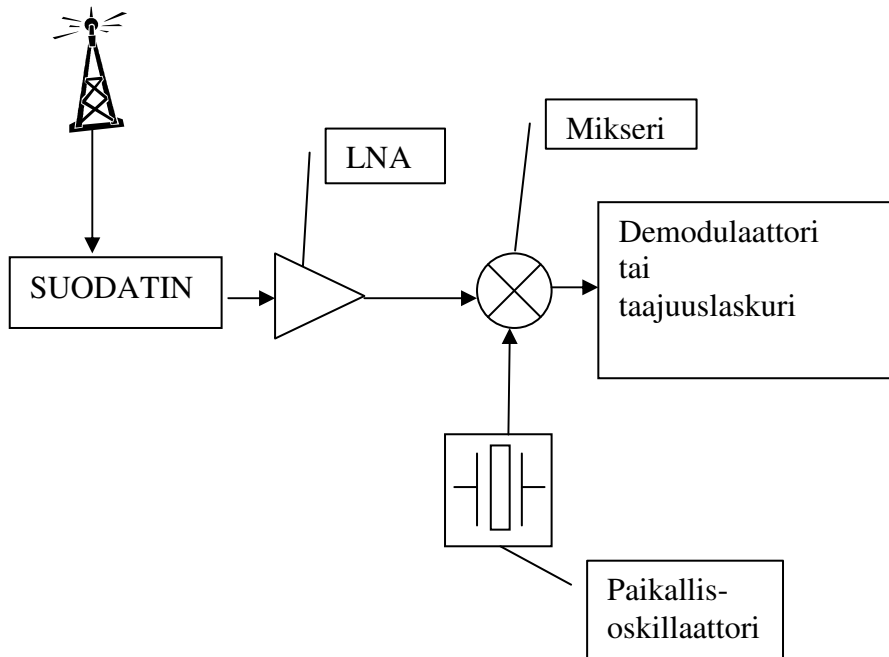


KUVA 3. Lähettimen paikantaminen taajuuspoikkeaman kulman avulla

2.2 Superheterodyne-vastaanotin

Superheterodyne-vastaanottimia tarvitaan, jotta saadaan vastaanotettu UHF-taajuus laskettua helpommin käsiteltäväksi matalammaksi taajuudeksi. Matalien taajuuksien jälkikäsitely on huomattavasti helpompaa kuin UHF-taajuuksien käsittely. Matalien taajuuksien käsittelyssä komponenttien ei tar-

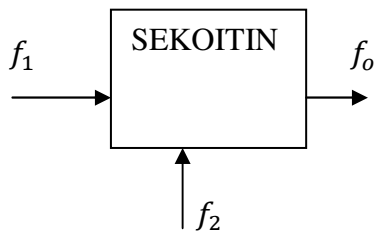
vitse olla niin tarkkoja kuin UHF-taajuudella olevien komponenttien tulisi olla.
(8, hakusana Superheterodyne receiver.)



KUVA 4. Superheterodyne vastaanottimen lohkoakaavio

Antenniksi valitaan halutulla taajuuskaistalla toimiva antenni. Antennin jälkeen on hyvä käyttää kaistanpäästösudatinta. Kaistanpäästösudattimella suodatetaan pois muut antennin vastaanottamat signaalit, jotka voivat häiritä mikserin toimintaa. Antennilta vastaanotettu signaali on yleensä matalatehoisen, joten sitä täytyy ensin vahvistaa LNA-vahvistimella jatkokäsittelyä varten. LNA-vahvistimella vahvistettu signaali ohjataan mikserille, missä vastaanotettu signaali sekoitetaan paikallis-oskillaattorilla generoituun signaaliin. Paikallis-oskillaattorin taajuus on tunnettu vakio, joten sekoittajalta saatu IF-taajuus saadaan laskettua vähentämällä vastaanotetusta taajuudesta paikallis-oskillaattorin taajuus ja lisäämällä siihen doppler-ilmiön aiheuttama taajuuden muutos. (Kuva 4.)

Haittapuolena superheterodyne-vastaanottimessa ovat ei-toivotut peilitaajuudet, jotka täytyy suodattaa IF-taajuudesta pois ennen kuin ulostuloa voidaan hyödyntää. Kun kahta signaalia sekoitetaan keskenään, saadaan ulostuloon niiden erotus ja summa. (Kuva 5.)



$$f_o = f_1 + f_2$$

ja

$$f_o = |f_1 - f_2|$$

KUVA 5. Peilitaajuudet

3 KOMPONENTTIEN VALINTA

Tässä opinnäytetyössä vastaanottimen tyypiksi on valittu superheterodyne-vastaanotin. Superheterodyne-vastaanotin koostuu kolmesta pääosiesta LNA, sekoittaja ja mikseri. Näihin pääosioihin etsittiin soveltuvia komponentteja mikropiirien toimittajilta. Sopivia komponentteja löytyi useita ja niistä valittiin parhaiten yhteensopivat. Myös mikropiirien saatavuus oli yksi valintakriteeri, sillä kaikki komponentit tuli saada samaan tilaukseen.

Vastaanotetun signaalin **LNA-vahvistimeksi** valittiin Atmelin valmistama T7024-vahvistinpiiri. Tämä piiri on alun perin tarkoitettu käytettäväksi bluetooth LNA -vahvistimena. Piirissä on myös sisäänrakennettu PA-vahvistin osio sekä lähetystä ja vastaanottoa kontrolloiva osio. Tässä opinnäytetyössä piiristä päätettiin hyödyntää ainoastaan LNA-osio. PA-vahvistinosio päätettiin laittaa piirilevyllä optioksi. Mikäli vastaanotetun signaalin voimakkuus on niin heikko, ettei mikseri pysty sitä käsittelemään, voidaan PA-vahvistinosio ottaa käyttöön.

Sekoittajaksi valittiin Analog-Devicesin valmistama AD-8343-piiri. Tähän piiriin päädyttiin siitä syystä, että kaikki sen input- ja output-pinnit ovat leveäkaistaisia ja piirin luvataan toimivan myös matalilla IF-taajuuksilla. Ainut huono puoli tässä piirissä oli se, että sen käyttöjännite on 5 voltia, kun muiden valittujen piirien käyttöjännite on 3 voltia.

Paikallisoskillaattori korvattiin National Semiconductorin ohjelmoitavalla LMX2531LQ2570E-piirillä. Paikallisoskillaattorin täytyy olla ohjelmoitavissa, sillä kideoskillaattorit eivät ole tarpeeksi tarkkoja ja niiden tuottama signaali vaihtelee riippuen komponentin iästä, valmistustekniikasta, käyttölämpötilasta, käyttöjännitteestä yms. (9, hakusana Crystal Oscillator.) Tällä piirillä on integroituna VCO ja PLL, jotka voidaan ohjelmoida toivotulle taajuudelle. Piirillä on mahdollista myös ulostulotaajuuden jakaminen.

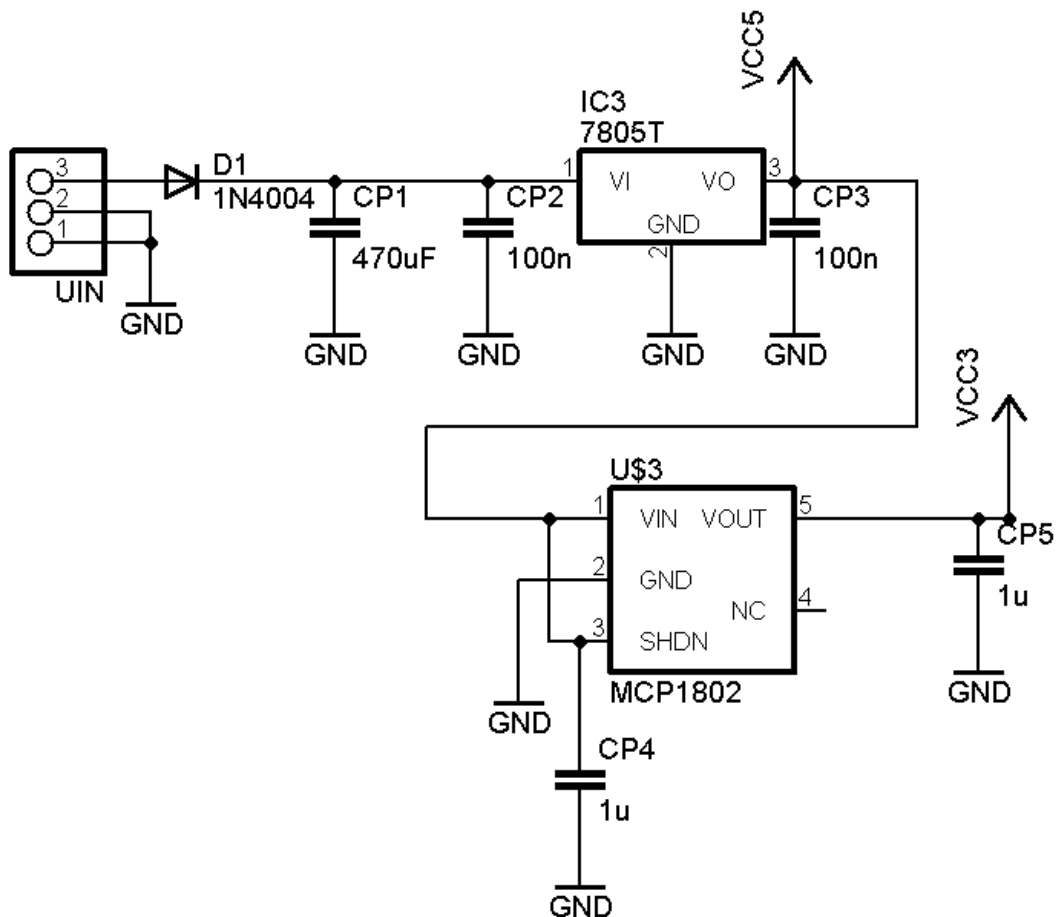
Ohjelmoimalla piiri voidaan valita haluttu sekoitus taajuus 2336 – 2790 MHz tai 1168 – 1395 MHz, joten protokortin sekoitustaajuus voidaan kalibroida

halutuksi. Tässä opinnäytetyössä LMX2531-piirin ohjelmointiin käytetään LPT-porttia ja Codeloader4-ohjelmaa. Codeloader4-ohjelma tukee myös USB:n kautta tapahtuvaa ohjelmointia, mutta tällöin täytyy käyttää Nationalin omaa USB-kaapelia, joka opinnäytetyön tekohetkellä oli saatavana ainoastaan piirien evaluointiin käytettävien testilevyjen mukana.

Piiri voidaan myös ohjelmoida ilman tietokonetta, kun käytetään jotain mikrokontrolleria, jossa on oma ohjelmamuisti (esimerkiksi AVR tai PIC). Tällöin voidaan itse kirjoittaa ohjelma, joka osaa alustaa LMX2531LQ2570E-piirin rekistereiden arvot oikeiksi. Ohjelmoinnissa käytetään CLOCK-, DATA- ja LE-pinnejä. Lisätietoja piirin ohjelmointiin löytyy LMX2531LQ2570E-datalehdessä (6, s. 19, kappale 2.0 General Programming Information.)

3.1 Virtalähteen suunnittelu

Piirilevyn virtalähde suunniteltiin hyväksymään 7-20 voltin käyttöjännitealue. Piirilevyn sekoituspiiri AD-8343 käyttää käyttöjännitteensä 5 voltia ja muut piirit käyttävät 3 voltia, joten piirilevylle täytyi laittaa kaksi regulaattoria sarjaan. Piirilevyn pääregulaattoriksi valittiin LM7805, koska se hyväksyy vaatimusten mukaisen käyttöjännitealueen ja ulostulosta saadaan tasainen 5 voltin käyttöjännite. Se pystyy myös antamaan ulostuloonsa piirien vaatimat maksimivirrat. Tähän 5 voltin käyttöjännitteeseen lisättiin perään toinen regulaattori MCP1802T, josta saadaan 3 voltin käyttöjännite. Lisäksi käyttöjännitelinjaan lisättiin 1N4004-suojadiodi. (Kuva 6.)



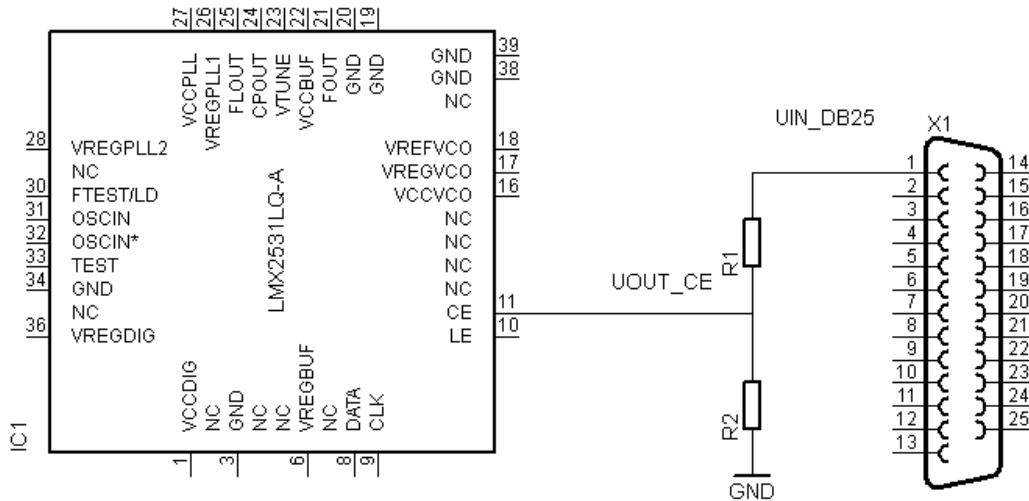
KUVA 6. Piirilevyn virtalähde

3.2 Piirilevyn ohjelmointiliitin

Piirilevyllä olevalle LMX2531LQ2570E-piirille voidaan ohjelmoida ulostulotaajuus Codeloader4-ohjelman avulla. Datalehden mukaan LMX2531LQ2570E-piiri vaatii vähintään 0,80 kertaa käyttöjännitteen tasoisen ohjelmointisignaalin Clock-, Data-, Lach Enable- sekä Chip Enable -pinneihin. Ei voi kuitenkaan olla yli 2,75 voltia. Codeloader4-ohjelma osaa tuottaa ohjelmointisignaalit LPT-porttiin tai erillistä USB-ohjelmointikaapelia käytettäessä USB-porttiin. Codeloader4-ohjelma on suunniteltu LMX- ja LMK-piirisarjaperheiden evalointi-korttien ohjelmointia varten, joten Codeloader4-ohjelmassa on näkyvissä kuva 10/14-pinnisestä ohjelmointiliitimestä.

Tässä opinnäytetyössä piirilevyille asetettiin suoraan DB25-liitin, jotta piirilevyn voi kytkeä suoraan tietokoneen sarjaporttiin DB25-kaapelilla. Normaalis-

ti LPT-portista tulee 5 voltin ulostulojännite, joten piirilevylle suunniteltiin jännitteenjakokytkentä ohjelmointiliittimelle. (Kuva 7.)



KUVA 7. Jännitteenjakokytkentä

Jännitteenjakokytkennän vastusten R1 ja R2 suhdetta muuttamalla saadaan LMX2531LQ2570E-piirille oikeat signaalitasot. Jännitteenjakokytkennän vastusten suhde saadaan laskettua elektroniikan peruskaavalla (kaava 5). (10, hakusana Jännitteenjakosäätö.)

$$U_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times U_{in}, \text{ missä}$$

KAAVA 5

U_{out} = jännitteenjakokytkennästä haluttu ulostulojännite

U_{in} = jännitteenjakokytkentään syötetty jännite

R_1 = vastus 1

R_2 = vastus 2

Kaavaan sijoittamalla saadaan vastusten suhde laskettua seuraavasti:

Merkitään $U_{out} = 2,85 \text{ V}$, sillä LMX2531 tulkitsee ykköseksi signaalin, joka on vähintään $0,80 \times VCC = 0,80 \times 3,00 \text{ V} = 2,40 \text{ V}$, missä VCC = piirin käyttöjännite

$$U_{in} = 5,00 \text{ V}$$

$$U_{out} = 2,85 \text{ V}$$

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{2,85 \text{ V}}{5,00 \text{ V}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,57$$

R1 ja R2 arvot valittiin suuriksi, jotta LPT-portin kautta tulevat häiriöt minimoituisivat. Näin ollen saatiin vastuksille seuraavat arvot:

$$R_1 = 10 \text{ kohm}$$

$$R_2 = 12 \text{ kohm}$$

Kaavaan sijoittamalla saadaan ohjelmointisignaalin tasoksi 2,72 V, joka on minimivaatimusten yläpuolella, mutta kuitenkin maksimivaatimuksen alapuolella.

$$U_{out} = \frac{12,0 \text{ k}\Omega}{10,0 \text{ k}\Omega + 12,0 \text{ k}\Omega} \times 5,00 \text{ V} = 2,72 \text{ V}$$

4 ELEKTRONIIKAN SUUNNITTELU

Elektroniikan suunnittelu aloitettiin tarkistamalla mikropiirien datalehdiltä, että niiden input- ja output-pinnit ovat yhteensopivia. Suunnittelussa käytettiin hyväksi datalehdiltä löytyviä esimerkkikytkentöjä ja niitä muokkaamalla saatiin prototyvyn piirikaavio suunniteltua. Prototyvyn piirikaavio ja layout tehtiin Cadsoft Eagle -ohjelmistolla.

4.1 Kytkentä

Kaikki valitut IC-piirit ovat sen verran erikoisessa kotelossa, että Cadsoft Eaglen kirjastoista ei löytynyt piirien jalkakuviota valmiina, joten ne jouduttiin ensin piirtämään käsin omaan komponenttikirjastoon.

Kytkenän suunnittelussa käytettiin hyväksi datalehtien suosituksia ja esimerkkikytkentöjä. Komponentit valittiin 0805-kokoon niiden hyvän saatavuuden vuoksi. Häiriöiden eliminoimiseksi piirilevy tehtiin kaksipuoliseksi ja ylimääräiset kuparialueet yhdistettiin maatasoksi. Signaalivedot tehtiin pääosin piirilevyn yläpuolella, lukuun ottamatta LMX2531-piirin ohjelmointisignaaleja, jotka tehtiin taustapuolelle.

Virtalähteen pääregulaattoriksi valittiin LM7805-regulaattori, missä on laaja käyttöjännite-alue 5 - 20 volttia. Ilman erillistä jäähdytysiiliä ei suositella käytettäväksi yli 10 voltin jännitteitä pitkäaikaisessa käytössä.

LNA-piirin lähtö päätettiin suunnitella siten, että piirin PA-lähtö voidaan tarvittaessa ottaa käyttöön jumppereiden uudelleen asettelulla. PA-vahvistimen vahvistusta voidaan muuttaa Ramp-pinnin potentiometriä säätämällä. Lisäksi piirin ympärille lisättiin jumpperit power-up- ja RX-on-pinneille, jotta voidaan tarvittaessa vaihtaa LNA-piirin toimintatilaa.

4.2 Alipäästösuodatin

LMX2531LQ2570E-piiri vaati ulkoisen alipäästösuodattimen halutulle ulostulotaajuudelle, jotta piirin VCO+PLL yhdistelmä lukittuu oikealle taajuudelle. Alipäästösuodattimen suunnittelussa käytettiin National Semiconductorin omaa National's Clock Design Tool -ohjelmaa, joka on saatavissa Nationalin internetsivuilta

http://www.national.com/assets/en/tools/National_Clock_Design_Tool_Install.exe.

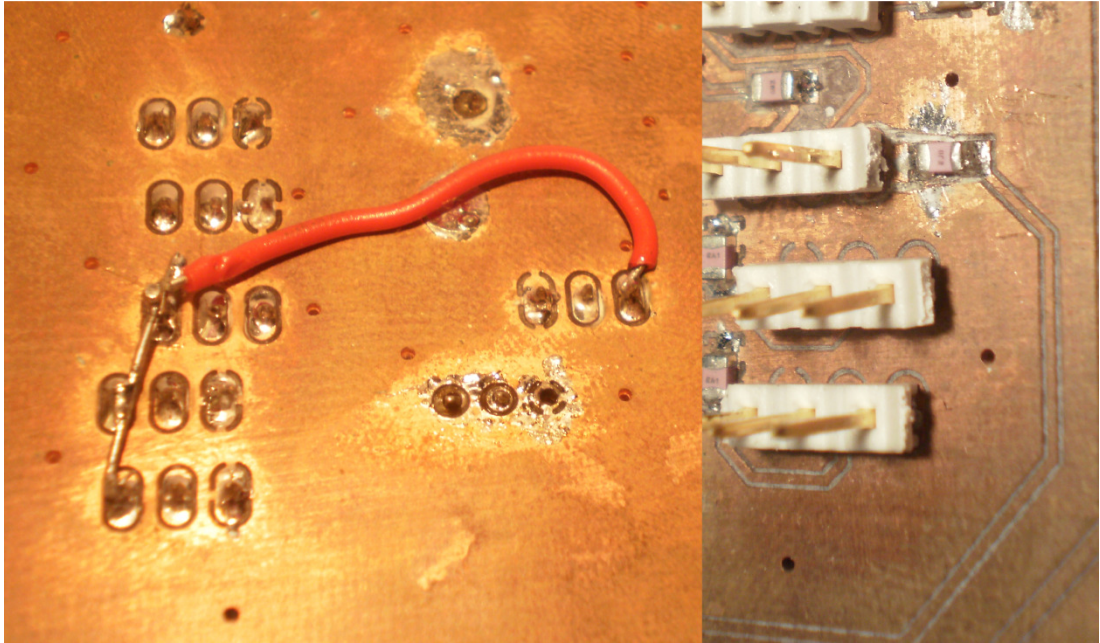
Piiriä tullaan käyttämään 2400 MHz taajuuden molemmin puolin, riippuen asetetusta välitaajuudesta. Ohjelmaan syötettiin siksi halutuksi ulostulotaajuudeksi 2 400 MHz. Näillä arvoilla ohjelma suositteli kaistanpäästösuodattimeksi toisen asteen kaistanpäästösuodatinta, missä $C1 = 0,47 \text{ nF}$, $C2 = 22 \text{ nF}$ ja $R2 = 1,5 \text{ KOhm}$. Lopulliseksi ulostulotaajuudeksi LMX2531LQ2570E-piirille säädetään lähettimen lähettämä taajuus vähennettynä toivotulla välitaajuudella. Jos siis toivottu välitaajuus on 1 MHz, asetetaan LMX2531-piirin VCO:lle 2399 MHz:n taajuus, johon LMX2531-piirin PLL lukkiutuu.

5 PIIRILEVYJEN VALMISTUS

Piirilevyjä jysyttiin Oulun seudun ammattikorkeakoululla yhteensä viisi kappaletta. Alun perin oli tarkoitus tehdä jokaiselle mikropiirille oma testilevy, jolla olisi voitu varmistaa piirin soveltuvuus lopulliseen kytkentään. Yhden piirilevyn juottamiseen menee useita tunteja työaika, joten testaukseen varatun ajanpuutteen vuoksi päätettiinkin piirilevyistä kalustaa ainoastaan yksi täydelliseksi ja testata piirien toiminta samalla piirilevyllä.

LMX2531LQ2570E-piiri jouduttiin juottamaan tietokoneohjatun korjausase-
man avulla, sillä piirin kaikki 36 pinniä ovat piirin alla, joten käsin juottaminen on lähes mahdotonta. Loput komponenteista juotettiin levyllä kolvin ja mikroskoopin avulla.

Juottamisen yhteydessä huomattiin muutamia suunnitteluvirheitä jysityillä levyillä. Jumperien JP5, JP6, JP7, JP8 ja C201 väliltä puuttuivat signaalivedot. Nämä signaalivedot olivat kytkentäkaavioon piirretty oikein, mutta niiden nimeksi oli jäänyt GND. Eagle layout yhdisti nämä signaalit automaattisesti maatasoon. Nämä signaalivetojen puutteet korjattiin hyppylangoilla ja kytkennät maatasoon katkaistiin manuaalisesti jysimällä. (Kuva 8.)

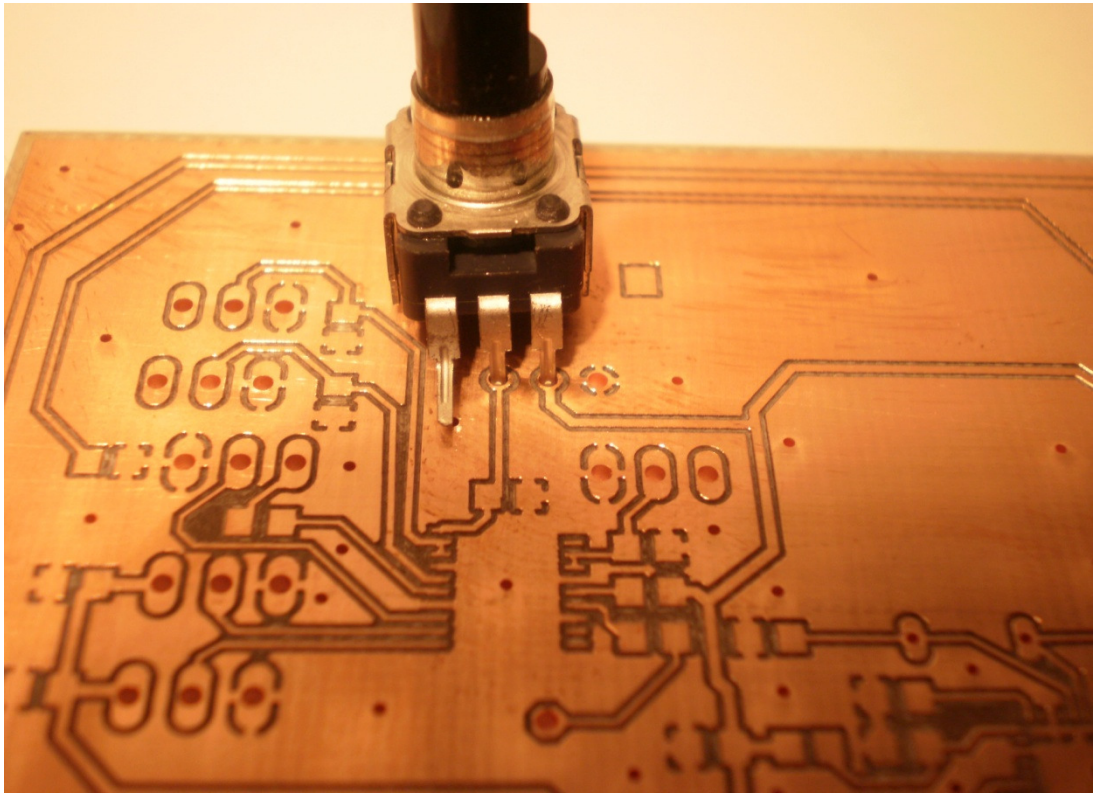


KUVA 8. Korjaukset piirilevyllä (vasemmalla JP5, JP6, JP7 ja JP8 väliset hyppylangat piirilevyn alapuolelta ja oikealla JP8:n ja C201:n välinen alue piirilevyn yläpuolelta)

Lisäksi 78601/3C-pulssimuuntaja oli piirilevyllä piirretty pintaliitoskomponentiksi ja saatavilla oli ainoastaan jalallisia komponentteja, joten komponentti yritettiin juottaa piirilevyllä hyppylankojen varaan. Juottaminen kuitenkin epäonnistui, sillä signaalivedot ovat piirilevyllä niin ohuet, että niihin hyppylankaa juotettaessa ne irtosivat piirilevystä. Pulssimuuntajan tarkoituksena oli muuttaa balansoitu signaali balansoimattomaksi. Piirilevyn testaus onnistuu myös ilman pulssimuuntajaa. Ainoastaan signaalin teho jää puoleen, mitä balansoidulla signaalilla ja pulssimuuntajalla olisi saatu aikaiseksi.

Potentiometrin jalkakuvion huomattiin myös olevan väärin suunniteltu. Potentiometrin 1. pinni on kytketty T7024-piirin RAMP-pinniin, 2. pinni on kytketty suoraan 3 voltin käyttöjännitteeseen ja 3. pinni maatasoon, joten jos potentiometrin kääntää ääriasentoonsa, se oikosulkee 3 voltin käyttöjännitteen suoraan maatasoon. Kytkeäntä olisi oikein toteutettu, kun potentiometrin 1. pinni kytketään maatasoon, 2. pinni T7024-piirin RAMP IN -pinniin ja 3. pinni 3 voltin käyttöjännitteeseen. Tämä muutos tehtiin levyyn siirtämällä poten-

tiometriä siten, että potentiometrin 1. pinni juotettiin suoraan maatasoon.
(Kuva 9.)



KUVA 9. Potentiometrin asettelu piirilevyllä

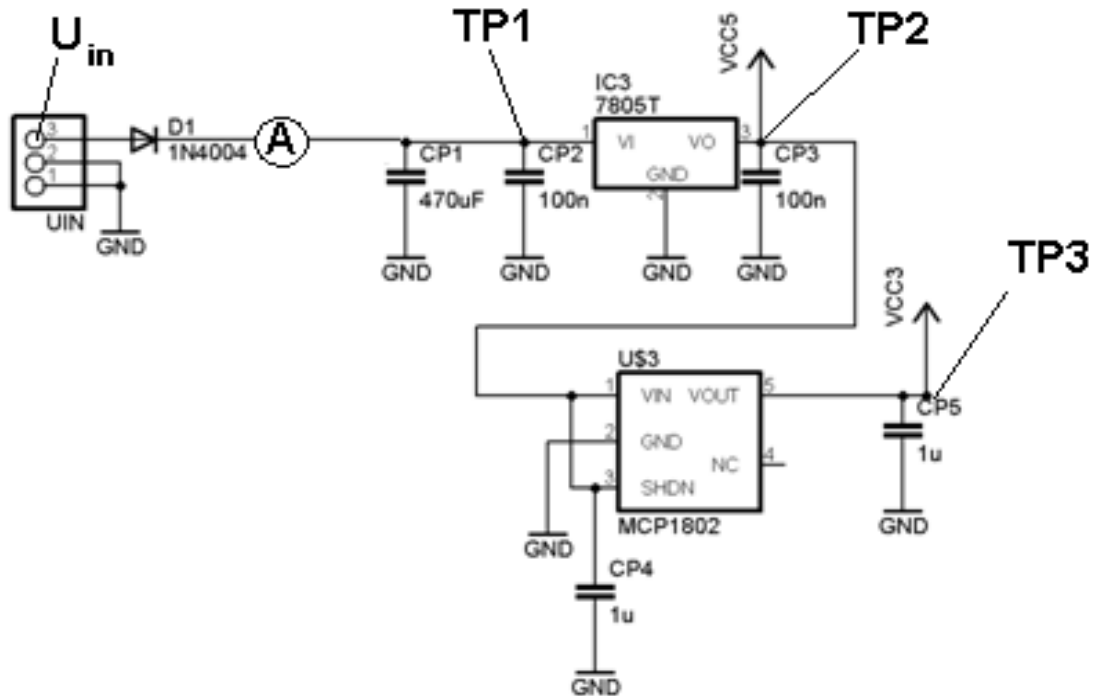
6 PIIRILEVYN TESTAUS

Piirilevyn juottamisen jälkeen mitattiin piirilevyn viereiset signaalivedot yleismittarin diodimittauksella oikosulkujen löytämiseksi. Kun tinasiltoja signaalivetojen tai maatason väliltä ei löytynyt, siirryttiin käyttöjännitetestaukseen.

6.1 Käyttöjännitetesti

Mittauksessa käytettiin TL303-virtalähdettä ja kahta Fluke 179 -yleismittaria.

Testissä käyttöjännite syötettiin JP3-piikkiriman VDD- ja GND-pinneihin (U_{in}). Yleismittareilla mitattiin virrankulutus (A). Piirilevyllä olevat mikropiirit oli asetettu virransäästötilaan (Power Down). Jännitteet mitattiin piirilevyllä LM7805-regulaattorin sisääntulosta (TP1) ja lähdöstä (TP2) sekä MCP1802-regulaattorin lähdöstä (TP3) (kuva 10).



KUVA 10. Jännitteenmittauskytkentä

Käyttöjännitetestin mittaustuloksista tehtiin taulukko, mistä mittaustulokset ovat luettavissa. (Taulukko 1.)

TAULUKKO 1. Käyttöjännitetestin mittaustulokset

	Jännitteet eri mittauspisteissä (V)			
Syöttöjännite U_{in} (V)	LM7805 sisääntulo TP1 (V)	VCC5 TP2 (V)	VCC3 TP3 (V)	Virrankulutus(mA) piirit power down tilassa
3,0	2,562	0,050	0,000	0,09
4,0	3,454	1,929	1,926	0,85
5,0	4,408	2,682	2,679	2,12
6,0	5,400	4,178	3,003	3,44
6,5	5,918	4,689	3,003	3,76
7,0	6,361	4,950	3,003	4,45
7,5	6,860	4,951	3,003	4,52
8,0	7,380	4,952	3,003	4,55
8,5	7,910	4,952	3,003	4,57
9,0	8,430	4,952	3,003	4,58
9,5	8,910	4,952	3,003	4,60
10,0	9,420	4,952	3,003	4,60
10,5	9,900	4,952	3,003	4,61
11,0	10,430	4,952	3,003	4,62
11,5	10,880	4,952	3,003	4,63
12,0	11,370	4,952	3,003	4,64
12,5	11,910	4,952	3,003	4,65
13,0	12,380	4,952	3,003	4,66

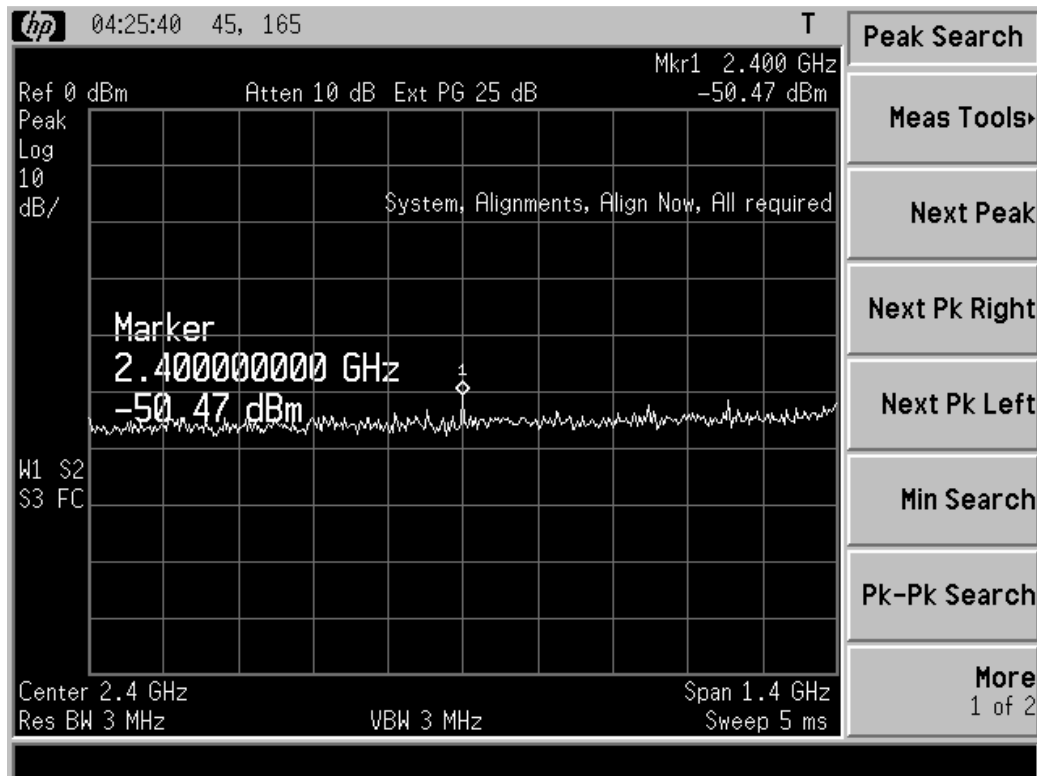
Taulukon 1 käyttöjännitetestin tuloksista voidaan päätellä, että piirilevyn virtalähde toimii vakaasti yli 7 V:n käyttöjännitteellä. LM7805-regulaattori olisi hyväksynyt näitä mittaustuloksia korkeamman jännitteen, mutta datalehden mukaan tällöin olisi suositeltavaa käyttää erillistä jäähdytys-siiliä. Koska mitaushetkellä ei ollut saatavana sopivaa jäähdytys-siiliä regulaattorille, päätettiin jännitemittaus lopettaa 13 volttiin.

Virtamittauksesta voidaan päätellä, että virrankulutus ei kasva huomattavasti, kun jännitettä kasvatetaan. Tuotteen lopullinen versio tulee olemaan akku-käyttöinen, joten virrankulutus olisi suotavaa olla mahdollisimman pieni. Tässä työssä käytetyn virtalähteen käyttöjännitteen nostamisella ei saavuteta huomattavaa virransäästöä, joten lopullinen käyttöjännite tulisi olla 7-10 V:n välillä. Mikäli suojadiodin jättää kytkennästä pois, voidaan käyttää 0,6 V alemmaa käyttöjännitettä (diodin kynnsjännite).

6.2 T7024-vahvistinpiirin testaus

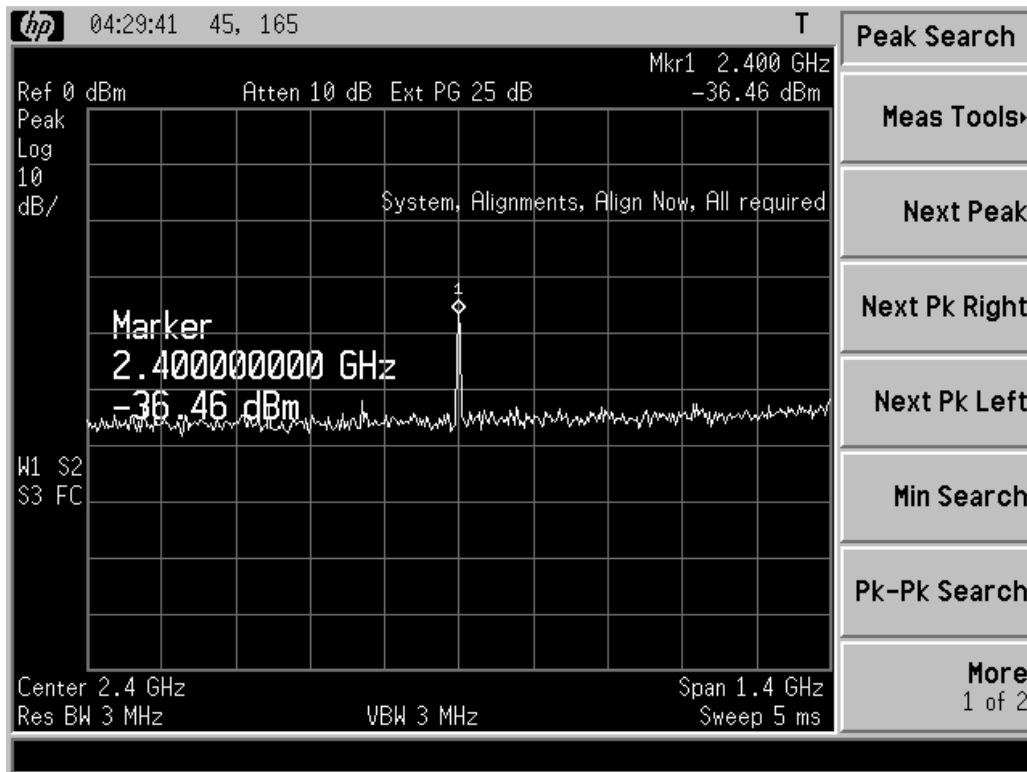
T7024-piirin LNA-osioon voidaan syöttää maksimissaan +5 dBm:n tehoinen signaali. Piirin PA-osion maksimisignaalin teho on +10 dBm. Piirin käyttöjännite otettiin testeissä 3 V:n regulaattorin kautta.

T7024-piirin LNA-osio testattiin kytkemällä JP1- (Power Up) ja JP2- (RX_on) pinnit käyttöjännitteeseen ja tuomalla levyllä olevaan piikkiin simuloitu vastaanottosignaali 2,4 GHz:n taajuudella (kuva 11). Signaalin voimakkuudeksi asetettiin signaaligeneraattorilta -20 dBm. LNA:n vahvistama signaali mitattiin JP5- piikkiriman keskimmäisestä pinnistä, kun pinnissä ei ollut jumpperia kiinni (kuva 12).



KUVA 11. f_{in} -pinniin syötetyn signaalin mittaus

Signaalianalysaattori näytti T7024-piirin sisään syötetyn signaalin vahvuudeksi ainoastaan -50,47 dBm, vaikka signaaligeneraattorin lähdestä oli valittu signaalin vahvuudeksi -20 dBm. Signaali vaimeni siten -30 dBm. Tämä häviö tapahtui joko mittajohtojen kytkennän vaikutuksesta, tai käytetty signaaligeneraattori oli viallinen. Mittajohtojen päissä käytettiin hauenleukoja, jotka saattoivat sotkea impedanssisovituksen mittajohdoissa. Mikäli ongelma johdetaan sovitukselta, takaisinheijastumat vaimentavat mitattavaa signaalia, mutta mittaustulokset ovat kuitenkin vertailukelpoisia, sillä signaalin vaimentuma on vakio. Mittauksia päätettiin kuitenkin jatkaa, koska ei ollut varmuutta, milloin on mahdollista seuraavan kerran päästä häiriösuojattuun tilaan mittaamaan. (Kuva 11.)



KUVA 12. f_{out} -pinnistä mitattu signaali

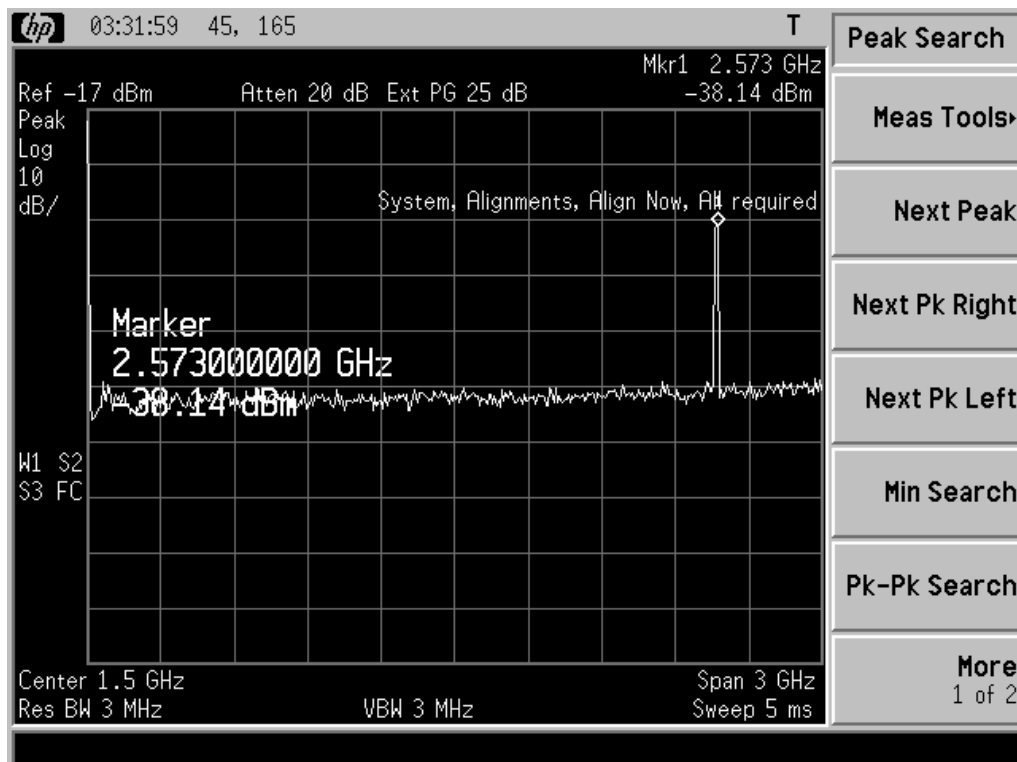
Jos oletetaan, että signaalin häviö on vakio piirin sisääntulossa ja lähdössä, voidaan mittaustulosten perusteella sanoa LNA-vahvistimen toimivan. Mittausten perusteella LNA-vahvistin vahvistaa signaalia $-36,46 \text{ dBm} - -50,47 \text{ dBm} = +14,01 \text{ dBm}$. Datalehden mukaan tyypillinen vahvistus tulisi olla $+16 \text{ dBm}$ 3 voltin käyttöjännitteellä. Vahvistusta olisi voitu kasvattaa suuremmaksi nostamalla jännitteitä piirin käyttöjännitteessä ja RX ON -pinnissä. Datalehden mukaan piirin maksimi käyttöjännite on 5,5 volttia. Piiri on suunniteltu toimimaan parhaiten bluetoothin esivahvistimena. Bluetooth toimii 2,4 GHz:n ISM-taajuuskaistalla, joten muiden taajuuksien vahvistusta ei mitattu. (Kuva 12.)

6.3 Paikallisoskillaattorin testaus

Protolevyllä paikallisoskillaattorin korvaa LMX2531LQ2570-piiri ja sen PLL-osio. PLL-osion testauksen ajaksi AD8343- ja T7024-piirit kytkettiin power down -tilaan. Codeloader4-ohjelma asennettiin kannettavaan tietokonee-

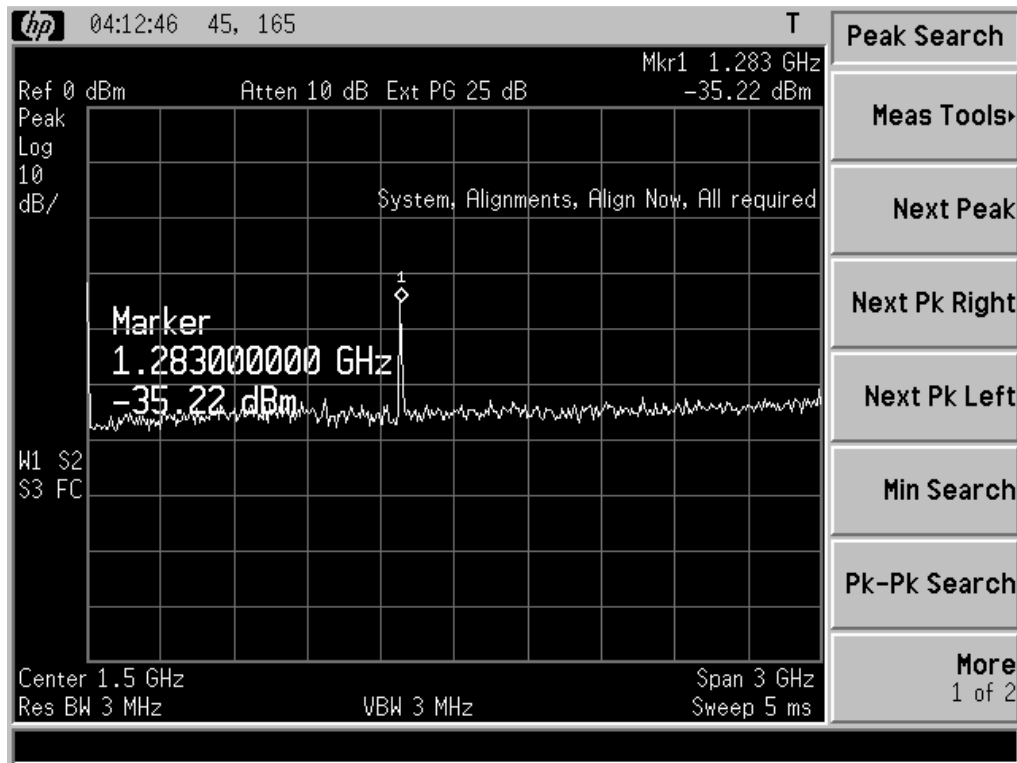
seen, missä oli LPT-portti. Codeloader4-ohjelmasta asetettiin ulostulotaajuudeksi 2 400 MHz sekä asetettiin piirin Chip Enable -pinni aktiiviseksi.

Signaalianalysoitsijan näytölle ilmestyi 2,573 GHz:n taajuudella oleva signaali, vaikka ulostulotaajuudeksi oli asetettu 2,4 GHz (kuva 13). Ainoastaan ulostulotaajuuden jakaminen vaikutti spektrianalysoitsijan näytölle tulleeseen signaaliin (kuva 14). Tästä päätellen ohjelmointisignaali menevät oikeisiin paikkoihin. Kun taajuutta yritettiin muuttaa, ulostulosignaali muuttui vain joskus ja silloinkin oudosti ilman logiikkaa. Ulostulotaajuus ei kuitenkaan missään vaiheessa lukkiutunut Codeloader4-ohjelmassa asetetulle taajuudelle. Lisäksi piiri saattoi kesken mittausten siirtyä itsekseen virransäätötilaan ja piirin ulostulosignaali hävisi kokonaan signaalianalysoitsijan näytöltä.



KUVA 13. Ulostulosignaali LMX2531LQ2570-piiriltä

Kun ulostulosignaalia tarkasteltiin lähemmin, ei signaali ollut lukittunut kunolla edes 2,573 GHz:n taajuudelle. Ulostulo signaali heitteli noin 1 kHz:n verran mittausten välillä, vaikka mitään asetuksia ei muutettu.



KUVA 14. Ulostulosignaali LMX2531LQ2570-piiriltä, kun fout/2 asetettuna

Näistä mittaustuloksista pääteltiin, että piiri ei ohjelmoidu täysin oikein, joten LPT-portin antaman signaalin voimakkuus päätettiin tarkistaa. Piirilevyllä olevaan CE-pinniin tuli kannettavan tietokoneen LPT-portista jatkuva 3,9 voltin jännite, kun CE-asetus oli Codeloader4-ohjelmasta asetettu aktiiviseksi. Kun CE-asetus otettiin pois käytöstä, näytti CE-pinnin jännite nolaa volttia. Tästä voidaan myös päätellä, että Codeloader4-ohjelman porttiosoitteet ovat ainakin CE-pinnin osalta oikein.

Piirilevyllä tehty jännitteenjako on suunniteltu toimimaan 5 voltin signaalitasoilla. LMX2531LQ2570-piiri vaatii $0,80 \cdot VCC = 0,80 \cdot 3 \text{ V} = 2,4 \text{ V}$ tasoisen signaalin, jotta vastaanotettu signaali tulkitaan loogiseksi ykköseksi. Jännitteenjakokaavalla laskettuna saadaan LPT-portin 3,9 voltin ohjelmointisignaalista piirille ainoastaan 2,12 voltin jännite, joka voitiin myös todeta mittaamalla CE-pinni piirilevyllä jännitteenjakokytkennän jälkeen. Tästä pääteltiin, että LPT-portin antama signaalitaso ei riitä ohjelmoimaan piiriä oikein.

Kannettavissa tietokoneissa monet ratkaisut on tehty silmälläpitäen virrankulutusta. Ensimmäiseksi syyksi heikkoon signaalintasoon epäiltiin sitä, ettei kannettavan tietokoneen LPT-portti ei kykene tuottamaan vaadittua 5 voltin jännitettä. Ohjelmointikoneeksi vaihdettiin pöytäkone, missä virrankulutusten miettiminen ei ole ollut niin kriittinen tietokoneen suunnitteluvaiheessa. Kun pöytäkoneeseen oli asennettu Codeloader4-ohjelma, saatiin pöytäkoneen LPT-portista myös ainoastaan 3,9 voltin signaalitaso. Näin ollen koneen vaihdosta ei saavutettu toivottua tulosta. Tietokoneen bios-asetuksia yritettiin muuttaa erilaisiksi, mutta mitkään LPT-portin bios-asetuksista ei vaikuttanut signaalintasoon. Seuraavaksi päätettiin muuttaa piirilevyllä olevaa jännitteenjakokytkentää, jotta saataisiin piirille sopivat ohjelmointisignaalit.

Jännitteenjakokaavalla saadaan laskettua, jos R_1 :n tilalle vaihtaa 5 kohm:n vastukseen, saadaan piirille oikea signaalitaso.

$$U_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times U_{in} = \frac{12,0 \text{ k}\Omega}{5,0 \text{ k}\Omega + 12,0 \text{ k}\Omega} \times 3,90 \text{ V} = 2,75 \text{ V}$$

Piirilevyllä olevan 10 kohm:n vastuksen rinnalle juotettiin toinen 10 kohm vastus ja näin saatiin vastusten rinnankytkennän tulokseksi 5 kohm.

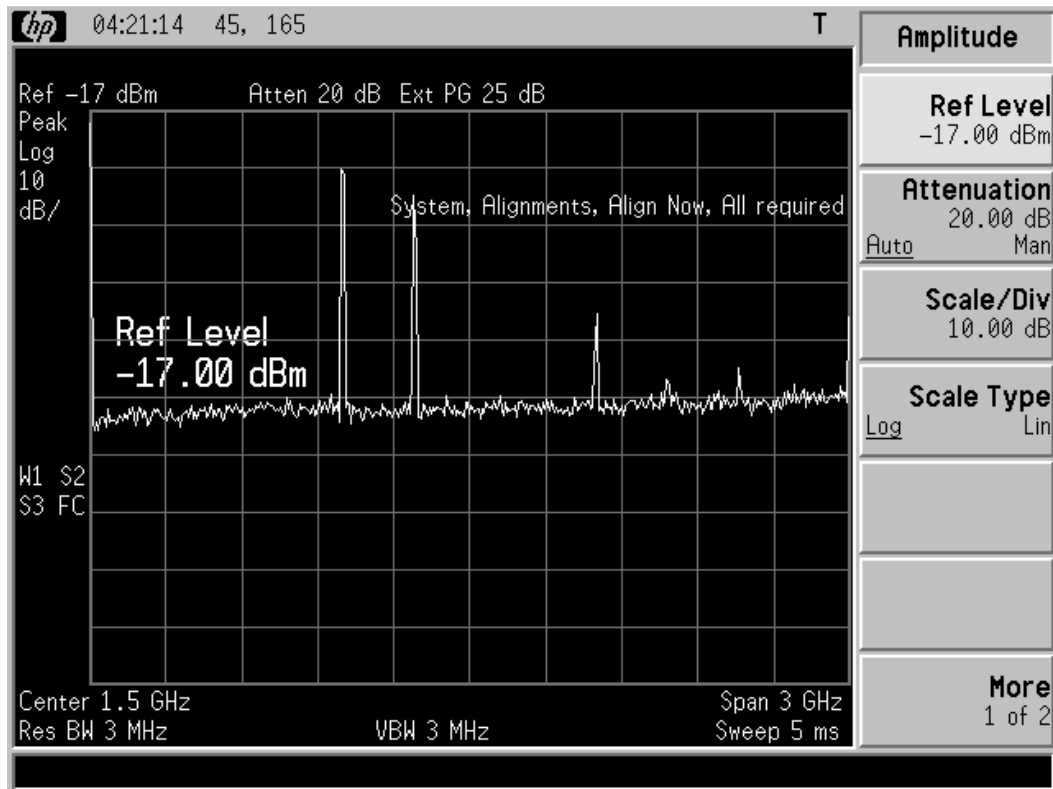
Vastusten juottamisen jälkeen ei piirin ohjelmointi toiminut vielääkään oikein. Ainoana erona oli, että piiri pysyi entistä kauemmin 2,573 GHz:n taajuudella eikä siirtynyt virransäästötilaan yhtä useasti. Signaalin vakautteen muutoksella ei ollut vaikutusta. Tässä vaiheessa mitattiin myös Data-, Clock- ja LE-pinnien signaalitasot ja ne olivatkin vain 200 mV:n luokkaa, kun Codeloader4-ohjelma kirjoitti LPT-porttiin. Codeloaderin käyttöohjeissa on maininta tällaisesta tilanteesta, missä Codeloader4 ei erittelemättömästi syystä pysty kirjoittamaan LPT-porttiin 200 mV korkeampia arvoja. Korjaukseksi tähän viikaan suositellaan käynnistämään tietokone uudelleen. Koneen uudelleen käynnistyksistä ei ollut mitään vaikutusta signaalitasoihin. Myös eri bios-asetuksia kokeiltiin vastusten vaihdon jälkeenkin, mutta niilläkään ei ollut merkitystä. Ainoastaan LPT-portin EPP-asetus jätettiin kokeilematta, sillä Codeloaderin käyttöohjeissa kerrotaan, ettei Codeloader4 ole yhteensopiva EPP-asetuksen kanssa.

6.4 Mikserin testaus

Mikserin testauksessa mitattiin ainoastaan balansoidun signaalin toista johdinta, sillä juotosvaiheessa piirilevyn signaalivedot vahingoittuivat eikä piirilevylle saatu juotettua pulssimuuntajaa. Tästä syystä välitaajuuden signaalitaso oli niin heikko, ettei sitä helposti löytynyt spektrianalysaattorin näytöltä. Erityisesti alle 100 MHz:n välitaajuutta käytettäessä hävisi välitaajuus ilmeisesti mittalaitteiden aiheuttamien häiriöiden sekaan. Lisäksi mikserin testausta hankaloitti LMX2531-piiri, joka saattoi kesken mittausten hävittää asetetun ulostulotaajuuden. Koska LMX2531-piirin syöttämä paikallisoskillaattori-signaali ei pysynyt vakiona, ei myöskään mikserin ulostulotaajuus pysynyt vakiona.

Mittaustulokset eivät ole tarpeeksi tarkkoja, jotta voitaisiin varmasti sanoa, sopiiko valittu mikseri-piiri tarpeeksi alhaiselle välitaajuudelle. Mittausten tekohetkellä ei ollut saatavana toista signaaligeneraattoria. Kahdella signaaligeneraattorilla olisi voitu simuloida vastaanotetun ja paikallisoskillaattorin tuottamat signaalit mikserin sisääntuloihin ja mitata, kykeneekö mikseripiiri tuottamaan tarpeeksi matalalla taajuudella olevia välitaajuuksia.

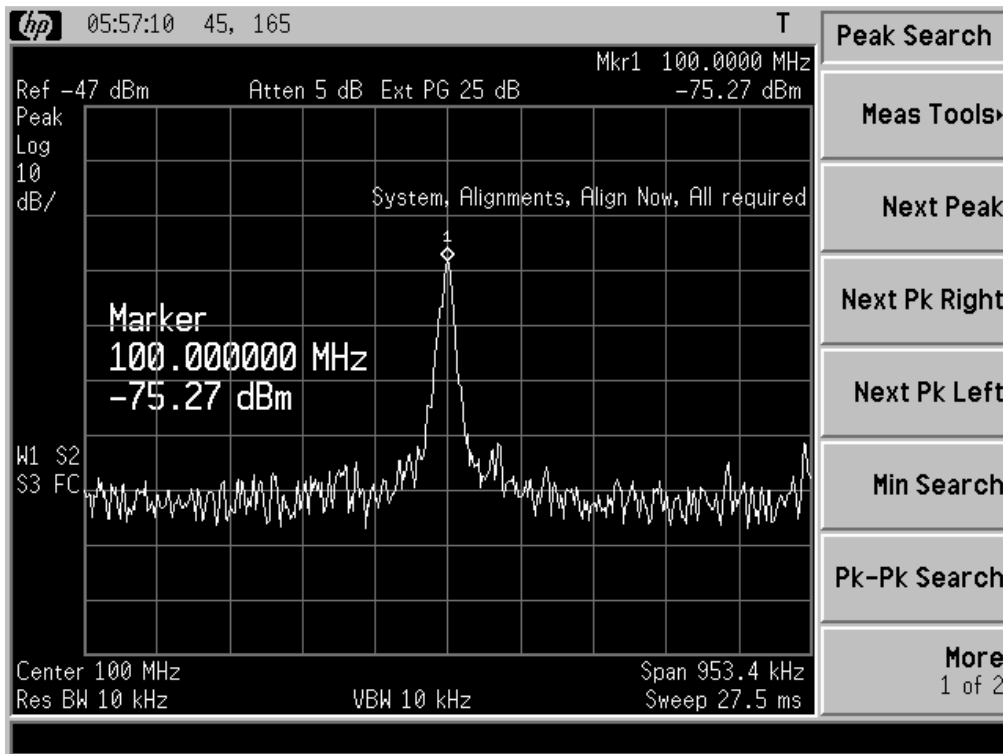
Signaalianalysaattorin näytöltä voitiin nähdä mikserin toimintaperiaate. Kuvassa 15 ensimmäinen korkea piikki on 1,0 GHz:n taajuudella olevan signaaligeneraattorin tuottama signaali. Toisena on LMX2531LQ2570-piirin ulostulosta tuleva 1,29 GHz:n taajuus, kun piirin ulostulotaajuuden jako kahdella on asetettu päälle. Kolmas piikki on signaaligeneraattorin ja LMX2531LQ2570-piirin tuottamien signaalien summa 2,283 GHz:n taajuudella. Viimeinen piikki on ilmeisesti LMX2531-piirin VCO:lta tuleva vuototaajuus 2,58 GHz:n taajuudella. Signaaligeneraattorin ja LMX2531-piirin taajuuksien erotuksen pitäisi löytyä 290 MHz:n kohdalta, mutta sen voimakkuus on niin heikko, ettei sitä huomaa signaalianalysaattorin näytöllä asetetuilla asetuksilla. (Kuva 15.)



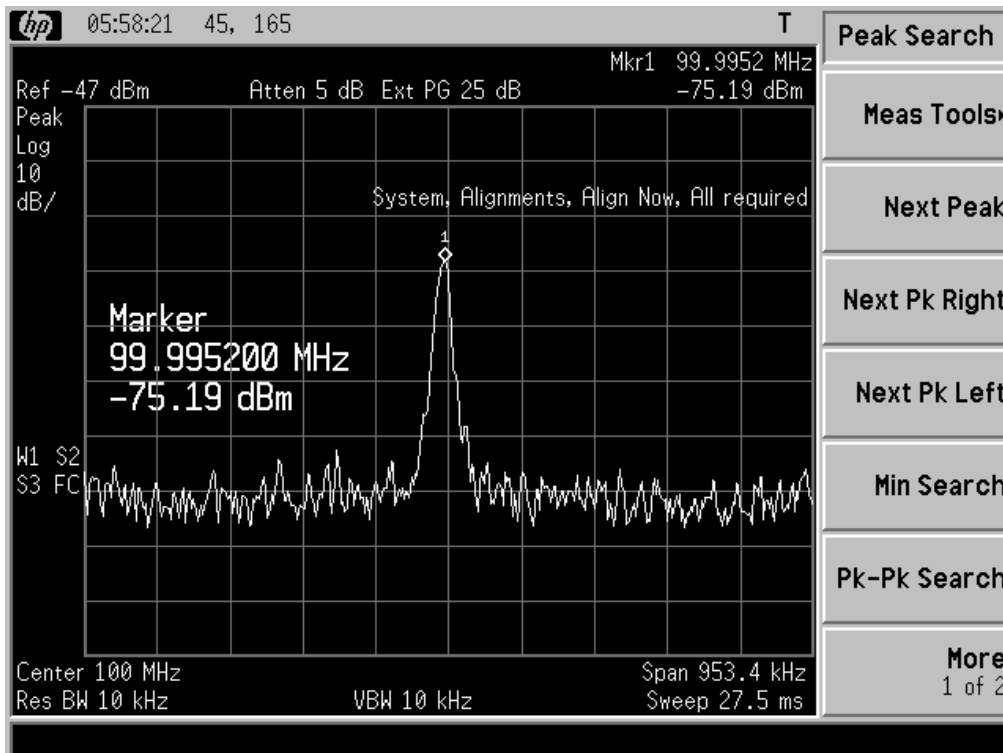
KUVA 15. Taajuusspektri mikserin ulostulosta

Välitaajuudesta ei mittauksissa pystytty erottamaan vastaanottotaajuudessa tapahtuvia alle 1 kHz:n taajuuden muutoksia, sillä LMX2531-piiri ei mittauksissa lukittunut asetetulle taajuudelle. Yli 1 kHz:n suuriset muutokset olivat kuitenkin selvästi havaittavissa signaalianalysoijan näytöllä. Seuraavassa kuvasarjassa (kuvat 16-18) LMX2531-piirille asetettiin ulostulotaajuuden jako päälle ja piiriltä saatiin 1283 MHz:n taajuus mikserille. Signaaligeneraattorin taajuus asetettiin 100 MHz:ä LMX2531-piirin tuottamaa signaalia alhaisemmaksi eli 1183 MHz:n taajuudelle.

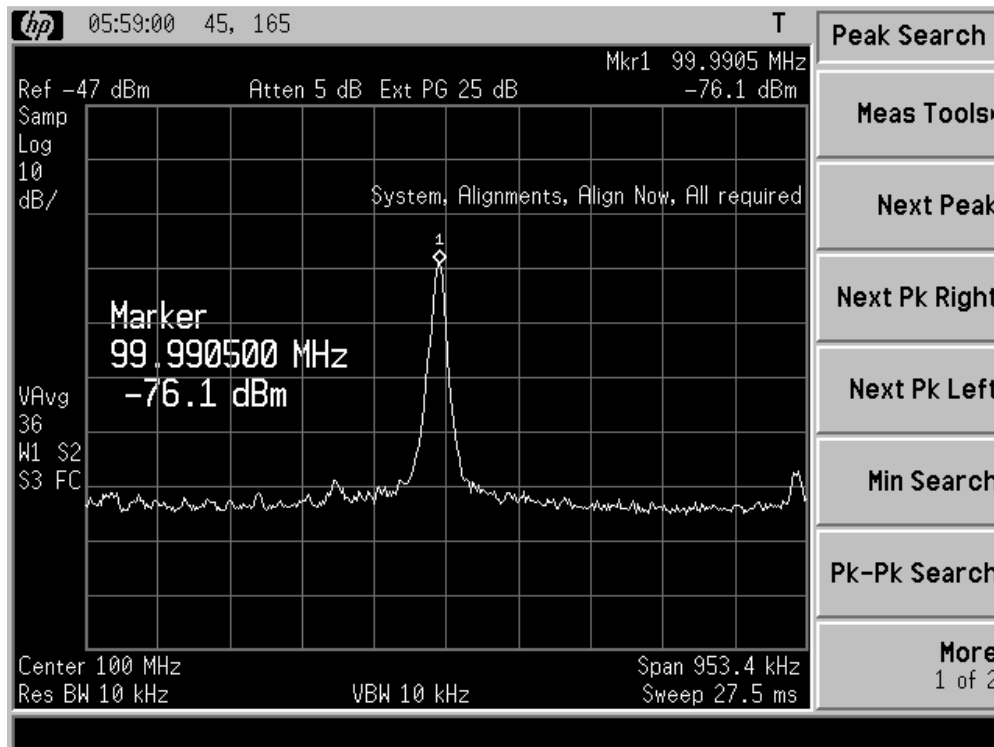
Kuvissa 11-18 signaaligeneraattorin taajuutta on muutettu 5 kHz:ä suuremmaksi mittausten välissä. Kuvassa välitaajuus näkyy signaalianalysoijan näytöllä 5 kHz:ä matalampana. Signaalianalysoijaan asetettiin 100 mittausten keskiarvo päälle, jotta PLL-piirin aiheuttamat taajuudenvaihtelut eivät näkyisi niin suurina.



KUVA 16. Välitaajuus 100 MHz:ä, kun signaaligeneraattorin taajuus asetettu 1283 MHz-100 MHz = 1183 MHz

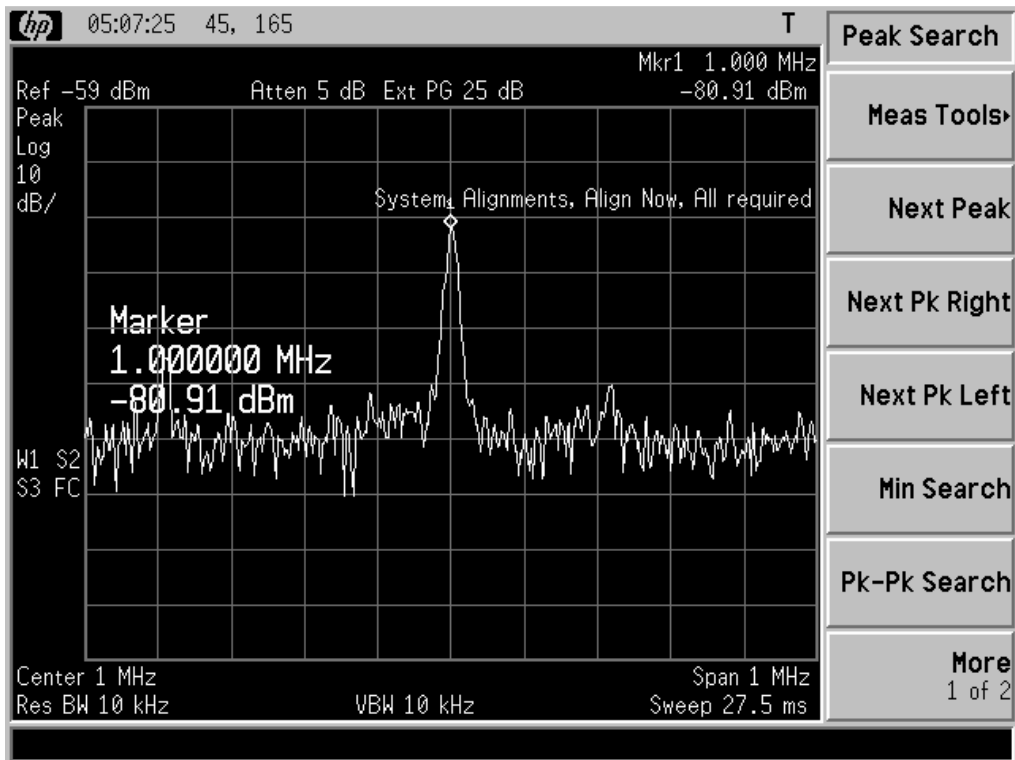


KUVA 17. Välitaajuus 99,995200MHz:ä, kun signaaligeneraattorin taajuus asetettu 1283 MHz-100,005 MHz = 1182,995 MHz

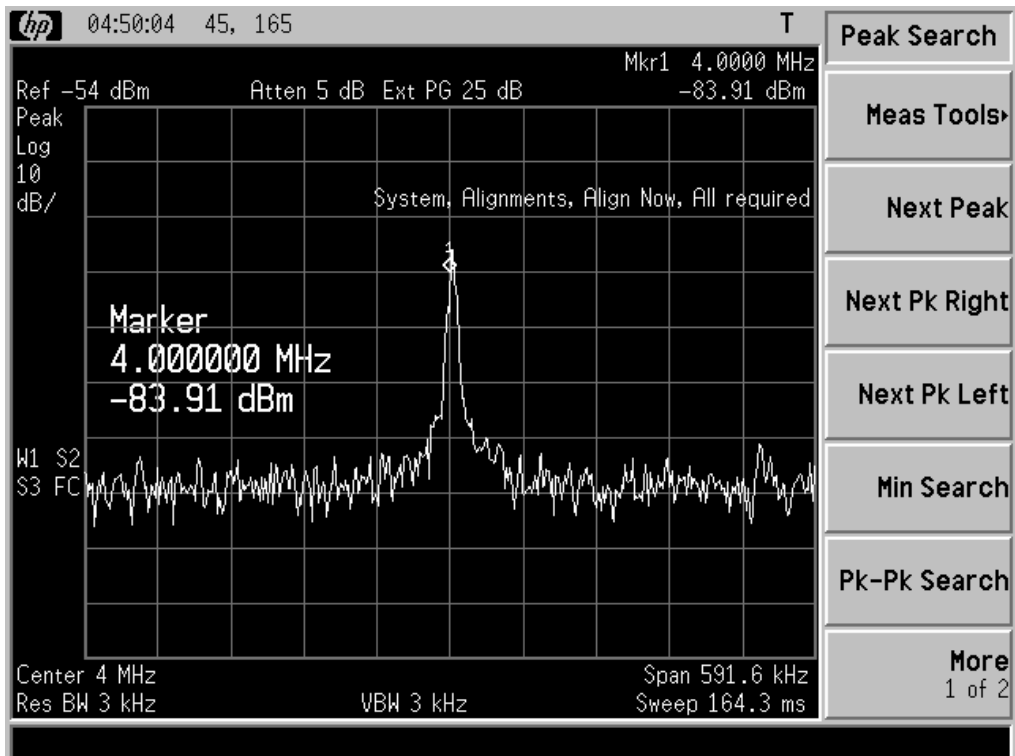


KUVA 18. Välitaajuus 99,990500MHz:ä, kun signaaligeneraattorin taajuus asetettu 1283 MHz-100,01 MHz = 1182,990 MHz

Signaaligeneraattoria säätämällä kokeiltiin myös pienempiä välitaajuuksia 1 MHz:n (kuva 19), 4 MHz:n (kuva 20) ja 250 kHz:n taajuuksilla. Näitä alhaisemmillä välitaajuuksilla signaalin vahvuudet olivat niin alhaiset, että niiden löytäminen oli hankalaa. Juuri kun oikea signaalipiikki oli löytynyt signaalianalysaattorin näytöltä, LMX2531-piiri menetti lukituksensa eikä kuvasarjoja saatu tallennettua. Näillä taajuuksilla LMX2531-piirin signaalin huono lukkiutumisen oli myös nähtävissä selvemmin ja piikki vaelsi signaalianalysaattorin näytöllä, vaikka mihinkään mittalaitteisiin tai asetuksiin ei koskettu.



KUVA 19. Väliataajuus 1 MHz:ä, kun signaaligeneraattorin taajuus asetettu 1283 MHz-1 MHz = 1282 MHz



KUVA 20. Väliataajuus 4 MHz:ä, kun signaaligeneraattorin taajuus asetettu 1283 MHz-4 MHz = 1279 MHz

7 LMX2531LQ2570E-PIIRIN OHJELMOINTI

Piirilevyllä paikallisoskillaattorin korvaa ohjelmoitava LMX2531LQ2570E-piiri. Tämän piirin ohjelmointia varten on piirilevyllä asetettu DB25-liitin ja sille soveltuva jännitteenjakokytkentä. Piirin ohjelmoinnissa käytetään tietokonetta, jossa on LPT-portti ja Codeloader4-ohjelma asennettuna.

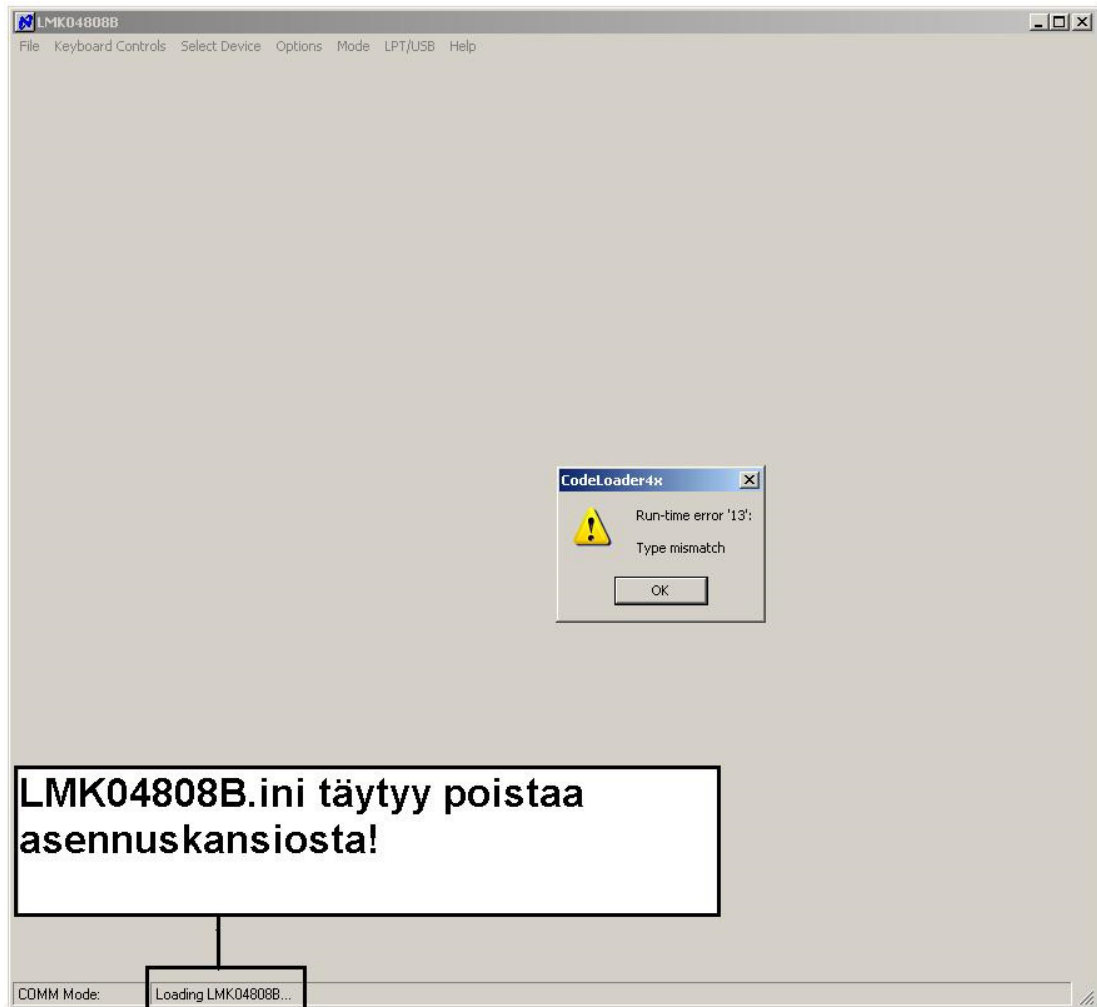
7.1 Ohjelmoinnin esivalmistelut

Piirilevyn ohjelmointiin käytetään Codeloader4-ohjelmaa. Ohjelma täytyy olla asennettu ohjelmointiin käytettävälle tietokoneelle käyttäen järjestelmänvalvojan oikeuksia. Piirin ohjelmointia varten täytyy olla DB25-liittimillä varustettu ohjelmointikaapeli. Ohjelmointikaapelin täytyy olla suoraan kytketty ja molemmissa päissä DB25-uroslittimet. Suoraan kytketty kaapeli tarkoittaa sitä, että 1. pinni menee 1. pinniin ja 2. pinni 2. pinniin jne. Tässä opinnäytetyössä käytetyn piirilevyn ohjelmointiin riittävät DB25-liittimen pinnit 1 (Chip Enable), 4 (Data), 7 (Clock) ja 9 (Lach Enable) sekä 18-25-pinnit kytkettynä yhteen maatasoksi (GND). Ohjelmointikaapeli kytketään tietokoneen LPT-porttiin ja toinen pää protolevyllä, minkä jälkeen Codeloader4-ohjelman voi käynnistää.

7.2 Ohjelmoinnin virhetilanteet

Mikäli ohjelman käynnistymisen yhteydessä tulee error-viesti: "Run-time error '13'. Type mismatch." kannattaa katsoa oikeasta alalaidasta, mitä piiriajuria ohjelma yrittää ladata. Tämä väärä piiriajuri täytyy poistaa Codeloaderin asennuskansiosta. Piirien-piiriajurit löytyvät Codeloadrin asennuskansiosta .ini-tiedostopäätteellä. Piirien-piiriajurit ovat nimetty piirin nimellä.

Esimerkiksi Codeloader4-ohjelma yrittää alustuksen yhteydessä ladata LMK04808B.ini-tiedostoa ja antaa virheilmoituksen: "Run-time error '13'". Ongelma poistuu, kun LMK04808B.ini-tiedoston poistaa asennuskansiosta. (Kuva 21.)



KUVA 21. Error-viesti

Syytä error-koodiin ei löytynyt. Edes Windows XP:n täydellinen uudelleen asennus ei vaikuttanut error-viestin ilmaantumiseen. Codeloader4-ohjelmaa kokeiltiin useilla eri koneilla, sekä Windows XP- ja Windows 2000 -käyttöjärjestelmillä. Windows 7 -käyttöjärjestelmällä ohjelma ei antanut error-koodia, mutta käytössä olleessa tietokoneessa ei ollut LPT-porttia, joten piirin ohjelmointia ei voitu testata.

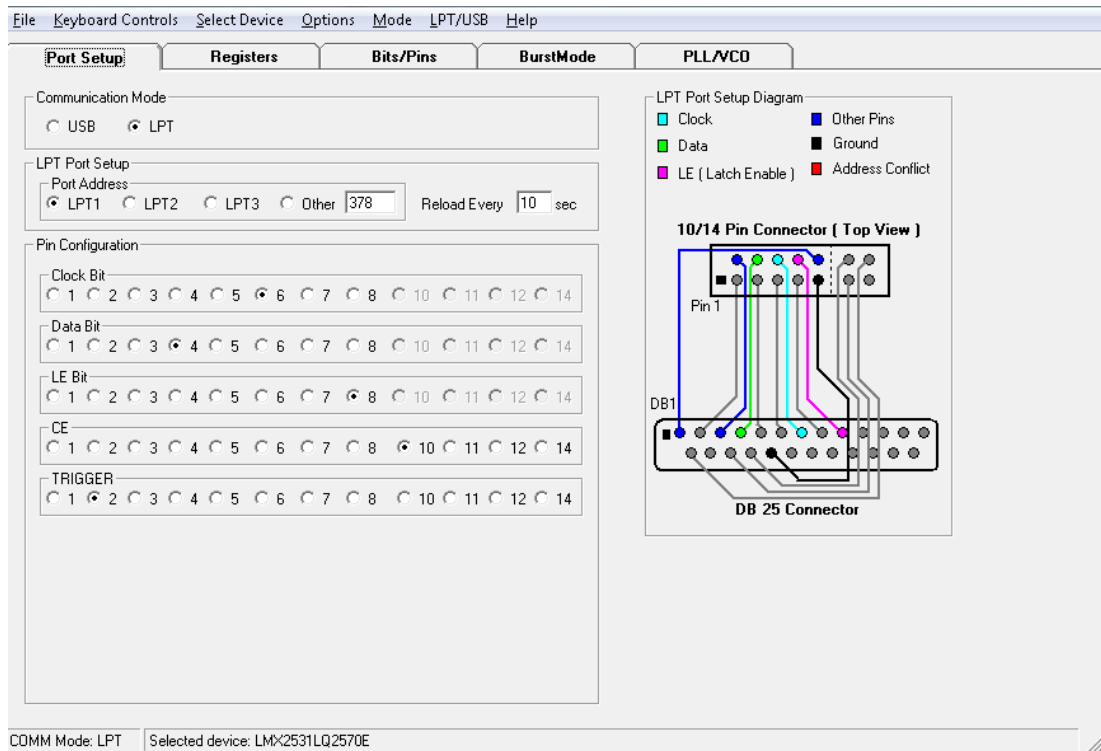
Ennen kuin piirin asetuksia muutetaan, täytyy ensin tarkistaa, että Codeloader4-ohjelma on saanut LPT-portin omaan käyttöönsä eivätkä esimerkiksi tulostinajurit varaa LPT-porttia itselleen. Tarkistaminen tehdään valitsemalla valikosta LPT/USB -> Check LPT. Mikäli virheitä ei ole, antaa Codeloader4 viestin "Successfully opened LPT driver.". Mikäli Codeloader4 antaa virheil-

moituksen "Failed to open LPT driver", täytyy bios-asetukset tarkistaa, jotta LPT-portin asetukset ovat joko ECP-, enable- tai output only -tilassa. Codeloader4 ei tue EPP-asetusta. Lisäksi on hyvä tarkistaa LPT-porttiin asennetut ajurit, jotta ne etteivät varaa LPT-porttia itselleen. Esimerkiksi joidenkin tulostimien ajurit saattavat varata LPT-portin. Tämän lisäksi täytyy tarkistaa, että Codeloader4 on asennettu koneelle käyttäen järjestelmänvalvojan oikeuksia.

7.3 Codeloader4-ohjelman asetukset

Kun piiriä ohjelmoidaan, täytyy piirilevylle olla syötettynä käyttöjännite. Ensimmäiseksi Codeloader4-ohjelman asetuksista täytyy valita käytetty piiri. Tässä opinnäytetyössä on käytetty LMX2531LQ2570E-piiriä, joka löytyy valikosta Select Device -> PLL+VCO -> LMX2531LQ2570E. Kun piiri on valittu, ohjelma lataa automaattisesti oikeat rekisteriosoitteet valitulle piirille sekä päivittää piirille ohjelmoitavissa olevat asetukset.

Mikäli käytetty ohjelmointikaapeli on suoraan kytketty, voidaan Codeloader4-ohjelman Port Setup -välilehden asetukset jättää vakioarvoihinsa, mutta ne on kuitenkin hyvä tarkistaa. (Kuva 22.)



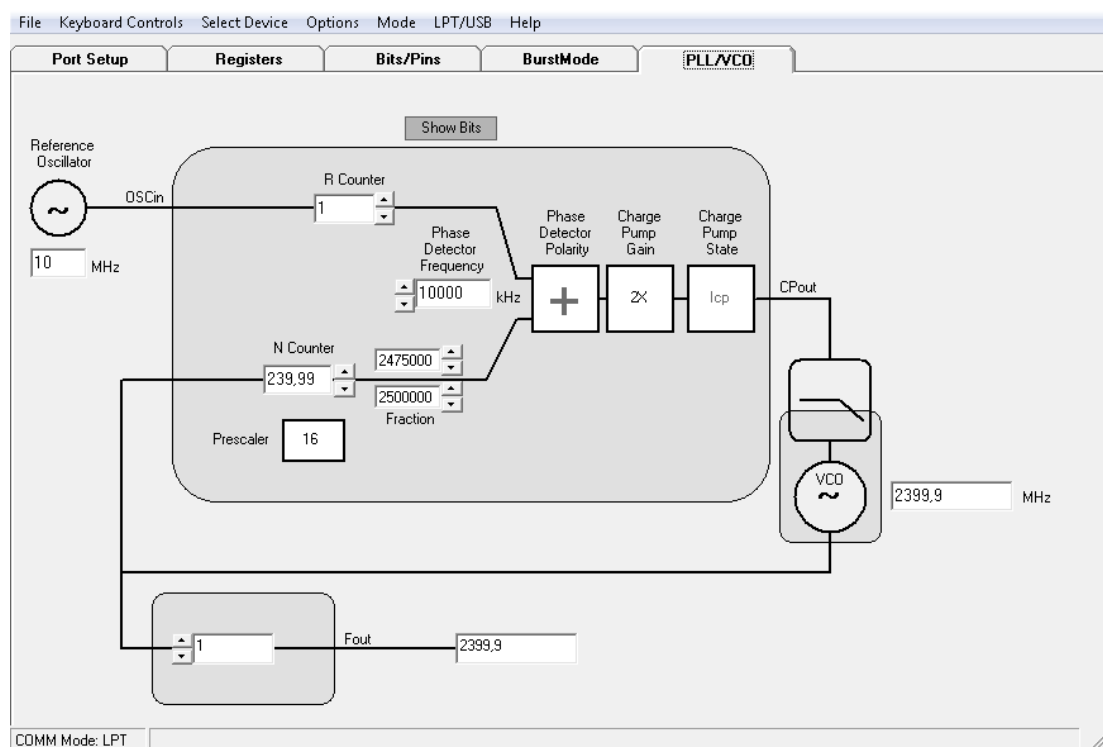
KUVA 22. Port Setup -välilehden asetukset

Registers-kohdan arvot generoidaan automaattisesti, joten niihin ei tarvitse koskea. Tässä välilehdessä voidaan yksittäisen rekisterin arvot ohjelmoida erikseen.

Bits/Pins-kohdasta voidaan EN_LPFLTR-kohdasta ottaa valinta pois, sillä prototylevyllä on oma ulkoinen alipäästösuodatin, joka on suunniteltu toimimaan 2 400 MHz:n ulostulo-taajuudella. Jos levyllä ei ole juotettu OPT1-vastusta, täytyy Program Pins -kohdasta valita CE (Chip Enable) aktiiviseksi. Mikäli OPT1-vastus on juotettuna piirilevyllä, LMX2531LQ2570E-piiri on koko ajan aktiivisena. Muilla asetuksilla voidaan hienosäätää ulostulotaajuutta ja PLL-lukitusasetuksia.

BurstMode-välilehdessä voidaan asettaa piiri lukittumaan vuorotellen useille eri taajuuksille. Tämä välilehti on tarkoitettu testauskäyttöön, mikäli halutaan esimerkiksi testata, kuinka nopeaa PLL lukkiutuu kahden eri taajuuden välille. Tälle välilehdelle ei tarvitse tehdä muutoksia.

PLL/VCO-kohdasta asetetaan Reference Oscillator -kohtaan 10 MHz:ä. Tämän jälkeen voidaan asettaa Fout-kohtaan haluttu ulostulotaajuus, mihin PLL lukkiutuu (kuva 23). Tässä opinnäytetyössä tätä ulostulotaajuutta käytetään korvaamaan mikserin paikallisoskillaattorin taajuus. Näin ollen protolevyn ulostuloon tulee protolevyn syötetyn signaalin ja LMX2531-piirin tuottaman signaalien erotus ja summa. Protolevyn ulostuloon ei ole asetettu kaistanpäästösuodattimia, joten signaalien summa on suodatettava pois ennen kuin lähtöä voidaan jatkokäsitellä.



KUVA 23. PLL/VCO-välilehden asetukset

Kun haluttu ulostulotaajuus LMX2531LQ2570E-piirille on valittu, voidaan asetukset syöttää piirille painamalla Keyboard Controls -> Load Device (tai pikanäppäimellä Ctrl+L). Pikanäppäinten käyttö on suositeltavaa, jotta saadaan tietokoneen näyttö sammutettua mittausten ajaksi. Erityisesti vanhemmat CRT-näytöt tuottavat paljon häiriötä, mikäli ne ovat samassa tilassa mittaussykken kanssa. Kun asetukset on ensimmäisen kerran syötetty, päivittää Codeloader4-ohjelma seuraavat muutokset reaaliajassa piirin rekistereihin. Mikäli ulostuloon asetetaan sellainen taajuus, jota

LMX2531LQ2570E-piiri ei pysty tuottamaan ohjelmoi Codeloader4 silti nämä asetukset piirille. Väärin asetetut kohdat näytetään punaisella, tällöin ei ole takuuta, että piiri antaa oikean ulostulotaajuuden piirin lähtöön. LMX2531LQ2570E-piirille voidaan ohjelmoida mikä tahansa ulostulotaajuus 2336-2790 MHz:n väliltä. Jos Fout/2 asetusta otetaan käyttöön, voidaan ulostulotaajuus valita 1168-1395 MHz:n väliltä.

8 JATKOTOIMENPITEET

Tässä opinnäytetyössä protolevyille juotettiin kaikki komponentit kiinni suoraan, sillä testaukseen varattu aika olisi muuten ollut riittämätön. Tästä syystä piirilevyn mittauksissa ilmenneiden ongelmien löytäminen testaukseen varatun ajan puitteissa oli mahdotonta.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan oli tarkoitus testata piirien toiminta erillään, jotta voitaisiin olla varmoja, että suunnitellut kytkennät toimivat halutulla tavalla. Ajan puutteen vuoksi kaikki piirit juotettiin suoraan piirilevyille kiinni. Piirien toiminnassa luotettiin datalehtien spesifikaatioihin. Koska piirit eivät toimineetkaan oletetulla tavalla, voitaisiin opinnäytetyön piirilevy purkaa ainakin kolmeksi erilliseksi lohkoksi ja testata niiden toiminta erillään. Tässä testauksessa voitaisiin käyttää jo valmiiksi jyrситtyjä piirilevyjä ja juottaa yhdelle piirilevyille pelkästään LNA-, mikseri- tai PLL-osio sekä piirin toimintaan vaadittavat virtalähdekomponentit.

Piirivalmistajien valmiiksi ladottuja evalointi-levyjä (15, T7024 demoboard; 16, LMX2531LQ2570E evaluation board; 17, AD8343 evaluation board) voitaisiin myös käyttää testaukseen. Tällöin voitaisiin olla varmoja, että piirien toimimattomuus ei ole itse aiheutettua esimerkiksi juotosvirheiden takia. Evalointi-levyt voitaisiin ensin testata erillään ja lopullisessa testissä ketjuttaa sarjaan niiltä löytyvien SMA-liittimien avulla. Tällöin voitaisiin olla varmoja piirien yhteensopivuudesta ja tarpeeksi tarkasta toiminnasta ennen kuin niitä yhdistetään yhdelle piirilevyille. Evalointi-levyjen saatavuutta toimittajilta ei ole tarkastettu.

Datalehtien spesifikaatioiden mukaan valittujen piirien pitäisi olla tarpeeksi tarkkoja tässä opinnäytetyössä kuvattuun välitaajuussignaalin erottamiseen. Varmuutta piirien soveltuvuudesta ei ole, sillä testilevyä ei saatu toimimaan toivotulla tavalla.

9 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä valmistettiin piirilevy, jolla oli tarkoitus madaltaa 2,4 GHz:n taajuudella vastaanotettu signaali sellaiseen muotoon, että sitä voidaan jatko käsitellä. Vastaanotetun signaalin madaltamista varten suunniteltiin ja toteutettiin superheterodyne-vastaanotin. Vastaanottimen lähde- lähtevästä signaalista täytyi kyetä erottamaan doppler-ilmiön aiheuttama taajuuden muutos vastaanotetussa signaalissa. Alkuperäiseen tavoitteeseen ei tämän opinnäytetyön puitteissa päästy, sillä piirilevylle valittua mikropiiriä ei saatu ohjelmoitua oikein.

Opinnäytetyön testaamiseen ja tekemiseen olisi pitänyt varata enemmän aikaa. Tätä opinnäytetyötä tehdessäni kävin täysipäiväisesti palkkatyössä, joten tarvittavaa aikaa opinnäytetyön tekemiseen ja piirilevyn testauksiin ei löytynyt. Palkkatyöhön hyötynä tästä opinnäytetyöstä oli eagle-ohjelmiston opetteleminen vapaa-ajalla, sillä käytän eagle-ohjelmistoa myös töissä. Myös komponenttien tilaaminen Amerikasta hidasti testausvaiheeseen pääsyä. Piirilevyn juottamiselle ja testaamiselle oli varattu ainoastaan viisi päivää lomaa töistä, joten piirilevyn juottamisen jälkeen ei itse testaukselle jäänyt paljoa aikaa. Lisäksi häiriösuojattu huone oli myös muussa käytössä testauksien välillä, joten häiriösuojattuun huoneeseen jouduttiin välillä odottamaan omaa vuoroa.

Tässä opinnäytetyössä tehdyn piirilevyn toimintaa ei voitu varmasti todeta. Varsinkin se jäi epäselväksi, ovatko valitut komponentit tarpeeksi tarkkoja, jotta niiden avulla voidaan havaita vastaanotetussa taajuudessa doppler-ilmiön aiheuttama taajuudenmuutos. Teoriassa taajuudenmuutoksen huomaamisen pitäisi olla mahdollista datalehtien spesifikaatioiden mukaan. LMX2531-piirin ohjelmointia voitaisiin myös kokeilla ilman tietokonetta ohjaamalla LE-, CE-, DATA- ja CLOCK-pinnejä esimerkiksi jollakin ohjelmoitavalla mikrokontrollerilla (esimerkiksi AVR tai PIC), mutta se olisikin sitten toisen opinnäytetyön laajuinen prosessi.

LÄHTEET

1. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Hakusana: Doppler effect. 2011. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_effect/. Hakupäivä 2.3.2011.
2. How stuff works, doppler effect. 2011. Saatavissa: <http://science.howstuffworks.com/dictionary/physics-terms/doppler-effect-info.html>. Hakupäivä 2.3.2011.
3. Uusitalo, Vesa 2010. Doppler vastaanotin. Oulu: Oulun Seudun Ammattikorkeakoulu, Tekniikan osasto. Opinnäytetyö.
4. Piittinen Jari 2010. Doppler-suuntain. Oulu: Oulun Seudun Ammattikorkeakoulu, Tekniikan osasto. Opinnäytetyö.
5. Michael Ellis, Introduction to mixers. 1999. Saatavissa: <http://michaelgellis.tripod.com/mixersin.html>. Hakupäivä: 10.06.2011.
6. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Hakusana: ISM-taajuusalue. 2011. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/ISM-taajuusalue>. Hakupäivä 17.11.2011.
7. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Hakusana: Radioaalto. 2011. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Radioaalto>. Hakupäivä 17.11.2011.
8. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Hakusana: Superheterodyne receiver. 2011. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Superheterodyne_receiver. Hakupäivä 2.3.2011.
9. Quartz Crystal Oscillator. 2011. Saatavissa: <http://www.electronicstutorials.ws/oscillator/crystal.html>. Hakupäivä: 10.06.2011.

10. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Hakusana: Jännitteenjakosäätö. 2011. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/J%C3%A4nntteen-ja_virranjakos%C3%A4%C3%A4nt%C3%B6. Hakupäivä 17.11.2011.
11. LMX2531LQ2570 datalehti. 2010. Saatavissa: <http://www.national.com/ds/LM/LMX2531.pdf>. Hakupäivä 10.06.2011.
12. T7024 datalehti. 2009. Saatavissa: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4533.pdf. Hakupäivä 10.06.2011.
13. AD8343 datalehti. 2002. Saatavissa: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8343.pdf. Hakupäivä 10.06.2011.
14. Codeloader4 käyttöohjeet. 2008 Saatavissa: http://www.national.com/assets/en/other/CodeLoader4_Instructions.pdf. Hakupäivä 27.5.2011
15. T7024 demoboard. 2004. Saatavissa: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4549.pdf. Hakupäivä 15.04.2010.
16. LMX2531LQ2570E evaluation board. 2006. Saatavissa: <http://www.national.com/assets/en/boards/LMX2531LQ2570E.pdf>. Hakupäivä 15.04.2010.
17. AD8343 evaluation board. 2002. Saatavissa: http://www.analog.com/static/imported-files/eval_boards/964313AD8343EB_0.pdf. Hakupäivä 15.04.2010

LIITTEET

- Liite 1. Osaluettelo
- Liite 2. Piirilevyn layout
- Liite 3. Piirilevyn kytkentäkaavio
- Liite 4. Piirilevyn kuva päältä
- Liite 5. Piirilevyn kuva alta
- Liite 6. Käyttöohjeet