LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

# KAIUNPOISTON TOTEUTTAMINEN

## MIKROPIIRILLÄ CS4622

Aldo Leetoja

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Tietotekniikka
Insinööri (AMK)

2015

LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tekniikka ja liikenne
Tietotekniikka

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Tekijä** | Aldo Leetoja | Vuosi | 2015 |
| **Ohjaaja** | Tauno Tepsa | | |
| **Toimeksiantaja** | Reksarja Oy | | |
| **Työn nimi** | Kaiunpoiston toteuttaminen mikropiirillä CS6422 | | |
| **Sivu- ja liitemäärä** | 77 | | |


Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella, kehittää ja toteuttaa kaiunpoistojärjestelmä. Toimeksiantajana oli Reksarja Oy, joka valmistaa teknisiä apuvälineitä ikäihmisille. Puhelimen, tietokoneen tai tabletin välityksellä puhuttaessa kuuluu joskus oma ääni kaikuna häiritsevästi. Tämän ongelman poistamiseksi aloitettiin kehittämään kauinpoistojärjestelmää. Kehitetty järjestelmä voisi hyödyntää muun muassa henkilöitä, joilla on kuulo-ongelmia.

Kaiunpoistolaitteen tekeminen vaati yksipuolisten piirilevyjen suunnittelua, kehittämistä ja testausta. Tärkein komponentti oli mikropiiri CS6422. Piirilevyn suunnitteluun ja prototyypin valmistamiseen käytettiin seuraavia ohjelmia: KiCad-piirilevysuunnitteluohjelma, Circuit Cam -niminen jyrsintätiedostojen muokkausohjelma ja Board Master -piirilevyjyrsimen ohjausohjelma. Lisäksi mikropiirin ohjausbittien muodostukseen oli apuna HDL Designer -niminen graafinen ohjelmointikieli sekä Quartus, joka kääntäjä graafisen koodin kirjalliseksi. Lisäksi käytettiin Programmer-ohjelmaa, joka siirtää ohjelman Altera-alustalle. Piirilevyn työstö toteutettiin Protomat S62 -jyrsinkoneella. Prosessin aikana kehitettiin kolme eri piirilevyprototyyppiä.

Prototyyppien rakentamisen aikana selviteltiin lisäksi, miten oli mahdollista muuttaa mikropiirin alkuasetuksia. Selvisi, että HDL Designer -ohjelmalla tehdyn bittijonon avulla oli mahdollista muuttaa Half-Duplex -moodi Full-Duplex -moodiksi.

Tuloksena oli Full-Duplex moodissa toimiva kaiunpoistojärjestelmän prototyyppi.. Protyypin testaukset osoittivat kyseisen piirin käyttökelpoisuuden kaiunpoistoon audiojärjestelmissä.



Avainsanat: kaiunpoisto, kaiku, mikropiiri, CS6422, piirilevy, ääni

LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

Abstract of Thesis

Technology, Communication and Transport
Information Technology Programme

---

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Author** | Aldo Leetoja | Year | 2015 |
| **Supervisor(s)** | Tauno Tepsa | | |
| **Commissioned by** | Reksarja Oy | | |
| **Subject of thesis** | Echo cancellation with microcontroller CS6422 | | |
| **Number of pages** | 77 | | |

---


The aim of this thesis was to improve voice quality preventing echo. The system presented was planned, designed, developed and tested. This thesis was commissioned by Reksarja. It produces technical equipment preposition for elder people. The model created could be used, by deaf persons to make it possible for them to live on their own independently.

The methodology to cancel the echo was to develop a one-sided circuit board. The most important component was the microcontroller CS6422. The programs used to design the printed circuit boards were KiCad, Circuit Cam and Board Master and HDL Designer, Quartus and Programmer, they were used for creating the digital code. The milling machine to develop the prototypes was Protomat S62. During the process, three different printed circuit board prototypes were created.

After developing the three samples it was discovered how to change the initial settings of the microcontroller. These changes involved the modification form Half- to Full-Duplex mode. The digital code was created with the HDL Designer program and it was sent to the microchip.

The result of the present thesis was to develop a Full-Duplex mode echo cancellation system by creating a circuit board device.



Key words: echo cancellation, echo suppression, echo, microcontroller, CS6422, printed circuit board, sound

SISÄLLYS

1 JOHDANTO ..... 9
2 ÄÄNEN OMINAISUUDET ..... 10
2.1 Ääni ja sen spektri ..... 10
2.2 Äänen taajuus ja spektri ..... 12
2.3 Äänen voimakkuus ..... 12
2.4 Äänen nopeus ..... 13
2.5 Äänen etenemisen periaate ..... 14
3 MIKROFONIT ..... 15
3.1 Mikrofonit ja mikrofonikaaviot ..... 15
3.2 Mikrofonien kehittyminen ..... 16
3.3 Dynaamisen mikrofonin toimintaperiaate ..... 17
3.4 Kondensaattorimikrofonit ..... 17
4 VAHVISTIMEN TOIMINTAPERIAATE ..... 19
4.1 Äänenvahvistimen yleinen kytkentäkaavio ..... 19
4.2 Lepovirran mukainen luokittelu ..... 20
5 ÄÄNEN HÄIRIÖT ..... 22
5.1 Kauin syntyminen ja sen poistaminen ..... 22
5.2 Keinoja kaiunpoistoon ..... 23
5.3 Puhelimen kaikuprosessi ..... 23
6 FYYSISEN RAKENTAMISEN VAIHEET ..... 25
6.1 Mikropiirin ominaisuudet ..... 25
6.2 Yleinen kuvaus ..... 25
6.3 Datalehdet ..... 26
6.4 Piirikaavio ..... 39
6.5 Piirilevyn valmistaminen ..... 40
6.6 Ensimmäisen prototyypin testaaminen ..... 44
6.7 Toisen prototyypin testaaminen ..... 50
6.8 Kolmannen prototyypin valmistaminen ja testaaminen ..... 57
6.9 Mikropiirin alkuasetusten muokkaaminen ..... 60
6.10 Digitaalisen bittijonon muodostaminen ..... 62
6.11 Kolmannen prototyypin testaus ..... 72
7 JOHTOPÄÄTÖKSET ..... 75

LÄHTEET.....77

ALKUSANAT

Olen erityisen kiitollinen siitä, että sain virolaisena opiskelijana mahdollisuuden aloittaa opinnot Suomessa vuonna 2007. Kiitän Lapin ammattiopistoa, jossa opiskelin tekniikan ja liikenteen alalla ja suoritin tietotekniikan perustutkinnon. Kiitän erityisesti Lapin ammattiopiston opettajia Pentti Vanhalaa, Lauri Kemppaista ja Esa Elfia.

Jatkoin opiskeluani Lapin ammattikorkeakoulussa tietotekniikan koulutusohjelmassa. Kiitän Lapin ammattikorkeakoulun lehtoreita Tauno Tepsaa, Anssi Ylinampaa ja Kenneth Karlssonia. Kiitän myös toimitusjohtaja Reijo Kortesalmea Reksarja Oy:sta.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

| | |
|---|---|
| AGND | Analogisen signaalin vertailutaso, maataso |
| AO | Akustinen ulostulo (*Acoustic Output*) |
| API | Mikrofonin sisäänmeno pinni 34 dB vahvistimen kautta |
| APO | Mikrofonin sisäänmeno pinni ilman etuvahvistinta |
| AVDD | Analoginen käyttöjännite |
| ºC | Lämpötila (asteina) |
| CLKI | Kide, kellotaajuuden sisäänmeno pinni |
| CLKO | Kide, kellotaajuuden ulostulo pinni |
| cm | senttimetriä |
| CMOS | *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor* |
| CON | Liitin |
| CPU | Suoritin tai prosessori (*Central Processing Unit*) |
| CS6422 | Mikropiirin tyyppi |
| dB | Desibeli, vahvistuksen yksikkö |
| DC | Tasavirta |
| DGND | Digitaalisen signaalin vertailutaso, maataso |
| DSP | Digitaalinen signaalinkäsittely |
| DTMF | *Dual-Tone Multi-Frequency* |
| DVDD | Digitaalinen käyttöjännite |
| FER1 | Ferriittisydämien kela |
| FET-transistori | Puolijohdekomponentti joka toimi kytkimenä, vahvistimena tai muistin elementtinä (*Field Effect Transistor*). |
| Hz | Hertsi, taajuuden yksikö |
| IC | Integroitu piiri (*Integrated Circuits*) |
| kΩ | Kilo-ohmi, resistanssin yksikkö |
| kHz | Kilo-hertsi, taajuuden yksikkö |
| KIDE1 | Kide, kellotaajuuden muodostamisen komponentti |
| km/h | kilometriä tunnissa, nopeuden yksikkö |
| M | Mega, miljoona |
| MB | *Microphone Bias Voltage Output* |

| | |
|---|---|
| m/s | metriä sekunnissa, nopeuden yksikkö |
| mV | Millivoltti, jännitteen yksikkö |
| NC | Ei kytketty (*Not connected*) |
| nF | Nanofaradi |
| NI | Network Line In |
| NO | Network Line Out |
| ns | Nanosekunti |
| Ω | Ohmi, resistanssin yksikkö |
| OP/IC | Valintakytkin, joilla ohjataan joko OP-operaatiovahvistimen kautta tai IC-mikropiirin kautta. |
| Pa (Pascal) | Äänenpaineen yksikkö |
| pF | Pikofaradi |
| PWM | Pulssinleveysmodulaatio |
| RAM | Luku- ja kirjoitusmuisti, joka tyhjenee virrankatkaisu yhteydessä (*Random Access Memory*) |
| RC-filters | Vastuksen ja kondensaattorin muodostama suodatin |
| RGain | Lähettävän äänen vahvistimen vahvistus kerroin |
| ROM | Tiedot säilyvät silloinkin, kun koneesta kytketään virta pois (*Read Only Memory*) |
| RST | Reset |
| RVol | Vastaanotettavan äänen voimakuuden säätäminen digitaalisesti |
| SNR | Signaali-kohinasuhde (*Signal to Noise Ratio*) |
| TGain | Vastaanotettavan äänen vahvistimen vahvistus kerroin |
| THD | *Total Harmonic Distortion* |
| TVol | Lähettävän äänen voimakuuden säätäminen digitaalisesti |
| µF | Mikrofaradi |
| µs | Mikrosekunti |
| V | Voltti, jännitteen yksikkö |
| VoIP | *Voice over Internet Protocol* |

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käsitellään elektroniikkalaitteitten kaiunpoistoa, esimerkiksi matkapuhelimesta, lankapuhelimista ja muista laitteista, joissa on mikrofoni ja kaiuttimet. Opinnäytetyön aiheeksi valittiin kaiunpoisto, koska se liittyi äänitekniikkaan. Ääni, äänitekniikka ja erilaisten ääniteknisten laitteitten rakentaminen ja testaaminen ovat olleet aina mielenkiintoni kohteina.

Opinnäytetyön tilaaja oli Reksarjan toimitusjohtaja Reijo Kortesalmi. Reksarja kehittää ja asentaa elektroniikkalaitteita sekä erilaisia kuulolaiteita. Reijo Kortesalmi pyysi minua opinnäytetyössäni rakentamaan ja kehittämään kaiunpoistojärjestelmää. Tarkoitus olisi parantaa mikrofonien kautta puhutun puheen laatua.

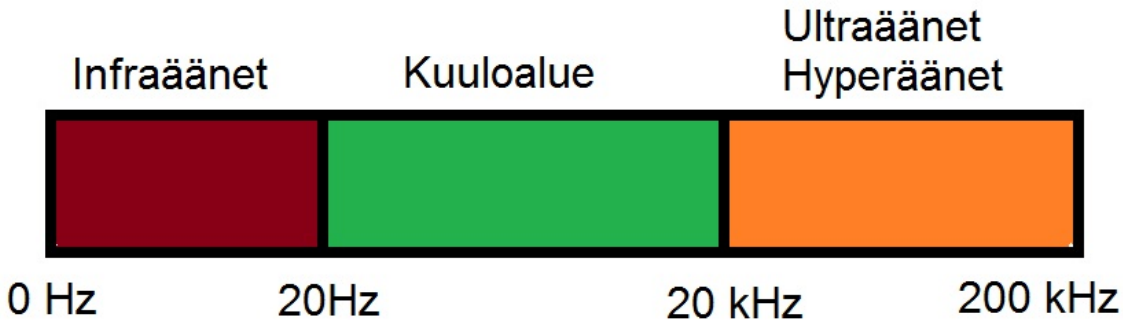
Tutustuttuani aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen, huomasin että kaiunpoistojärjestelmä olisi helppoa ja edullista rakentaa CS6422-mikropiirin avulla. Opiskelin useita viikkoja mikropiirin ominaisuuksia. Suunnittelin kytkentäkaaviosta piirilevyt, juotin komponentit ja testasin laitteistoa. Tuloksena oli Full-Duplex-moodissa toimiva kaiunpoistojärjestelmä.

# 2 ÄÄNEN OMINAISUUDET

## 2.1 Ääni ja sen spektri

Ääni on mekaanista aaltoliikettä tai aaltoliikkeen kuuloelinten kautta aiheuttama kuuloaistimus aivoissa. Ääniaalto etenee väliaineessa. Väliaine voi olla missä tahansa olomuodossa, kuten nesteenä, kaasuna, kiinteänä tai plasmana. Ääni ei etene tyhjiössä. Kaasuissa ja nesteissä etenee vain pitkittäinen aaltoliike. Kiinteissä aineissa esiintyy myös poikittaisia aaltoja. Kiinteään väliaineeseen ääntä voi synnyttää vain voiman tuotto. Yleisiä äänen syntymistapoja ovat mekaaninen värähtely ja virtaukset. Ääni voidaan havaita kuuloaistimuksena, tuntoaistimuksena tai mittaamalla. Ihmisääni syntyy ihmisen puhaltaessa ilmaa ulos keuhkoistaan äänihuulten, kurkun sekä suun tai nenän kautta.. Ihminen tuottaa ääntä tarkoituksellisesti äänihuulten avulla. Ääniä tuotetaan myös erilaisten soitinten avulla, esimerkiksi pianon, kitaran, triangelin tai rumpujen avulla. Ääniä voidaan havaita kuuloaistimuksena, tuntoaistimuksena tai erilaisten mittausten avulla. (Korpinen 2005.)

Korkeataajuisen ultraäänen avulla suoritettavilla mittauksilla voidaan selvittää etäisyyksiä tai jonkin kohteen sijainti. Ultraääntä käytetään lämmönlähteenä hitsauksessa erityisesti muoveja hitsattaessa. Kaikuluotaimien toiminta perustuu ultraääneen. Kuvassa 1 on äänen spektri. (Korpinen 2005.)




Kuvio 1. Äänen spektri

Erityisen matalia ääniä kutsutaan infraääneksi. Ääntä käytetään musiikissa ja laulamisessa taiteellista tai viihteellistä arvoa sisältävien kuuloaistimusten tuottamiseen. Taiteen alalla ääniä voidaan myös koota äänimaisemiksi tai käyttää erilaisten taideteoksien elementteinä. Ympäristössä esiintyy myös erilaisia ei-toivottuja ääniä, joiden yleisnimitys on melu. (Korpinen 2005.)

Ihminen ei kuule ääntä, joka on alle 20 Hz. Näitä ääniä kutsutaan infraääneksi. Ihminen ei kuule myöskään niin sanottuja ultraääniä, jotka ovat yli 20 000 Hz. On olemassa vielä hyperääniä, joiden taajuusalue ylittää 200 000 Hz. Ääniä on mahdollista vaimentaa äänenvaimentimella tai vastakkaisvaiheisten aaltojen avulla. Melua voi torjua esimerkiksi kuulonsuojaimien tai korvatulppien avulla (kuvat 2 ja 4). Kuvassa 3 on terävien äänien, esimerkiksi aseen äänen vaimentaja. (Korpinen 2005.)

Kuvio 2. Suojatulpat

Kuvio 3. Äänenvaimennin

Kuvio 4. Suojakuulokkeet

## 2.2 Äänen taajuus ja spektri

Äänen taajuuden yksikkö on hertsi (*Hz*). Taajuus kertoo ääniaaltojen värähtelyjen lukumäärän sekunnissa. Mitä nopeammin ääniaallot värähtelevät, sitä korkeampi ääni kuullaan. Ihmiskorva on herkimmillään aistimaan ääniä 500–4 000 *Hz*:n välillä. Ihmisen korva erottaa äänen taajuuksia 20–20 000 *Hz:*n välillä. Esimerkiksi pianon äänialue on noin 30–5 000 Hz (Korpinen 2005.)

Yleensä äänen spektri koostuu useista eri äänestä, mutta puhtaan siniaallon voidaan katsoa olevan ääni, jolla on vain yksi taajuus ja amplitudi. Elektroniikassa signaaligeneraattorit ovat laitteita, joilla voidaan tuottaa myös ääntä. (Korpinen 2005.)

## 2.3 Äänen voimakkuus

Äänen voimakkuutta kuvataan äänenpaineen tai äänenpainetason avulla. Äänenpainetason yksikkö on desibeli (*dB*). Normaalikuuloisen ihmisen kuulokynnystaso (toisin sanoen hiljaisin ääni, jonka hän kuulee) on noin 0–20 *dB*. Kun kuuntelemme arkielämän ääniä, juuri ja juuri kuultava ääni eli kuulokynnys, on noin 0 *dB*. Todellisuudessa koko väestön kuulokynnys on muutamia desibelejä korkeampi. Teknisesti voidaan mitata 0 *dB*:n äänenpaine. Fysiikassa mittayksikkönä on pascal. Kuulokynnys on 0,0002 pascalia 1000 *Hz*:n taajuudella. Kaikkia muita ääniä verrataan tähän äänenpaineeseen, ja näin saadaan yleisesti käytetty desibeliasteikko. (Korpinen 2005.)

Äänenpainetta ei yleensä arkielämässä huomaa, mutta nykyiset bassokaiutinsetit diskoissa ja konserteissa aiheuttavat selviä painetuntemuksia. Desibeliasteikolla kuulokynnys on 0 *dB* ja kipukynnys noin 120 – 130 *dB*. Ihmispuheen voimakkuus on keskimäärin 50–55 *dB*. Melurajana pidetään yleisesti 80 *dB*. (Korpinen 2005.)

Desibeliasteikko on logaritminen. Desibeliarvoja ei voi suoraan laskea yhteen. Kun yksi soittaja soittaa 60 dB:n voimakkuudella, on kahden soittajan äänenvoimakkuus korkeintaan noin 63–64 dB. Jos äänipöydässä miksataan yhteen kaksi

yhtä voimakasta mutta erilaista ääntä, voimakkuus lisääntyy 3–4 dB. Jos äänet ovat täsmälleen samoja, voimakkuus lisääntyy 6 dB. (Korpinen 2005.)

Korva kuulee äänen voimakkuuden kaksinkertaistuvan, kun voimakkuus lisääntyy 10 dB. Kun radio-ohjelmassa on puhetta ja sen alla taustamusiikkia, hyvä nyrkkisääntö on vaimentaa musiikkia noin 10–15 dB, eli hieman alle puoleen. Taulukko 1 on melutasotaulukko. (Korpinen 2005.)

Taulukko 1. Desibeliasteikko

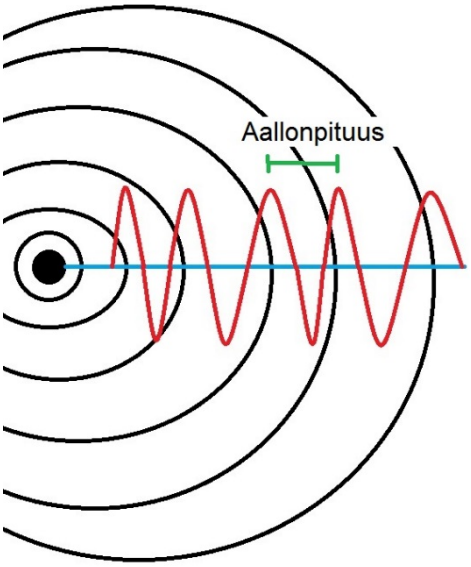
| | Desibeliasteikko arkielämän äänille |
|---|---|
| **0 dB** | Kuulokynnys |
| **10 dB** | Lehtien havina |
| **20 dB** | Tyhjän studion kohinat |
| **30 dB** | Kodin pohjahäly |
| **40 dB** | Konserttisalissa hiljaisin pianissimo |
| **50 dB** | Hiljainen keskustelu |
| **60 dB** | Kovaääninen keskustelu |
| **70 dB** | Radion kuunteluvoimakkuus, keskimäärin |
| **85 dB** | Diskon meluraja |
| **100 dB** | Telakka, kova melu katupora |
| **130 dB** | Kipuraja |
| **yli 130 dB** | Kuulolle vaarallinen melu |

## 2.4 Äänen nopeus

Äänen nopeus on ilmassa noin 343 metriä sekunnissa 20 °C:n lämpötilassa taajuudesta riippumatta. Äänen nopeus vaihtele kaikissa olomuodoissa materiaalista riippuen. Kylmässä ilmassa ääni etenee hitaammin.

Äänennopeus kasvaa, kun lämpötila nousee. Ääni etenee muissakin väliaineissa. Mitä kiinteämpää väliaine on, sitä nopeammin ääni liikkuu. Äänennopeus on te-

räksessä 5 050 m/s, alumiinissa noin 5200 m/s ja vedessä noin 1440 m/s. Täydellisessä tyhjiössä ei ole ääniä. Kuviossa 5 on kaavio äänen etenemisestä. Kuvion keskellä oleva värähtelevä kappale synnyttää ympäristöön etenevän paineaallon. Vihreällä värillä on merkitty aallon pituus ja punaisella värillä on merkitty ääniaallot.




Kuvio 5. Äänen eteneminen

## 2.5 Äänen etenemisen periaate

Ääni etenee ilmassa ilmapainevaihteluina (tihentymiä ja harventumia), jolloin puhutaan ääniaallosta. Ääniaallon pituus on kahden tihentymän (ilmapainemaksimin) välinen matka. Aallonpituus voidaan laskea kaavasta: Aallonpituus on äänen etenemisnopeus jaettuna taajuus. Kuviossa 5 nähdään aallonpituuden maksimien välinen etäisyys. Taulukossa 2 on taajuuden ja aallonpituuden suhde. (Korpinen 2005.)

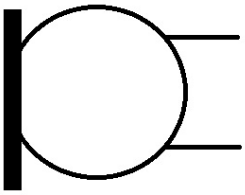
Taulukko 2. Taajuus ja aallonpituus

| Taajuus | Aallonpituus |
|---|---|
| **20 Hz** | 17 m |
| **100 Hz** | 3,4 m |
| **1000 Hz** | 34 cm |
| **10 000 Hz** | 3,4 cm |

# 3 MIKROFONIT

## 3.1 Mikrofonit ja mikrofonikaaviot

Mikrofoni on sähköakustinen muunnin, joka muuntaa äänivärähtelyn vastaavaksi sähköiseksi värähtelyksi. Mikrofoneja käytetään yleisimmin musiikin ja puheen muuttamiseen sähköiseen muotoon vahvistusta tai tallennusta varten. Kuviossa 6 on mikrofonin symboli.



Kuvio 6. Mikrofonin symboli

Kuvioissa 7 ja 8 on eri mikrofonimalleja. Kyseiset mikrofonit ovat nykyään käytetyimpiä.

Kuvio 7. Kuulokemikrofoni

Kuvio 8. Laulumikrofoni

## 3.2 Mikrofonien kehittyminen

Mikrofoni on vanhin nykyaikaiseen äänentallennukseen ja äänentoistoon tarkoitettu väline. Fysiikan opiskelija Emil Berliner kehitti ensimmäisen varsinaisen mikrofonin vuonna 1877 ja myi patentin Bell Telephone Companylle. Mikrofonia käytettiin ensin puhelimissa, mutta sitä kehitettiin juuri kehitetyn radion tarpeisiin. Hiilimikrofonin keksi David Edward Hughes 1878, ja sitä aloitettiin valmistamaan teollisesti 1920-luvulla. Hiilimikrofoneja käytettiin toisin sanoen radiossa ja puhelimessa, joihin ne olivat tarpeeksi laadukkaita. Sen sijaan äänen tallennukseen hiilimikrofonien äänenlaatu oli heikko. (Sähkö II. Telefooni ja sen käyttäminen 1900, 31.)

Ensimmäiset kondensaattorimikrofonit ja dynaamiset mikrofonit kehitettiin 1930-luvulla. Vuonna 1874 Ernst Siemens patentoi dynaamisen mikrofonin periaatteen. Liikkuvakelainen mikrofoni perustuu samaan periaatteeseen kuin dynaaminen kaiutin, toisin sanoen magneettikentässä liikkuvaan kuparilankakelaan, joka tuottaa sähkövirtaa liikkeestä. Dynaaminen mikrofoni oli äänenlaadultaan hiilimikrofonia parempi. (Wikipedia 2014a.)

Kondensaattorimikrofonin valmistus mahdollistui elektroniputken keksimisen jälkeen 1900-luvun alussa. Kondensaattorikapselin jännitemuutosten mittaamiseen tarvittiin suuri-impedanssinen vahvistin. Se ei kuormita kapselia eikä näin ollen pura sen sähkövarausta. Suurimmat radioyhtiöt ottivat dynaamiset mikrofonit ja kondensaattorimikrofonit osaksi teknisiä sovelluksia, koska kyseisten mikrofonien äänenlaatu oli huomattavasti parempi kuin aiempien mikrofonien. FET-transistori syrjäytti 1970-luvulla lähes kokonaan elektroniputken kondensaattorimikrofonin vahvistinosassa. (Wikipedia 2014a.)

Kidemikrofoni eli pietsosähköinen mikrofoni oli yleisesti käytössä 1930–1950-luvuilla. Pietsosähköiseen ilmiöön perustuva mikrofoni pystyi tuottamaan korkeamman jännitteen verrattuna dynaamiseen mikrofoniin korkeamman, joten se soveltui hyvin esimerkiksi kotiäänitykseen. Pietzomikrofonin materiaalina käytettiin en-

sin rochelle-suolakiteitä. Nykyisin käytetään erilaisia muovisia ja keraamisia materiaaleja ja pietzomikrofonin tärkeimmät sovellukset ovat akustisten soittimien tallamikrofonissa sekä ultraääniantureissa. (Wikipedia 2014a.)

## 3.3 Dynaamisen mikrofonin toimintaperiaate

Dynaaminen mikrofoni on yleisin mikrofoni, joka toistaa instrumentteja ja lauluääntä vaativissa olosuhteissa melko laadukkaasti. Dynaaminen mikrofoni on erityisen suosittu konserttikäytössä sen kestävyyden ja hyvän toiston vuoksi. Dynaamisen mikrofonin toimintaperiaate on päinvastainen kuin dynaamisella kaiuttimella.

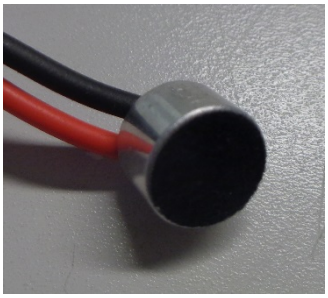
Yksinkertaisimmillaan dynaaminen mikrofoni sisältää neljä osaa: 1) kalvon, 2) sähköä johtava kelan, 3) magneetin napakappaleineen sekä 4) johtimet. Kela on kiinnitetty kalvoon, jonka ilman liike saa värähtelemään. Tällöin kalvoon kiinnitetty kela liikkuu magneettikentässä ja vaihtojännite indusoituu siihen. Johtimet puolestaan kuljettavat heikon sähköisen signaalin vahvistimeen, joka vahvistaa signaalin esitys- tai tallennusmuotoon. (Wikipedia 2014a.)

## 3.4 Kondensaattorimikrofonit

Kondensaattorimikrofoni on mikrofoneista herkin ja etsii suurimmat ja pienimmät taajuudet melko helposti. Kondensaattorimikrofonin toimintaperiaate on monimutkaisempi kuin dynaamisen mikrofonin. Kondensaattorimikrofonissa on dynaamisen mikrofonin kalvon ja kelan tilalla niin sanottu kondensaattori, joka koostuu elektrodista ja ohuesta metallisesta kalvosta. Kalvo vastaanottaa ääniaallot. Ulkopuolisen jännitelähteen (useimmiten 48 V:n jännite) avulla synnytetään kondensaattoriin tasajännite. Kun äänenpaine saa metallikalvon liikkumaan kauemmas ja lähemmäs elektrodista, syntyy jännite. Tällöin tarvitaan esivahvistin, joka vahvistaa signaalia. (Wikipedia 2014 a.)

Äänimittauksissa kondensaattorimikrofoni on suosittu sen tasaisen taajuusvasteen takia. Suurikalvoiset kondensaattorimikrofonit ovat kaikkein herkimpiä,

mutta ne eivät kestä yhtä suuria äänenpaineita kuin pienet mikrofonit ilman pysyviä herkkyyden muutoksia. Mittausmikrofoneilla tyypillinen herkkyys on suurilla yhden tuuman mikrofoneilla 50 mV/Pa, kun taas pienillä neljännestuuman mikrofoneilla herkkyys on tavallisesti 5 mV/Pa. Pienikalvoiset mikrofonit kestävät suurempaa painetta ja jopa jonkin verran myös iskuja. Suuremmilla mikrofoneilla taajuusvaste kattaa tavallisesti vain audioalueen eli enintään 20 kilohertsiä. Kuviossa 9 on kondensaattorimikrofonielementti. (Wikipedia 2014a.)

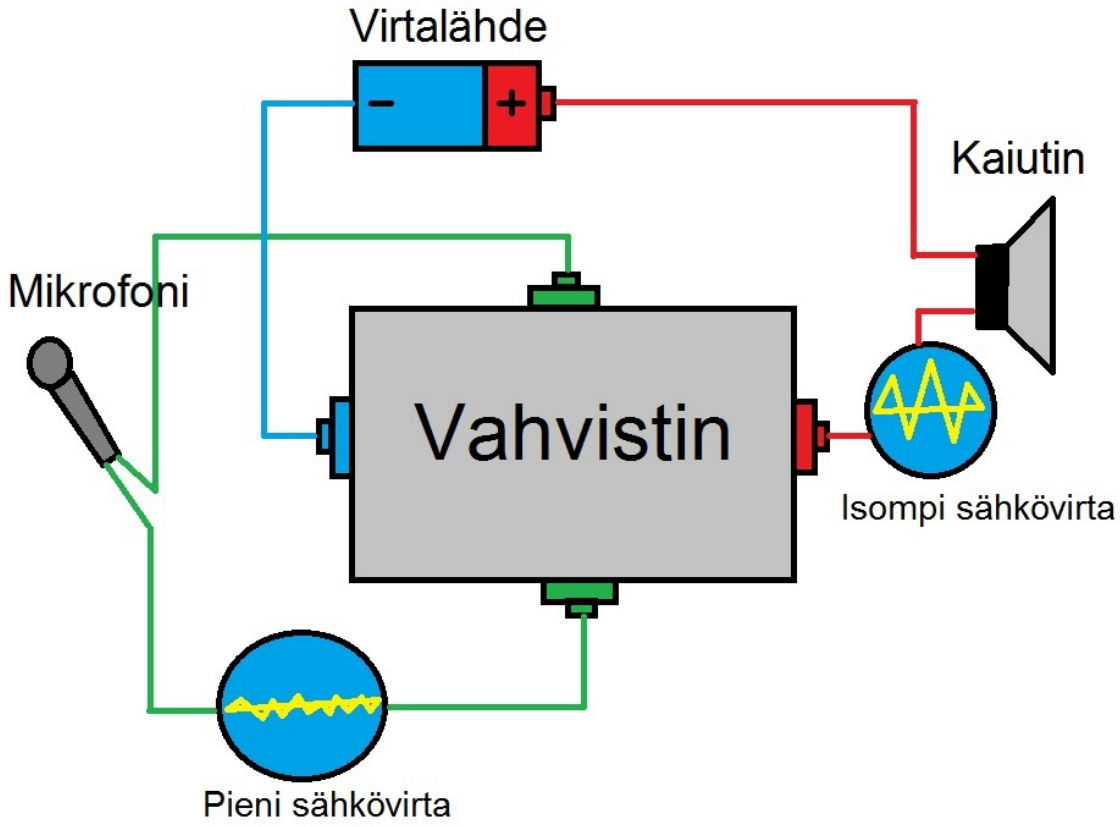


Kuvio 9. Kondensaattori-mikrofonielementti

# 4 VAHVISTIMEN TOIMINTAPERIAATE

## 4.1 Äänenvahvistimen yleinen kytkentäkaavio

Vahvistin on laite, jossa pienitehoinen signaali ohjaa suurempaa tehoa. Elektroninen vahvistin on signaalia vahvistava laite, jota käytetään kaikessa elektroniikassa, esimerkiksi äänen ja radiosignaalin vahvistamiseen.




Kuvio 10. Vahvistimen kytkentä (Circuits Today 2014)

Kuviossa 10 on vahvistimen toimintaperiaate. Vahvistin tarvitsee virtalähteen, joka voi olla paristo tai verkkojännite (220 V/50 Hz). Jos jännite otetaan verkosta, pitäisi olla välissä muuntaja, joka muuntaa verkkojännitteestä vahvistimen tarvitseman jännitteen. Vahvistin vahvistaa heikkoa sisään tulevaa signaalia. Kuviossa 11 mikrofoni synnyttää signaalin. Mikrofonissa syntyy heikon 5 mV:n jännite, joka

kulkee vahvistimen läpi. Vahvistin vahvistaa kyseistä mikrofonisignaalia verkkojännitteestä muodostetun korkeamman tasajännitteen avulla.
Sisään tuleva signaali on samanmuotoinen kuin ulostuleva signaali. Vahvistimen ulostuloon voi kytkeä kuorman (kaiutin tai kuulokkeet). Kaiuttimen tai kuulokkeitten kautta ihminen kuulee ulostulevan signaalin. Ulostuleva signaali on amplitudiltaan suurempi kuin sisäänmenosignaali. Vahvistimessa on yleensä äänenvoimakkuuden säädin.

## 4.2 Lepovirran mukainen luokittelu

Vahvistimet voidaan jakaa topologioihin toimintaperiaatteen mukaan, niin että vahvistimet luokitellaan lepovirran ja kytkennän mukaisesti seuraavasti:

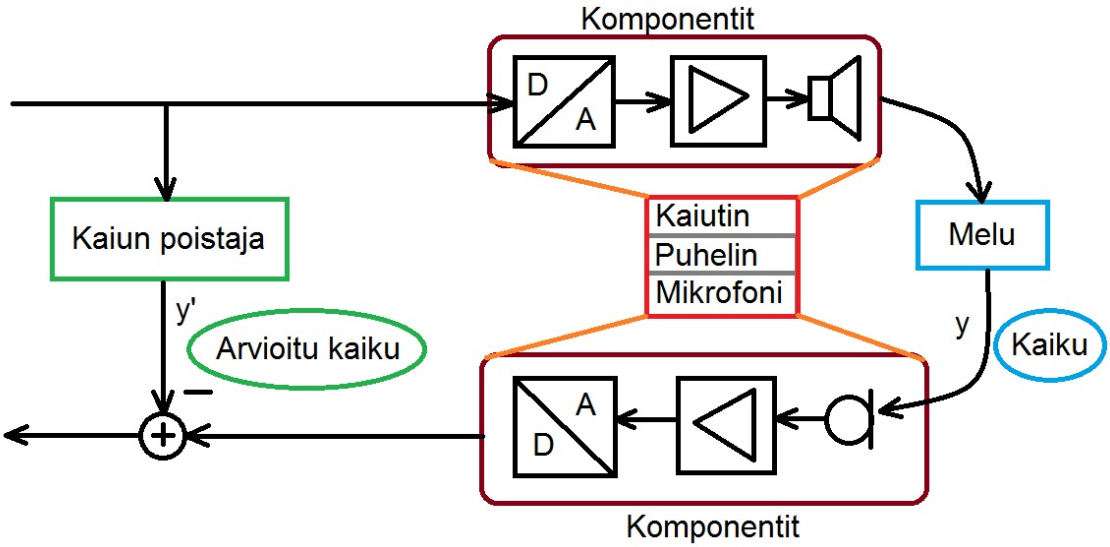
- **A-luokan vahvistimen** pääteasteen transistori tai elektroniputki johtaa virtaa koko ajan, joten vahvistimen hyötysuhde on heikko, korkeintaan 25 %. Särö on kuitenkin pieni. A-luokan vahvistimia käytetään pääasiassa esivahvistimissa ja muissa pientehosovelluksissa, mutta myös joissakin varsinaisissa pääteasteissa. Huonon hyötysuhteensa vuoksi tehokkaat A-luokan päätevahvistimet kuitenkin vaativat epäkäytännöllisen järeää jäähdytystä. A-luokan kytkentöjä käytetään yleisesti pienissä putkivahvistimissa edelleen.
- **B-luokan vahvistimen** pääteasteessa on kaksi transistoria tai elektroniputkea, joista toinen johtaa vain positiivisen ja toinen negatiivisen puolijakson ajan. Signaalin ollessa nolla kumpikaan ei johda. Vahvistimella esiintyykin signaalin nollakohdan tuntumassa ylimenosäröä, joka aiheutuu signaalin vaihtumisesta transistorilta tai putkelta toiselle. Hyötysuhde on korkeintaan 78,5 %.
- **AB-luokan vahvistin** on muuten samanlainen kuin B-luokan vahvistin, mutta ylimenosäröä on pienennetty. Tämä on toteutettu asettamalla transistorien toimintapiste niin, että pienellä signaalitasolla kumpikin transistori toimii A-luokassa. Signaalin kasvaessa toiminta on B-luokan mukaista. AB-luokka on ollut ylivoimaisesti yleisin vahvistintopologia 1970-luvun lopusta alkaen.

- **C-luokan vahvistinta** käytetään lähinnä radiotaajuuksilla toimivissa lähettimissä. Hyötysuhde on jopa 90 %, koska päätetransistorit tai -putket toimivat lähes kytkimen tapaan. Särö on myös suuri, mutta käytännössä sillä ei ole juurikaan merkitystä. Useimmiten C-luokan vahvistimen kuormana on viritetty resonanssipiiri, joka suodattaa harmoniset särökomponentit pois.
- **D-luokanvahvistimen** päätetransistorit toimivat kytkimen tapaan, jolloin hyötysuhde on parhaimmillaan jopa 95 %. Päätetransistoreja ohjataan useimmiten pulssinleveysmoduloidulla (PWM) signaalilla, jonka taajuus on monikertainen verrattuna korkeimpaan vahvistettavaan taajuuteen. Tällöin modulointitaajuus on helppo suodattaa pois yksinkertaisella alipäästösuotimella, ja vahvistimesta saatava signaali on periaatteessa samanlainen verrattuna sille syötettyyn analogiseen signaaliin. D-luokan merkittävimmät edut ovat keveys ja erittäin pieni lämmöntuotto. Kokonaisuudesta muodostuu pieni ja tehokas. Aiemmin D-luokka on kärsinyt äänenlaatuongelmista, mutta äänen ominaisuuksia on saatu myöhemmin parannettua.

# 5 ÄÄNEN HÄIRIÖT

## 5.1 Kauin syntyminen ja sen poistaminen

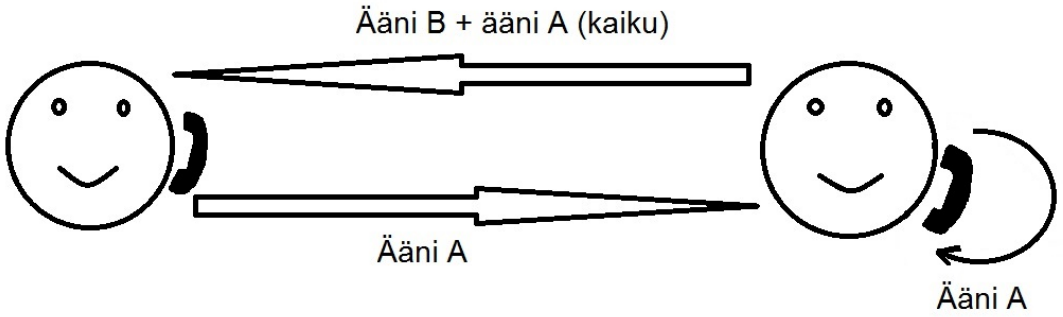
Kaiunpoistolla tarkoitetaan kaikuäänen poistoprosessia ääniyhteydestä, jotta soittoyhteyden äänen laatu parantuisi. Kaiunpoistoa tarvitaan usein, koska puheen pakkaustekniikat ja pakettien käsittelyviiveet tuottavat kaikua. On olemassa kahdenlaista kaikuääntä: akustinen kaiku ja hybridinen kaiku. Kaiunpoisto ei ainoastaan paranna äänen laatua, vaan pienentää tarvittavaa kaistanleveyttä taukojen poistotekniikan avulla. Kuviossa 11 on kaavio kaiun poistamisesta ja häiriön syntymisestä. (Nlaec 2013.)




Kuvio 11. Kaiunpoiston kaavio (Nlaec 2013)

## 5.2 Keinoja kaiunpoistoon

Yleinen ongelma puhelimessa on akustisen kaiun esiintyminen. Akustista kaikua ilmenee erityisesti silloin, kun puhelimen äänisignaali kulkee kaiuttimesta takaisin mikrofoniin. Kun käytetään VoIP -puhelinjärjestelmiä voi esiintyä kaikua, jos kaapelit ovat huonosti suojattuja tai niissä on riittämätön kaistanleveys. Kuviossa 12 on äänen ja akustisen kaiun syntyminen. Oikeanpuoleisen henkilön korvakuulokkeista kytkeytyy osa äänestä hänen omaan mikrofoniin. (Askozia 2014.)




Kuvio 12. Äänen ja akustisen kaiun syntyminen (Askozia 2014)

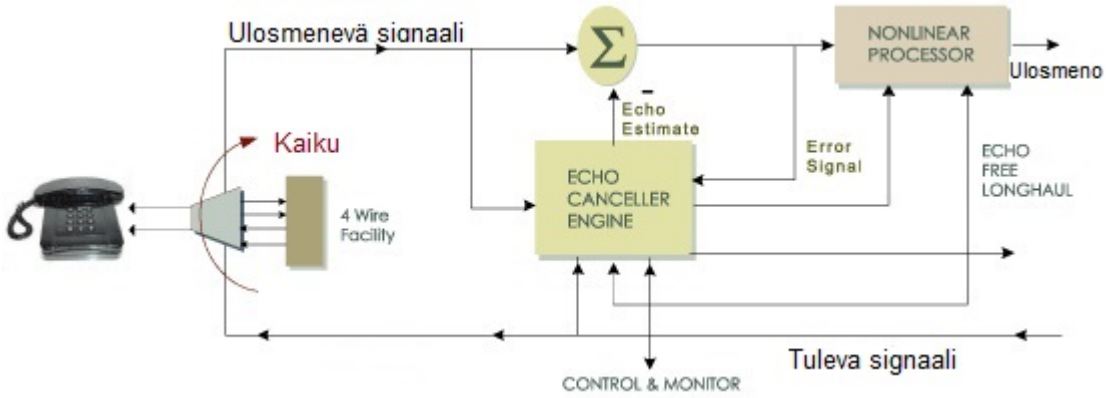
Kaiunpostolla pyritään poistamaan akustista kaikua vastakkaisvaiheisella signaalilla, niin sanotulla vasta-aallolla. IP-puhelimien kaiku poistetaan DSP-laitteistojen ja ohjelmistojen avulla.

## 5.3 Puhelimen kaikuprosessi

Valtaosa julkisen puhelinjärjestelmän tilaajayhteyksien kytkennästä tehdään käyttämällä kahden langan yhteyttä, joissa sama pari johtoja kuljettaa äänisignaalia molempiin suuntiin. Puhelinkeskuksessa kaksilankayhteys muutetaan nelilankaiseksi ns. hybridimuuntajalla. Nykyisin kyseessä on muuntajan sijaan mikropiiri. Hybridipiirit eivät tee täydellistä impedanssisovitusta, joten osa signaalista heijastuu takaisin ja se aiheuttaa kaikua.

Kaiku pitäisi poistaa mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti niin, että äänen laatu ei huonone kaiun poistamisen takia. Kaiunpoiston täytyy toimia kaikissa olosuhteissa, myös silloin kun molemmat osapuolet puhuvat yhtä aikaa ja taustalla

on melua. Lisäksi kaiunpoistaja ei saa aiheuttaa haittaa signalointiäänille DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency) tai modeemilähetyksille. Kuviossa 13 esitetään kaiunpoistamisen lohkokaavio.




Kuvio 13. Lankapuhelimen kaiunpoisto (Adaptive Digital 2015)

# 6 FYYSISEN RAKENTAMISEN VAIHEET

## 6.1 Mikropiirin ominaisuudet

Sopivia kaiunpoistopiirejä etsimällä löydettiin mikropiiri CS6422, jonka avulla aloitettiin suunnittelemaan kaiunpoistojärjestelmää. Ensin tutkittiin erilaisia mikropiirien tiedostoja. Sen jälkeen tarkistettiin tiedostojen ominaisuuksia sekä sitä, millaista jännitettä mikropiirit tarvitsevat ja kuinka paljon ne käyttävät virtaa. Rakentaminen aloitettiin kytkentäkaavion mukaisesti ja samalla selvitettiin mikropiirin toiminta sekä komponenttikoko ja pinnijärjestys.

Alla kuvataan mallin ***Enhanced Full-Duplex Speakerphone IC CS6422*** piirteitä:

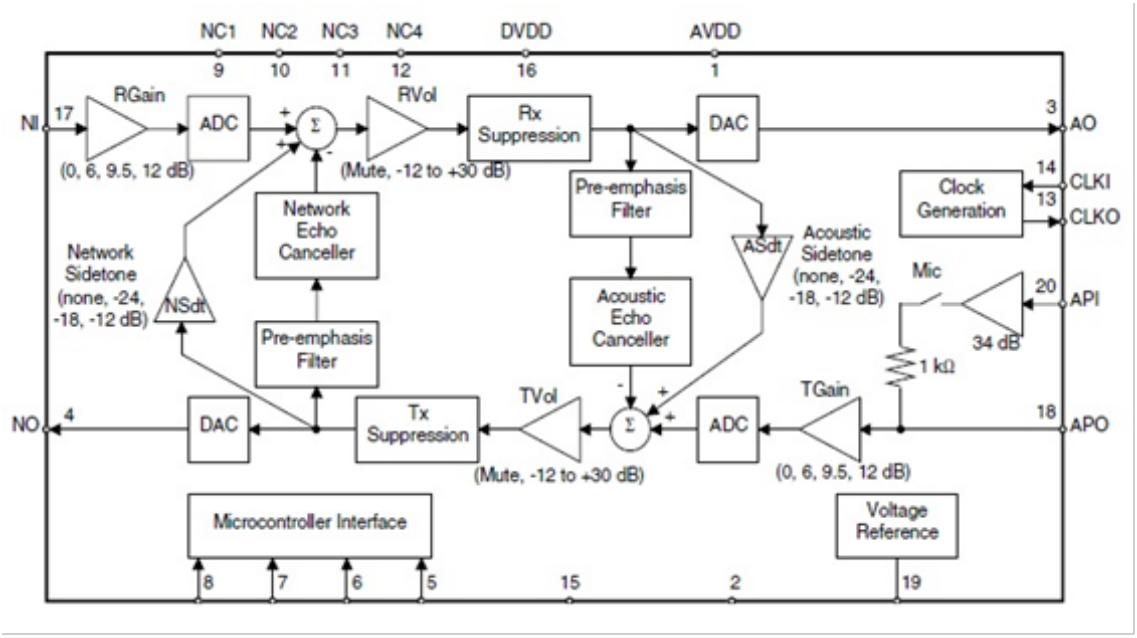
- Single-chip, full-duplex, hands-free operation
- Optional Tx Noise Guard
- Programmable attenuation during double-talk
- Optional 34 dB microphone preamplifier
- Dual channel AGC’ed volume controls with mute
- Dual integrated 80 dB IDR codecs
- Speech-trained Network and Acoustic Echo Cancellers
- Rx and Tx supplementary echo suppression
- Configurable half-duplex training mode
- Powerdown mode
- Microcontroller Interface

## 6.2 Yleinen kuvaus

Useimmat nykyaikaiset kaiutinpuhelimet käyttävät Half-Duplex -toimintaa, joka vuorottelee tiedonsiirtoa kaukopuhujan ja kaiutinpuhelin käyttäjän välillä. Laitteissa, joissa on kaiutin ja mikrofoni lähellä toisiaan, on paljon suurempi riski kaiun esiintymiseen. Kaiun esiintymisen riski on pienempi, jos käyttää kuulokemikrofoneja, koska ne ovat mekaanisesti kauempana toisiaan. Mikropiirin CS6422 avulla on mahdollista suunnitella ja rakentaa Full-Duplex-moodissa toimiva kaiunpoistolaite. Mikropiiri, jossa on kaiunpoistoprosessi, sisältää puhelimen ja äänen sisäänmenopinnit.

## 6.3 Datalehdet

Kuviossa 14 on piirin CS6422 sisäinen rakenne. Siitä nähdään piirin toiminta lohkokaaviotasolla. Kaavion sisäpuolella olevat numerot tarkoittavat pinnien järjestyksiä. Esimerkiksi 17 on NI, joka tarkoittaa signaalin sisäänmenoa. Toisin sanoen mikropiirillä pitää laskea 17. jalka, joka on NI. Samalla tavalla lasketaan kaikki muut pinnit ja jalat.




Kuvio 14. Datalehti CS6422

Lyhenne CLKI kuviossa 14 tarkoittaa kidettä (quartz). Kide antaa kellotaajuuden sisäiselle DSP-prosessorille. CLKI on kellotaajuuden sisäänmenopinni 14. Vastaavasti pinni 13 on CLKO, eli kellotaajuuden ulostulo.

Kuviossa 15 on absoluuttiset maksimiparametrit. Piiri CS4622 tarvitsee -0,3–6 V:n käyttöjännitteet ja käyttää -10–10 mA:n virtaa. Analoginen sisäänmeno- jännite on -0,3–AVDD+0,3 V. Digitaalisen sisäänmenosignaalin jännite on -0,3–DVDD+0,3 V. Ympäröivä käyttölämpötila saa olla -40–85 ºC. Varastointilämpötila pitäisi olla -65–150 ºC. Tehtaan mukaan laite toimii näitten lämpötilojen rajoissa.

Kuviossa 15 on esitetty myös suositeltavat olosuhteet. Mikropiiri tarvitsee tasasuunnattua 4,5–5,5 V:n jännitettä. Käyttöympäristön lämpötila kaupalliseen käyttöön tarkoitetulla piirillä (CS4622) on 0 – 70 ºC ja teolliseen tarkoitetulla piirillä 40–85 ºC.

Kuviossa 15 on lisäksi tietoa virrankulutuksesta. Tehtaan testiympäristön lämpötila on 25 ºC, jännite on DVDD = AVDD = 5 V ja kiteen taajuus on 20,480MHz. Analoginen virta jos RST = 0 on 1 mA. Analoginen virta jos RST = 1 on 10 -20 mA. Digitaaliset prosessit vievät virtaa seuraavasti: Jos RST = 0, virrankulutus on 1 mA ja jos RST = 1, virrankulutus on 50–80 mA.

Seuraavaksi kuviossa 15 esitetään analogiset ominaisuudet. Tehtaan analogiset testiympäristöt ovat samoja kuin edellisissä kappaleissa. Tehtaan mittaustuloksina on saatu seuraavat tiedot:

1) Sisäänmenojännite (APO, NI) on 2,12 V
2) Ulosmenojännite (AO, NO) on 2,12 V.
3) Lähetysryhmän viive on 6 ms.
4) Vastaanottajaryhmän viive on 6 ms.
5) Sisäänmenoimpedanssi (APO, IN) on 1.5 MΩ.
6) Kuormitusimpedanssi (AO, NO) on 10 kΩ.
7) Virtalähteen hylkäys on 40 dB.

## 1. CHARACTERISTICS AND SPECIFICATIONS

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Parameter | | Symbol | Min | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|
| DC Supply (AVDD, DVDD) | | | -0.3 | 6.0 | V |
| Input Current (Except supply pins) | | $I_{in}$ | -10 | +10 | mA |
| Input Voltage | Analog<br>Digital | $V_{ina}$<br>$V_{ind}$ | -0.3<br>-0.3 | AVDD+0.3<br>DVDD+0.3 | V |
| Ambient Operating Temperature | | $T_A$ | -40 | 85 | °C |
| Storage Temperature | | $T_{stg}$ | -65 | 150 | °C |

WARNING: Operation beyond these limits may result in permanent damage to the device.
Normal operation is not guaranteed at these extremes.

### RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

| Parameter | | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DC Supply (AVDD, DVDD) | | | 4.5 | 5.0 | 5.5 | V |
| Ambient Operating Temperature | Commercial<br>Industrial | $T_{AOp}$ | 0<br>-40 | 25<br>25 | 70<br>85 | °C |

### POWER CONSUMPTION ($T_A$ = 25°C, DVDD = AVDD = 5 V, $f_{XTAL}$ = 20.480 MHz) (Note 1)

| Parameter | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|
| Power Supply Current, Analog ($\overline{RST}$=0) | $P_{DA0}$ | | | 1 | mA |
| Power Supply Current, Analog ($\overline{RST}$=1) | $P_{DA}$ | | 10 | 20 | mA |
| Power Supply Current, Digital ($\overline{RST}$=0) | $P_{DD0}$ | | | 1 | mA |
| Power Supply Current, Digital ($\overline{RST}$=1) | $P_{DD}$ | | 50 | 80 | mA |

Notes: 1. AO and NO outputs are not loaded.

### ANALOG CHARACTERISTICS ($T_A$ = 25°C, DVDD = AVDD = 5 V, $f_{XTAL}$ = 20.480 MHz)

| Parameter | | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Input Offset Voltage (APO, NI) | | | | 2.12 | | V |
| Output Offset Voltage (AO, NO) | | | | 2.12 | | V |
| Transmit Group Delay | (Note 2) | | | | 6 | ms |
| Receive Group Delay | (Note 2) | | | | 6 | ms |
| Input Impedance (APO, NI) | | $Z_{in}$ | | 1.5 | | MΩ |
| Load Impedance (AO, NO) | | $Z_{load}$ | 10 | | | kΩ |
| Power Supply Rejection (1 kHz) | | | | 40 | | dB |

Notes: 2. These parameters are guaranteed by design or by characterization.

Kuvio 15. Maksimiparametrit

Kuviossa 16 kuvataan **analogiset siirto-ominaisuudet.** Testiympäristön olosuhteet ovat: lämpötila + 25 ºC, *DVDD* = *AVDD* = 5 V, kiteen taajuus 20,480 MHz, RVol = TVol = TGain = 0 ja HDD = TSD = RSD = 1.

Analogista sisäänmenoa ja ulostuloa kuormittavat resistanssit ja kondensaattorit. Sisäinen kohina (Idle Channel Noise) on -80 - -73 dBV, jos ei ole tulosignaalia. Signaalikohina syntyy, jos jännite on 1 $V_{rms}$ ja 1 kHz siniaalto (SNR) on 73–80 dB. Harmoninen kohina on edellä mainituilla arvoilla seuraava: Harmoninen kokonaissärö (Total Harmonic Distortion, *THD*) 0,030 – 0,1 %. Analoginen vahvistus voidaan ohjelmoida seuraavasti: RGain/TGain = 00 on 0 dB, RGain/TGain = 01 on 6 dB, RGain/TGain = 10 on 9,5 dB ja RGain/TGain = 11 on 12dB. Mikropiirin äänenohjaus asteisiin (TVol/RVol) on maksimissaan 3 dB.

Analogisen tasavirran sisäänmeno on 0,9–1,0 $V_{rms}$. Digitaalisen vaihtovirran ulostulo on 1,0–1,2 $V_{rms}$. Analoginen kohina on -83 dBV. Digitaalisen vaihtovirran kohina on -83 dBV.

Kuviossa 16 kuvataan seuraavaksi **mikrofonivahvistimen ominaisuudet**. Mittausolosuhteet ovat: 25 ºC huonelämpötila, DVDD = AVDD = 5 V ja kide 20,480MHz. Lähtöimpedanssi on 50 Ω ja mikrofonin vahvistus on 34dB Signaalikohinan suhde (SNRm) on 70 dB. Sisäänmenoimpedanssi ($Z_{inm}$) on 8 kΩ. Sisäänmenon Offset-jännite ($V_{offm}$) saa olla 2,12 V.

Seuraavaksi kuviossa on **digitaaliset ominaisuudet**. Mittausolosuhteet ovat: 25 ºC huonelämpötila, DVDD = AVDD = 5 V, kide 20,480MHz. Voimakas sisääntulojännite *($V_{IH}$) on DVDD–1 V*. Heikko sisääntulojännite *($V_{IL}$) on 1* V. Sisäänmenon virtavuoto ($I_{leak}$) on 10 uA. Sisäänmenokapasitanssi ($C_{IN}$) on 5 pF.

## ANALOG TRANSMISSION CHARACTERISTICS ($T_A$ = 25°C, DVDD = AVDD = 5 V, $f_{XTAL}$ = 20.480 MHz, RVol=TVol=RGain=TGain= 0 dB, HDD=TSD=RSD=1, analog inputs and outputs loaded with resistors and capacitors as shown in the typical connection diagram, Figure 4)

| Parameter | | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Idle Channel Noise | C-Message weighted (0-4 kHz) | | | -80 | -73 | dBV |
| (Inputs grounded | C-Message weighted (0-4 kHz) | | | 11 | | dBrnC0 |
| through a capacitor) | Psophometrically weighted (0-4 kHz) | | | -78 | | dBm0p |
| Signal-to-Noise Ratio (1.0 $V_{rms}$, 1 kHz sine wave input) | C-Message weighted (0-4 kHz) | SNR | 73 | 80 | | dB |
| Total Harmonic Distortion (1.0 $V_{rms}$, 1 kHz sine wave input) | C-Message weighted (0-4 kHz) | THD | | 0.030 | 0.1 | % |
| Programmable Analog Gain | RGain/TGain = 00 | | | 0 | | dB |
| | RGain/TGain = 01 | | | 6 | | |
| | RGain/TGain = 10 | | | 9.5 | | |
| | RGain/TGain = 11 | | | 12 | | |
| Volume Control Stepsize (TVol/RVol) | | | | 3 | | dB |
| ADC Full-scale Voltage Input | | | 0.9 | 1.0 | | $V_{rms}$ |
| DAC Full-scale Voltage Output | | | | 1.0 | 1.2 | $V_{rms}$ |
| ADC Noise Floor | C-Message weighted (0-4 kHz) | | | -83 | | dBV |
| DAC Noise Floor, DAC muted | C-Message weighted (0-4 kHz) | | | -83 | | dBV |

## MICROPHONE AMPLIFIER ($T_A$ = 25°C, DVDD = AVDD = 5 V, $f_{XTAL}$ = 20.480 MHz)

| Parameter | | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gain ($Z_{source}$ = 50Ω) | | $A_{mic}$ | | 34 | | dB |
| Signal-to-Noise Ratio | C-Message weighted (0-4 kHz) | SNRm | | 70 | | dB |
| Input Impedance | | $Z_{inm}$ | | 8 | | kΩ |
| Input Offset Voltage | | $V_{offm}$ | | 2.12 | | V |

## DIGITAL CHARACTERISTICS ($T_A$ = 25°C, DVDD = AVDD = 5 V,$f_{XTAL}$ = 20.480 MHz)

| Parameter | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|
| High-Level Input Voltage | $V_{IH}$ | DVDD-1.0 | | | V |
| Low-Level Input Voltage | $V_{IL}$ | | | 1.0 | V |
| Input Leakage Current | $I_{leak}$ | | | 10 | µA |
| Input Capacitance | $C_{IN}$ | | 5 | | pF |

Kuvio 16. Analogiset ja digitaaliset siirto-ominaisuudet

Kuviossa 17 on esitetty mikropiirin kytkentäominaisuudet. Digitaalisen sisäänmenon nousuaika ($t_{rise}$) on 1 us. Reset-signaalin täytyy olla vähintään 1 µs (RST), jotta se havaitaan. Kiteen kellotaajuus ($f_{CLKI}$) on 20,480 MHz. Kellopulssin jännitetason vaihtumisen kesto täytyy olla minimissään 19,5 ns.

Jos kellotaajuus on 20,480 MHz, pienin DRDY:n laskuaika ($t_{DRDY}$) on 125 µs. ($t_{HLSTROBE)}$ osoittaa välkkyvänä signaalina STROBE:n päälle kytkeytymisen ja poiskytkeytymisen välistä aikaa, joka on 55 ns. Jos STROBE on päälle kytkettynä, DRDY:n laskemiseen käytetty aika ($t_{sDATA}$) on 30 ns. STROBE:n päälle kytkeytymisen aika ($t_{hDATA}$) on 30 ns. siten, että STROBE säilyttää DATA:a. STROBE:n päälle kytkeytymisen aika ($t_{hDRDY}$) DRDY:ssa on 30 ns. Coldreset ($t_{cRST}$) on minimissään 110 ms, toisin sanoen neljä STROBE:n pulssijaksoa. Warmreset ($t_{wRST}$) on maksimissaan 100 ms., toisin sanoen STROBE:n neljä pulssijaksoa.

Kuvion 17 alaosassa on tuotu esille eri pulssijaksot ja -muodot. Figure 1 on kellotaajuuden ajoitus. Siitä näkee, millainen on kellotaajuusjakso. Kuviosta näkee myös HLCLI:n jakson pituuden, joka on puolet CLKI:n jaksosta. Figure 2 kuvaa ajoitusta, kun piiri resetoidaan. Ensimmäinen pulssi on RST, toinen STROBE, kolmas DATA, neljäs DRDY. Figure 2:sta näkee hyvin eri pulssien muodot ja tilat. Figure 3:ssa on mikrokontrollerin liitännän ajoitus. Kyseisessä kuviossa on signaalit DRDY, STROBE ja DATA.

## SWITCHING CHARACTERISTICS

| Parameter | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|---|---|---|---|---|---|
| Digital input rise time | $t_{rise}$ | | | 1.0 | µs |
| $\overline{RST}$ low time | $t_{RSTL}$ | 1.0 | | | µs |
| CLKI frequency | $f_{CLKI}$ | | 20.480 | | MHz |
| CLKI duty cycle | $t_{LCLKI}$ | 40 | 50 | 60 | % |
| CLKI high or low time | $t_{HLCLKI}$ | 19.5 | | | ns |
| Min $\overline{DRDY}$ falling to $\overline{DRDY}$ falling (CLKI = 20.480 MHz) | $t_{DRDY}$ | | 125 | | µs |
| STROBE high or low time | $t_{HLSTROBE}$ | 55 | | | ns |
| $\overline{DRDY}$ falling to STROBE rising setup time | $t_{sDRDY}$ | 30 | | | ns |
| DATA valid to STROBE rising setup time | $t_{sDATA}$ | 30 | | | ns |
| STROBE rising to DATA valid hold time | $t_{hDATA}$ | 30 | | | ns |
| STROBE rising to $\overline{DRDY}$ rising hold time | $t_{hDRDY}$ | 30 | | | ns |
| Min $\overline{RST}$ rising to 4th extra STROBE pulse (cold reset) | $t_{cRST}$ | | 110 | | ms |
| Max $\overline{RST}$ rising to 4th extra STROBE pulse (warm reset) | $t_{wRST}$ | | 100 | | ms |

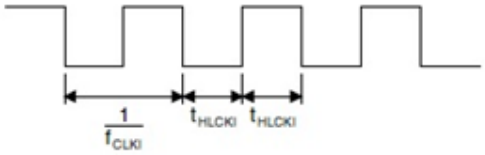



Figure 1. CLKI Timing

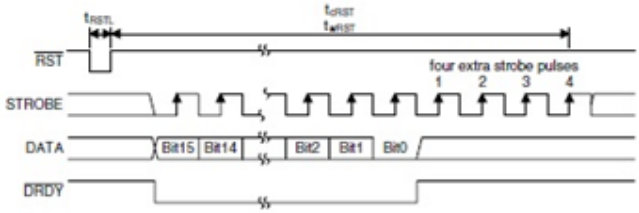



Figure 2. Reset Timing

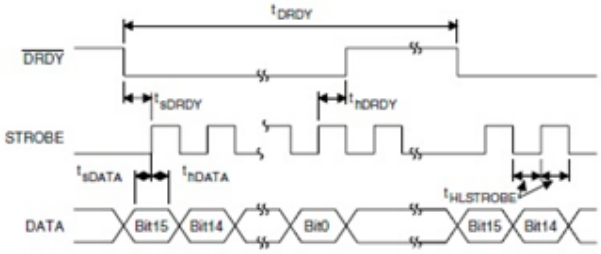



Figure 3. Microcontroller Interface Timing

Kuvio 17. Mikropiirin kytkentäominaisuudet ja ajoituskaaviot

Kuviossa 18 on nastajärjestys ja tietoa nastoista.
CS6422-mikropiirille on tehty 20-pinninen 20L SOIC -kotelo.

Pinni numero 3 (AO) on akustisen liitännän ulosmeno. Se on ulosmenon analoginen jännite akustisella laidalla. Maksimi ulostulo-signaali on 1,1 $V_{rms}$ (3,1 $V_{pp}$), ja se kestää 10 kΩ:n kuormaa. Ulosmeno on etukompensoitu, mikä muuttaa signaalia RC-alipäästösuodattimella. Alipäästösuodattimen kulmataajuus on 4 kHz.

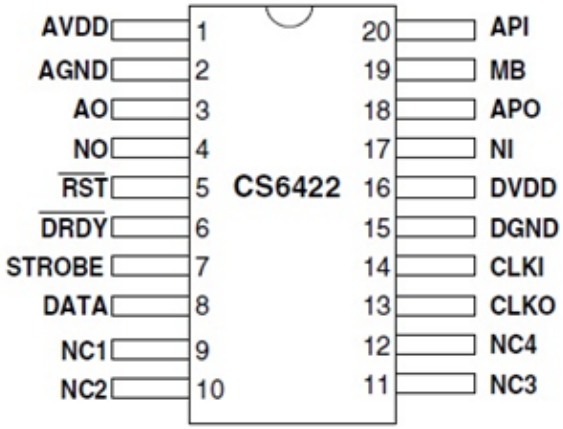
Pinni numero 4 on NO-verkkoliitännän ulosmeno. Se on analogisen jännitteen ulostulo verkkopuolella. Maksimi ulostulosignaali on 1,1 $V_{rms}$ (3,1 $V_{pp}$). Kyseinen ulostulo kestää 10 kΩ:n kuormaa. Ulosmeno on etukompensoitu, mikä muuttaa signaalia RC-alipäästösuodattimella. Suodattimen kulmataajuus on 4 kHz.

Pinni numero 20 on akustinen liitäntä etuvahvistimen sisääntulossa. Kyseinen pinni on mikrofonin etuvahvistimen sisääntulossa. Signaalin vahvistus on 34 dB. Maksimi sisääntulon signaalitaso on 20 $mV_{rms}$ (57 $mV_{pp}$) oletusasetuksilla.

Pinni numero 18 (APO) on akustisen liitännän etuvahvistimen ulostulo. Ulostulossa on RC-suodatin, jonka kulmataajuus on 8 kHz. Maksimi signaalitaso on 0,9 $V_{rms}$ (2,5$V_{pp}$) oletusasetuksilla.

Pinni numero 19 (Microphone bias, MB) on mikrofonin jännitteen ulostulo. Ulostulon 3,5 V:n tasavirta säätää sisäistä jännitettä mikropiirissä CS4622. MB pitäisi olla erotettu 10 µF ja 0,1 µF kondensaattorin avulla, mikä estää mikropiirin tuottamaa kohinaa. Mikrofonien jännitteen ulostuloon ei voi kytkeä kuormaa.

## 5. PIN DESCRIPTIONS




*Analog Interface*

**AO - Acoustic Interface Output, Pin 3**

Analog voltage output for the acoustic side (near-end output/receive output). Maximum output signal is 1.1 $V_{rms}$ (3.1 $V_{pp}$). This output can drive down to 10 kΩ and is usually followed by a speaker driver. The output is pre-compensated to expect a single-pole RC low pass filter with a corner frequency of 4 kHz.

**NO - Network Interface Output, Pin 4**

Analog voltage output for the network side (far-end output/transmit output). Maximum output signal is 1.1 $V_{rms}$ (3.1 $V_{pp}$). This output can drive down to 10 kΩ. The output is pre-compensated to expect a single-pole RC low pass filter with a corner frequency of 4 kHz.

**API - Acoustic Interface Preamplifier Input, Pin 20**

Input to the acoustic side microphone preamplifier. Signal source resistance at this pin will reduce the 34 dB gain inherent in the preamplifier. The maximum input signal level to avoid clipping is 20 $mV_{rms}$ (57 $mV_{pp}$), assuming default settings.

**APO - Acoustic Interface Preamplifier Output, Pin 18**

Output of the acoustic side microphone preamplifier and input to the acoustic side analog-to-digital converter (near-end input/transmit input). This input expects a single-pole RC anti-aliasing filter with a corner frequency of 8 kHz. Maximum signal level before clipping at this point is 0.9 $V_{rms}$ (2.5 $V_{pp}$), assuming default settings for TGain.

**MB - Microphone Bias Voltage Output, Pin 19**

Output of 3.5 VDC provides the internal voltage reference for the CS6422. MB must be decoupled with a 10 µF and 0.1 µF capacitor to prevent noise from affecting the on-chip voltage reference. MB must not be connected to any load.

Kuvio 18. Pinnien informaatio

Kuviossa 19. on tietoa nastoista. Pinnin numero 17 (NI) on verkkoliitännän sisäänmeno. Sisääntulon verkkolaidalla tarvitaan analogista digitaalimuuntaja. Sisääntulosignaali on yksinapainen ja siinä on RC-suodatin, jonka kulmataajuus on 8 kHz. Maksimi signaalitaso ennen huippujännitettä on 0,9 $V_{rms}$ (2,5 $V_{pp}$) standardisoiduilla oletusarvoilla (RGain).

Seuraavaksi kuviossa on mikrokontrolleriliitäntä. Pinni numero 5 (RST) on aktiivinen, jos pinniin numero 5 syöttää virtaa 0 volttia tai ei syötä virtaa ollenkaan. Jos RST on kytketty 0 volttiin, CS4622-piiri ottaa käyttöön alhaisen tehotilan ja on kun OFF tilassa. Jos RST:lle kytkee korkean jännitteen, CS4622 käynnistyy alkuasetuksesta.

Pinni numero 6 (DRDY) on aktiivinen 0-voltin jännitteellä. DRDY on mikrokontrollerin liitäntätieto sisääntulopinnistä. DRDY-portti käyttää matalapulssista tietoa.

Pinni numero 7 (STROBE) on mikrokontrollerin kellopulssiliitännän signaalin sisääntulo. DRDY ollessa matalalla tasolla STROBE ymmärtää, milloin tieto mikrokontrollerissa liikkuu datareittiä pitkin.

Pinni numero 8 (DATA) tarkoittaa mikrokontrollerin tietoa sisääntulosta.
Bittijonon avulla on mahdollista tallentaa mikropiirille alkuasetuksen arvoja.

Seuraavaksi kuviossa 19 esitetään kellotaajuustiedot. Pinnit numerot 13 (CLKO) ja 14 (CLKI) ovat kello-oskillaattorin sisääntulo. 20,480 MHz:n kide tulee yhdistää CLKI:n ja CLKO:n väliin. Vaihtoehtoisesti CLKI voi olla kytketty suoraan CMOS:n 20,480 MHz:n kellotaajuuteen. CLKO on jätettävä irralleen, jos CLKI on kytketty suoraan CMOS kellotaajuuteen.

Kuviossa 19 kuvataan seuraavaksi virtalähdepinnit. Pinni numero 1 (AVDD) on analoginen positiivinen jännite. Pinnin numero 1 pitäisi kytkeä +5V DC:n tasajännitettä, joka on tarkoitettu mikropiirin analogisele puolelle. Pinni numero 2 (AGND) on analoginen 0, joka on tarkoitettu mikropiirin analogiselle puolelle.

Pinni numero 16 (DVDD) on digitaalinen positiivinen jännite. Pinniin numero 16 pitäisi kytkeä +5V DC:n tasajännite, joka on tarkoitettu mikropiirin digitaaliselle puolelle. Pinni numero 15 (DGND) on digitaalinen 0, joka on tarkoitettu mikropiirin digitaaliselle puolelle.

**NI - Network Interface Input, Pin 17**

Input to the network side analog-to-digital converter (far-end input/receive input). This input expects a single-pole RC anti-aliasing filter with a corner frequency of 8 kHz. Maximum signal level before clipping at this point is 0.9 $V_{rms}$ (2.5 $V_{pp}$), assuming default settings for RGain.

*Microcontroller Interface*

**$\overline{\text{RST}}$ - Active Low Reset Input, Pin 5**

When $\overline{\text{RST}}$ is held low, the CS6422 is put into a low power mode with all functional blocks idle. When $\overline{\text{RST}}$ goes high, the CS6422 is started in a known state.

**$\overline{\text{DRDY}}$ - Active Low Microcontroller Interface Data Ready Input, Pin 6**

$\overline{\text{DRDY}}$ is a low pulse used to gate valid input data into the Microcontroller Interface.

**STROBE - Microcontroller Interface Clock Input, Pin 7**

The rising edge of STROBE latches DATA into the Microcontroller Interface while $\overline{\text{DRDY}}$ is low.

**DATA - Microcontroller Interface Data Input, Pin 8**

DATA is latched into the Microcontroller Interface on the rising edge of STROBE.

*Clock*

**CLKI - Clock Oscillator Input, Pin 14**

A 20.480 MHz parallel-resonant crystal should be connected between CLKI and CLKO. Alternatively, CLKI may be driven directly with an 20.480 MHz CMOS level clock.

**CLKO - Clock Oscillator Output, Pin 13**

A 20.480 MHz parallel-resonant crystal should be connected between CLKI and CLKO. CLKO must be left floating if CLKI is driven directly with a CMOS level clock.

*Power Supply*

**AVDD - Analog Supply, Pin 1**

+5 Volt analog power supply.

**AGND - Analog Ground, Pin 2**

Analog ground reference.

**DVDD - Digital Supply, Pin 16**

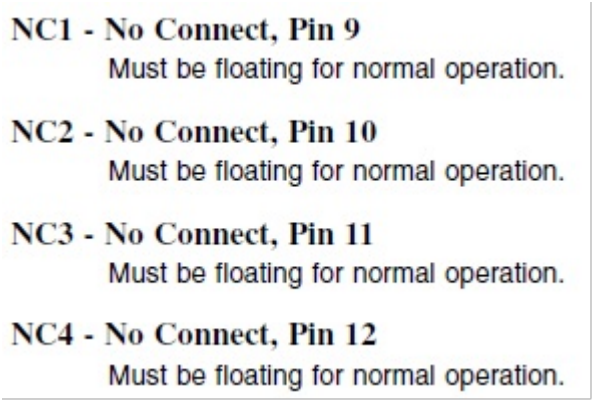
+5 Volt digital power supply.

**DGND - Digital Ground, Pin 15**

Digital ground reference.

Kuvio 19. Tietoa pinneistä

Kuvion 20 pinnejä ei ole kytketty normaalitoiminnassa.




Kuvio 20. Ei-kytketyt pinnit

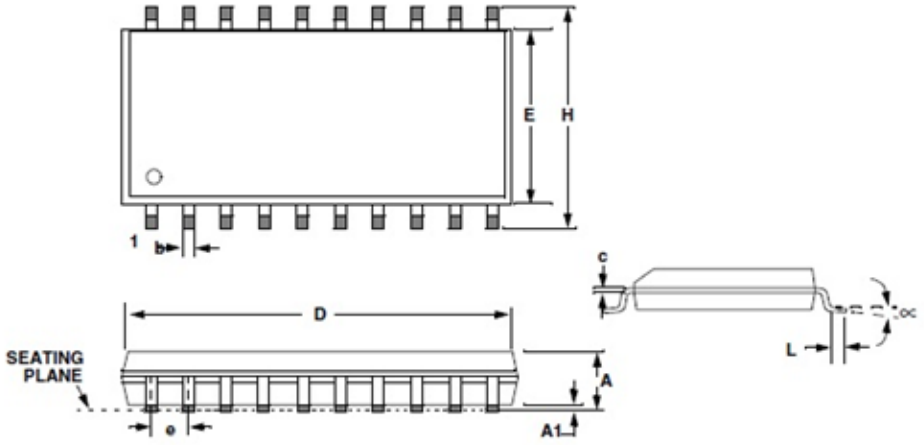
Kuviossa 21 on 20L SOIC (300 MIL BODY) pakkausmitat, jotka ovat erittäin tärkeitä, mikäli haluaa rakentaa mikropiirin avulla jotain. Ensin pitäisi ottaa huomioon mitat b (0,43 mm) ja L (0,64 mm), jotka kuvaavat pinnien juottamisen pinta-alaa.

Kotelon tiedot on siirretty KiCad-ohjelmalla. Ohjelmassa pitäisi ensin määritellä ensin pinnien koot. Seuraavaksi pitäisi määritellä mitta e (1,27 mm), joka on kahden pinnin välinen etäisyys. Mikropiirin pinnien välinen etäisyys on niin pieni, että kahden pinnin väliin ei ole mahdollista vetää kuparifoliota Protomat S62 -jyrsintäkoneella. Seuraavaksi määritellään kotelon pystysuora mitta H (10,34 mm).

Lisäksi KiCad-ohjelmalla on mahdollista piirtää kotelon koot. On myös tärkeää, että komponentit eivät tule liian lähelle toisiaan tai päällekkäin. Mikropiirin vaaka-suora mitta on D = 12,80 mm ja pystysuora mitta on E = 7,50 mm.

## 7. PACKAGE DIMENSIONS

### 20L SOIC (300 MIL BODY) PACKAGE DRAWING




| | INCHES | | | MILLIMETERS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| DIM | MIN | NOM | MAX | MIN | NOM | MAX |
| A | 0.093 | 0.098 | 0.104 | 2.35 | 2.50 | 2.65 |
| A1 | 0.004 | 0.008 | 0.012 | 0.10 | 0.20 | 0.30 |
| b | 0.013 | 0.017 | 0.020 | 0.33 | 0.43 | 0.51 |
| C | 0.009 | 0.011 | 0.013 | 0.23 | 0.28 | 0.32 |
| D | 0.496 | 0.504 | 0.512 | 12.60 | 12.80 | 13.00 |
| E | 0.291 | 0.295 | 0.299 | 7.40 | 7.50 | 7.60 |
| e | 0.040 | 0.050 | 0.060 | 1.02 | 1.27 | 1.52 |
| H | 0.394 | 0.407 | 0.419 | 10.00 | 10.34 | 10.65 |
| L | 0.016 | 0.025 | 0.050 | 0.40 | 0.64 | 1.27 |
| ∝ | 0° | 4° | 8° | 0° | 4° | 8° |

Kuvio 21. Kotelomitat

## 6.4 Piirikaavio

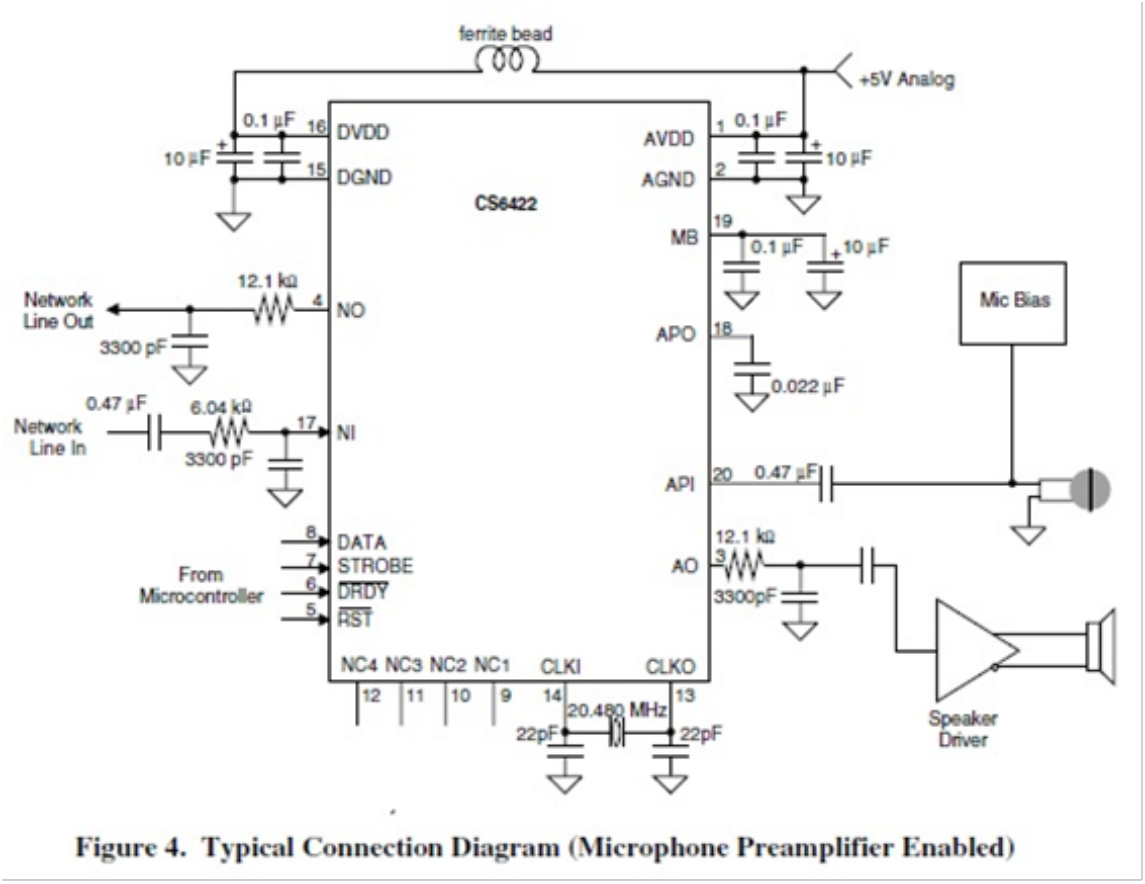



**Figure 4. Typical Connection Diagram (Microphone Preamplifier Enabled)**

Kuvio 22. Piirikaavio

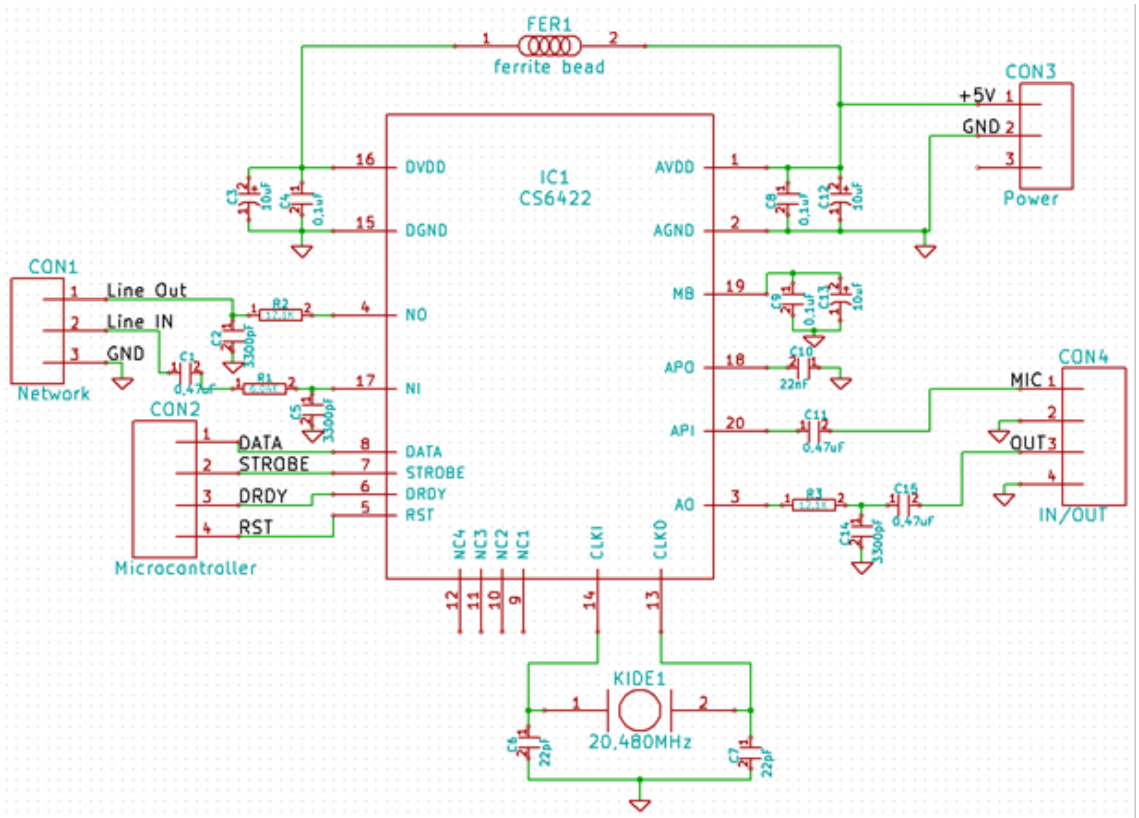
Kuviossa 22 on tyypillinen kytkentäkaavio mikrofonin etuvahvistimen ollessa päällä. Kuvion keskellä on mikropiiri CS6422. Mikropiirin reunan sisäpuolella on pinnien nimet ja ulkopuolella pinnien numerot. Kuvion yläreunassa on neljä käyttöjännitepinniä. Käyttöjännite tarvitse kaksi 10µF ja kaksi 0,1µF kondensaattoria. Pinni numero 19 (MB) tarvitsee kahta kondensaattoria: 0,1µF ja 10µF. Pinni numero 18 (APO) tarvitsee 22nF kondensaattoria. Pinni numero 20 (API) on mikrofonin sisääntuloliitintä. Pinniin numero 20 pitäisi kytkeä sarjana 0,47µF kondensaattori. Pinni numero 3 (AO) on kaiuttimen ulostulo. Sarjaan tulisi kytkeä 12,1 kΩ vastus. Kaiuttimen ulostuloon pinni tarvitsee myös 3300 pF:n kondensaattoria maahan kytkettynä.

Pinnien 13 ja 14 väliin tulee kytkeä kide, toisin sanoen kellotaajuuskomponentti. Kyseiset pinnit tarvitsevat lisäksi maahan kytkettyjä 22 pF:n kondensaattoreja.

Pinnit 9, 10, 11 ja 12 ei ole kytketty vaan ne ovat irrallaan. Pinnit 5, 6, 7 ja 8 ovat mikrokontrollerin ohjauspinnejä. Pinni numero 17 (NI) on verkkolinjan sisääntulo. Pinniin 17 pitäisi kytkeä sarja 6,04 kΩ:n vastus ja 0,47 µF:n kondensaattori. Pinnistä 17 tarvitsee lisäksi 3300 pF:n kondensaattorin, joka on kytketty maahan. Pinni numero 4 (NO) on verkkolinjan ulostulo. Sarjaan pitäisi kytkeä 12,1 kΩ:n vastus ja maahan 3300 pF:n kondensaattori.

## 6.5 Piirilevyn valmistaminen

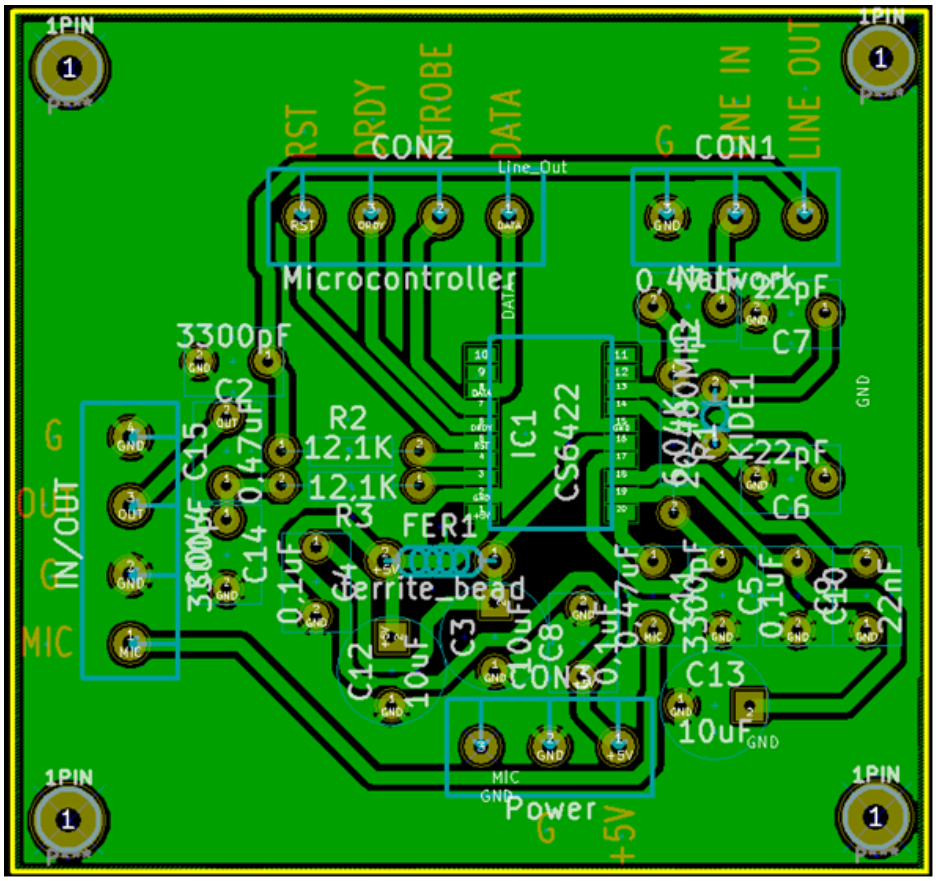
Aluksi piirrettiin kytkentäkaavio KiCad-ohjelmalla (kuvio 23). Kaikki liittimet (CON) suunniteltiin pikaliittimillä. Prototyypissä kannattaa käyttää helposti kytkeytyviä liittimiä.




Kuvio 23. KiCad-ohjelman kytkentäkaavio

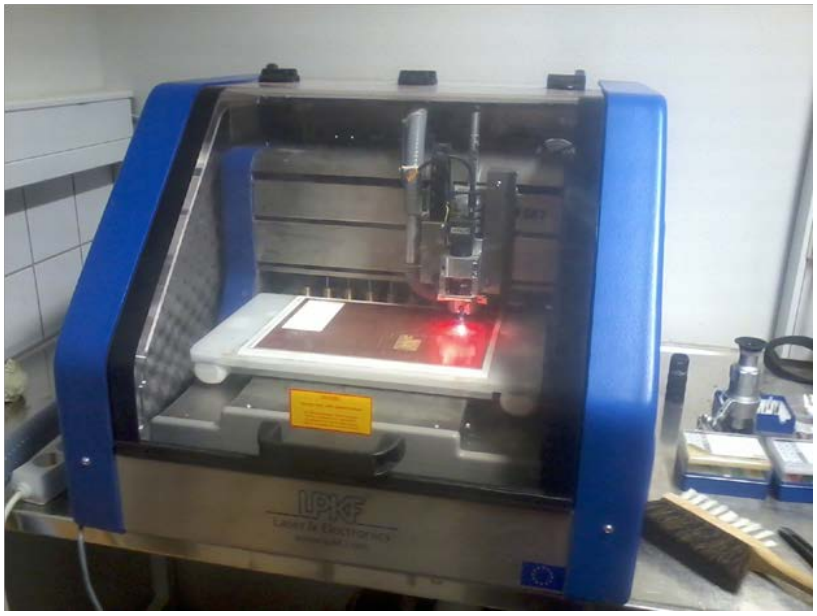
Ensimmäisellä jyrsimiskerralla ei onnistunut kolmen komponentin asettaminen. Mikropiiri CS6422 tuli peilikuvana väärälle piirilevyn puolelle. FER1-komponentille suunniteltiin liian pienet pinnien halkaisijat. Komponentti KIDE1:n pinnien väli jäi liian pieneksi. Muitten komponenttien jyrsimisen yhteydessä ei ollut ongelmia.

Seuraavaksi suunnittelin kytkentäkaaviosta kuparilevypiirroksen (kuvio 24). On tärkeä asettaa komponentit näin, jotta olisi mahdollisemman helppo vetää linjoja. Tässä työssä pitäisi ottaa huomioon se, että komponentteja ei saa laittaa liian lähelle toisiaan. Ensimmäinen prototyyppi epäonnistui, koska CS6422 piiri ei sopinut paikalleen. Ongelma johtui siitä, että käytössä oli yksipuolinen piirilevy, ja CS6422-piiri oli pakko juottaa juotospuolella, ei komponenttipuolella. Vika poistui, kun mikropiiri piirrettiin peilikuvana. Toinen prototyyppi onnistui hyvin.

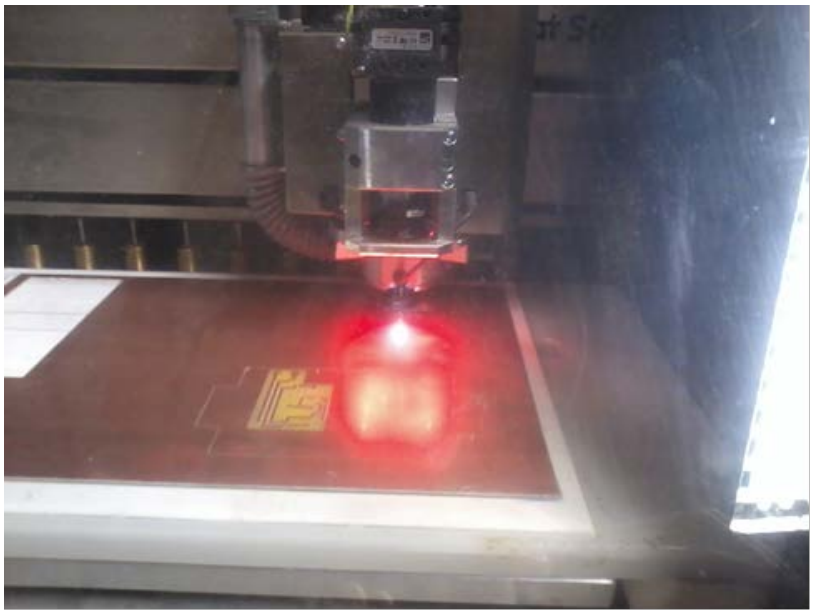



Kuvio 24. Piirilevyn suunnittelu Kicad-ohjelmalla

Piirilevy suunniteltiin ensin tietokoneella. Kuviossa 25 on jyrsintäkone (LPFK ProtoMat S62), jonka avulla jyrsittiin piirilevyt. Kuviossa 26 kuvataan jyrsimisen prosessi.



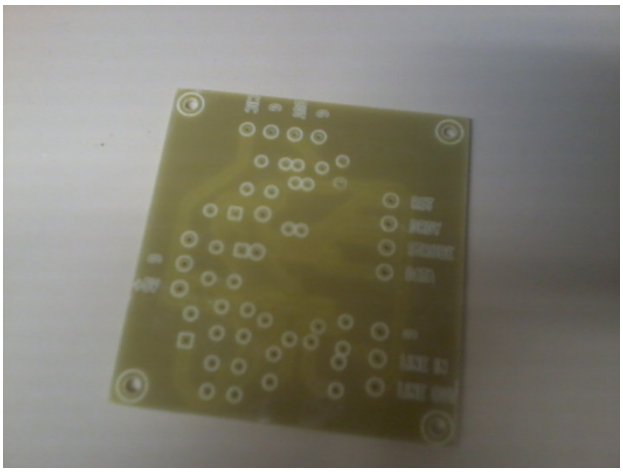
Kuvio 25. Jyrsintäkone LPFK ProtoMat S62



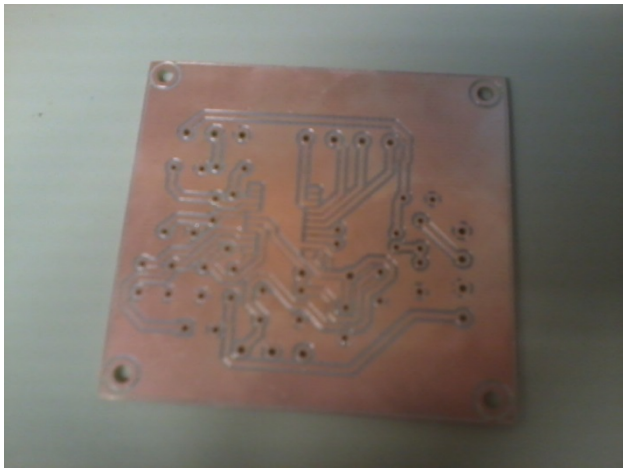
Kuvio 26. Jyrsintäkone toiminnassa

Kuvioissa 27 ja 28 on valmis jyrsitty piirilevy. Piirilevyn koko on 70 mm x 70 mm. Kuviossa 27 on piirilevyn yläpuoli (*Top Layer*), johon kiinnitetään komponentit. Piirilevyn yläpuolelle on kirjoitettu tekstejä, jotka helpottavat kytkentöjen löytymistä. Kulmiin suunniteltiin 3 mm:n reiät, joiden avulla olisi mahdollista kiinnittää piirilevy koteloon. Kuviossa 28 on juotospuoli (*Bottom Layer*).

Piirilevyä testattiin yleismittarilla, jotta ei aiheutuisi oikosulkuja.

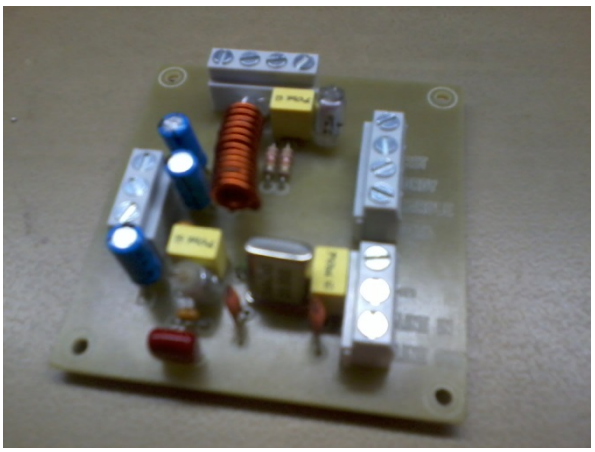


Kuvio 27. Piirilevyn yläpuoli (*Top layer)*

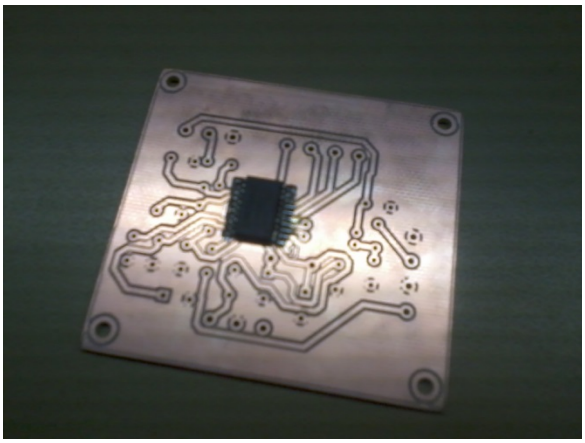


Kuvio 28. Piirilevyn alapuoli (*Bottomlayer*)

Kuvioissa 20 ja 30 näkyy piirilevykomponentit asennettuna ja juotettuna Kuviosta 29 näkee komponentit. Samassa kuviossa piirilevy on suhteellisen tiivis. Kuviossa 30 on juotospuoli sekä mikropiirin CS6422-komponentti. Kyseinen mikropiiri on pintaliitoskomponentti. Käytössä oli yksipuolinen FR4-piirilevy. Piirilevyn toiselle puolelle ei olisi onnistunut juottaa mikropiiriä. Olisi ollut mahdollista käyttää kaksipuolista piirilevyä, mutta silloin olisi tarvittu noin 20 läpivientiä. Läpivientiä on hankala juottaa, ja juottamisen yhteydessä voi tapahtua helposti oikosulkuja.



Kuvio 29. Komponentit asennettuna

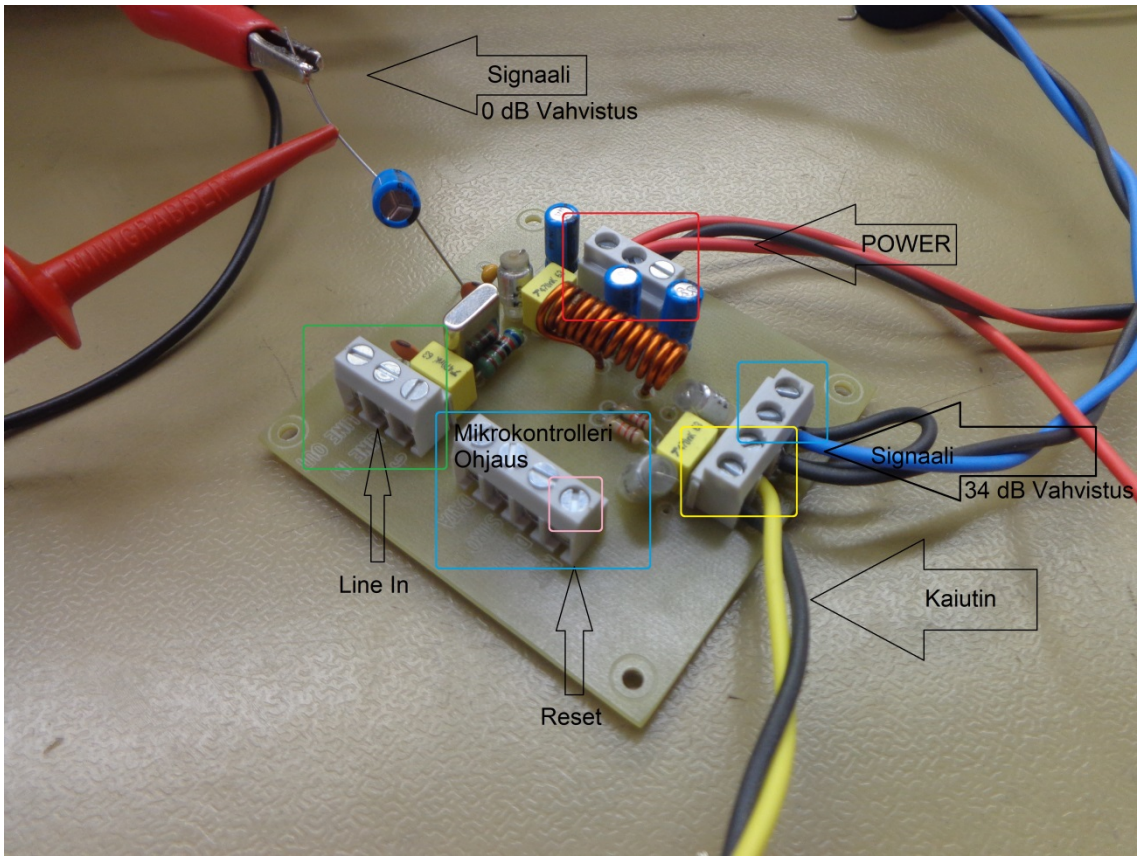


Kuvio 30. Mikropiiri asennettuna

## 6.6 Ensimmäisen prototyypin testaaminen

Kuviossa 31 on laitteen testikytkentä. Käyttöjännitteeseen on kytketty 5 V:n tasajännite. Ensimmäisessä testissä lähetettiin signaali 34 dB:n vahvistimen kautta.

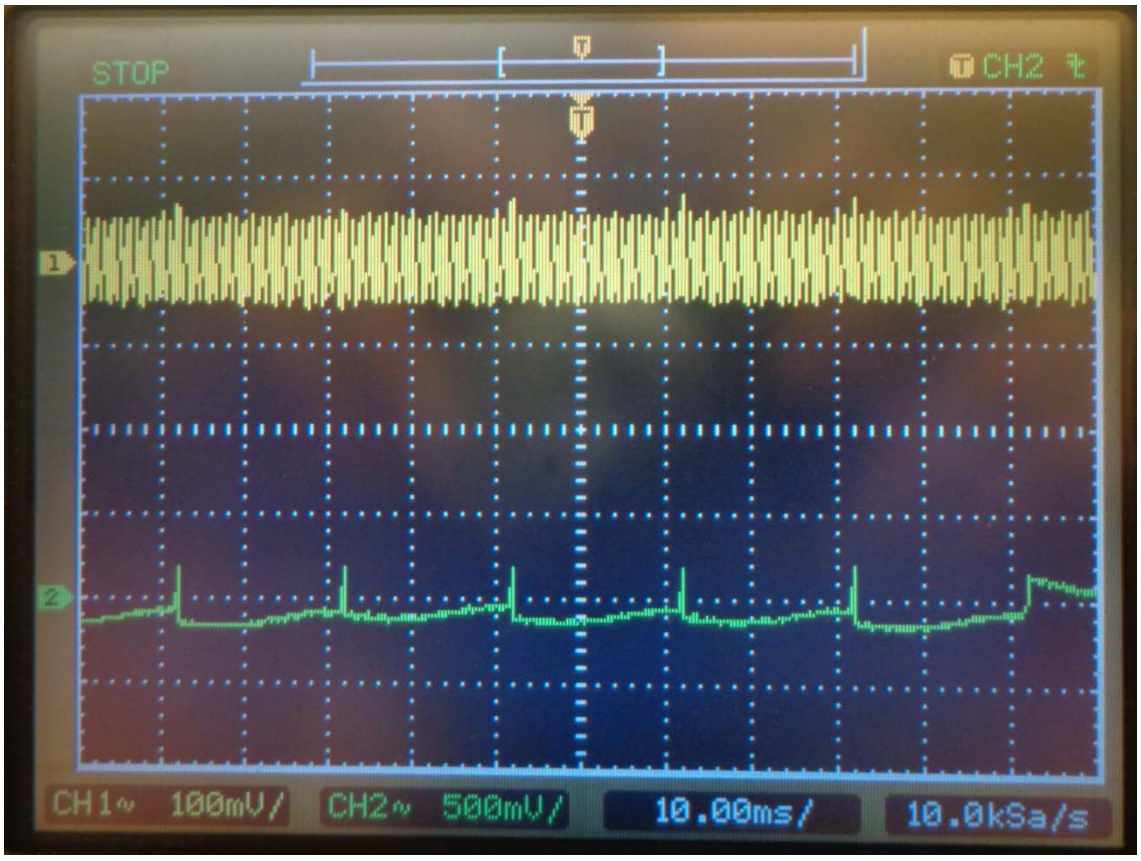
Toisessa testissä lähetettiin signaalikondensaattorin kautta, jossa on 0 dB:n vahvistus. Oli otettava huomioon se, että signaaligeneraattori antaa vähintään 50 mV:n jännitteen. Se on paljon vahvempi signaali kuin mikrofoneista tuleva signaali. Jos 50 mV:sta signaalia vahvistetaan 34 dB, ulostulevasta signaalista tulee liian suuri. Tällöin signaalin huiput leikkaantuvat.




Kuvio 31. Testikytkentä

Ensimmäinen testi (kuvio 22) ei täysin onnistunut. Datalehdestä havaitaan, että laite toimii siten, että alussa syötetään jännite ja sitten kytketään käyttöjännite myös RESET-pinniin. Silloin se käynnistää mikropiirin toiminnan. Kyseisessä mikropiirissä on Mikrokontrolleri-ohjaus, jonka avulla on mahdollista muuttaa mikropiirin ominaisuuksia. Ohjaustiedot lähetetään sarjamuodossa, jos halutaan muuttaa alkuasetuksia. Jos pinnejä ei käytetä, mikropiiri saa datalehdessä merkityt alkuasetukset. Mikrofonin tilalle asennettiin signaaligeneraattori. Oskilloskoopissa on kaksi mittakanavaa. Ensimmäisellä kanavalla mitataan signaaligeneraattorin signaalia ja toisella mikropiiristä ulostulevaa signaalia. Signaalista tuli näkyviin siniaalto, jonka taajuus oli 1 KHz. Testituloksena oli vain kohinaa, ei

kunnon siniaaltosignaalia. Testin aikana kävi ilmi, että sisäänmenopinnejä on kaksi. Kuviossa 22 pinni 20 on sisäänmeno, ja kuviossa 18 on 34 dB:n vahvistin. Käytössä olleessa signaaligeneraattorissa oli minimisignaali 50 mV. Silloin kun signaali oli 50 mV ja vahvistus 34 dB, signaalista tuli liian vahva eikä se toiminut kunnolla. 34 dB:n vahvistus on tarkoitettumikrofonin sisäänmenoon. Mikrofoneista syntyy yleisesti 1–5 mV:n jännite. Jännite on niin pieni, että se tarvitsee vahvistinta. Kuviossa 32 on oskilloskoopin mittatulos. Keltainen signaali on signaaligeneraattorista otettu signaali, joka on 100 mV ja 1 kHz. Vihreänä näkyy ulostuleva signaali. Sen pitäisi olla siniaaltomuotoinen. Ulostulevan signaalin muoto on erilainen.




Kuvio 32. Ensimmäinen testitulos

Mikrofonin sisäänmenopinnejä olikin kaksi. Kuviossa 14 pinninumero 18 on toinen sisäänmenopinni, jossa ei ole etuvahvistinta. Kyseinen pinni oli juuri sopiva, silloin kun kytketään noin 100 mV:n signaali signaaligeneraattorista. Uuden, saman tyyppisen testauksen jälkeen ulostulosignaali oli edelleen pelkkää kohinaa.

Tässä vaiheessa löytyi vielä lisätietoa kaiunpoistomikropiiristä: materiaalia, jossa oli tehty samasta piiristä auton hands-free-järjestelmä. Kuviossa 33 on selkeä piirikaavio, jossa ihmisäänen sisäänmeno oli ”Network Line Input” (vertaa kuvioon 16, pinni numero 17). Kuviossa 33 on kytketty myös mikrofoni kaiun havaitsemiseen.

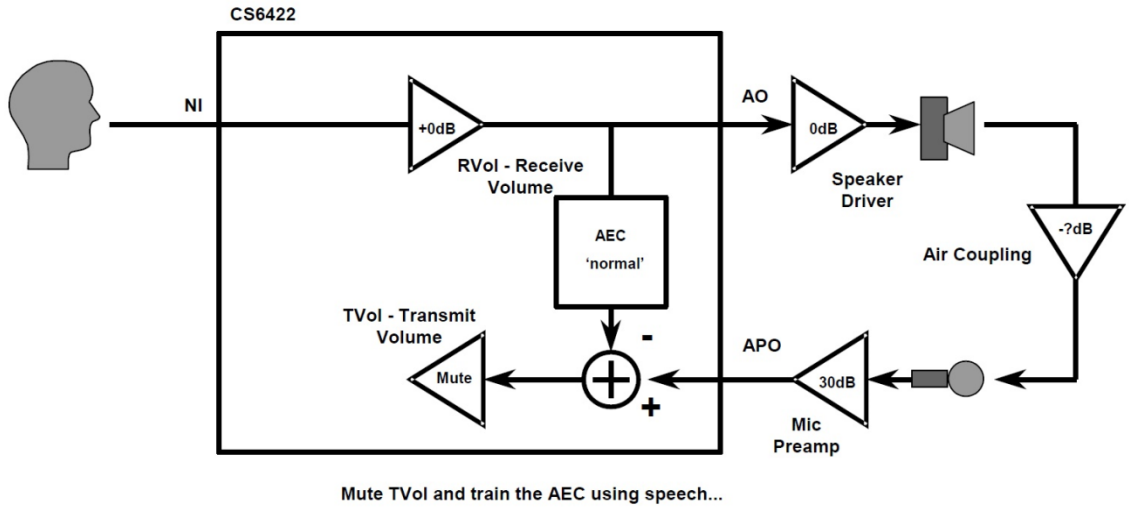


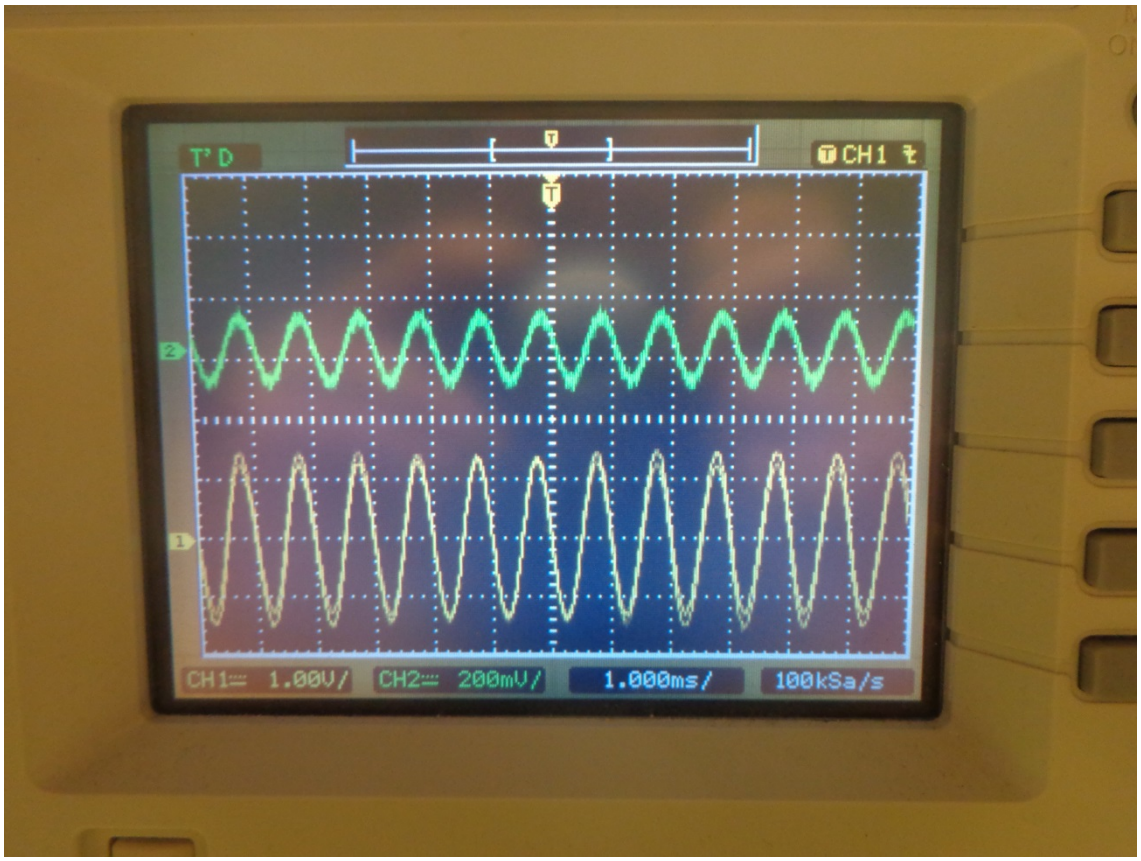

Figure 15. Acoustic ERLE Measurement -- Train the AEC

Kuvio 33. Network Line Input -kytkentäkaavio

Testi tehtiin kaavion 33 mukaisesti. Aluksi syötettiin 100 mV:n ja 1 kHz:n signaali NI (Network Line Input) -pinniin. Mikrofoni jätettiin pois, koska sitä ei saatu toimimaan. Seuraavaksi testattiin hiilimikrofonia, kondensaattorimikrofonin elementtiä ja mikrofonia, jossa on kuulokkeet. Oskilloskoopin avulla ei onnistuttu saamaan mikrofoneista signaalia. Kaiutin-symbolin paikalle kytkettiin kuvion 33 mukaisesti suoraan kaiutin. Testituloksena saatiin heikkoa, mutta selkeää ja puhdasta ääntä kaiuttimista. Ulostulosignaali oli heikko, jonka vuoksi asennettiin itse rakennettu operaatiovahvistin. Operaatiovahvistin oli suunniteltu siten, että kuulokkeista voi seurata ulostulevaa signaalia. Testissä kuulokkeista kuului signaaligeneraattorin ääni, mutta myös heikkoa 50 Hz:n verkkokohinaa. Verkkokohina syntyi operaatiovahvistimesta maadoitusongelmien takia. Kun taajuutta säädettiin, äänentaajuus muuttui samalla. Noin 4 kHz:n kohdalla oli korkeataajuusäänisuodatin. Tätä korkeampia taajuuksia piiri ei päästänyt läpi. Sama toistui matalalla taajuudella, jossa äänen suodattamisen alaraja oli 240 Hz. Lisäksi tehtiin testi kaupallisella musiikkivahvistimella, johon kytkettiin kunnollinen

kaiutin. Testit onnistuivat hyvin: signaalista tuli selkeä, eikä verkon kohinaa (50 Hz)kuulunut.

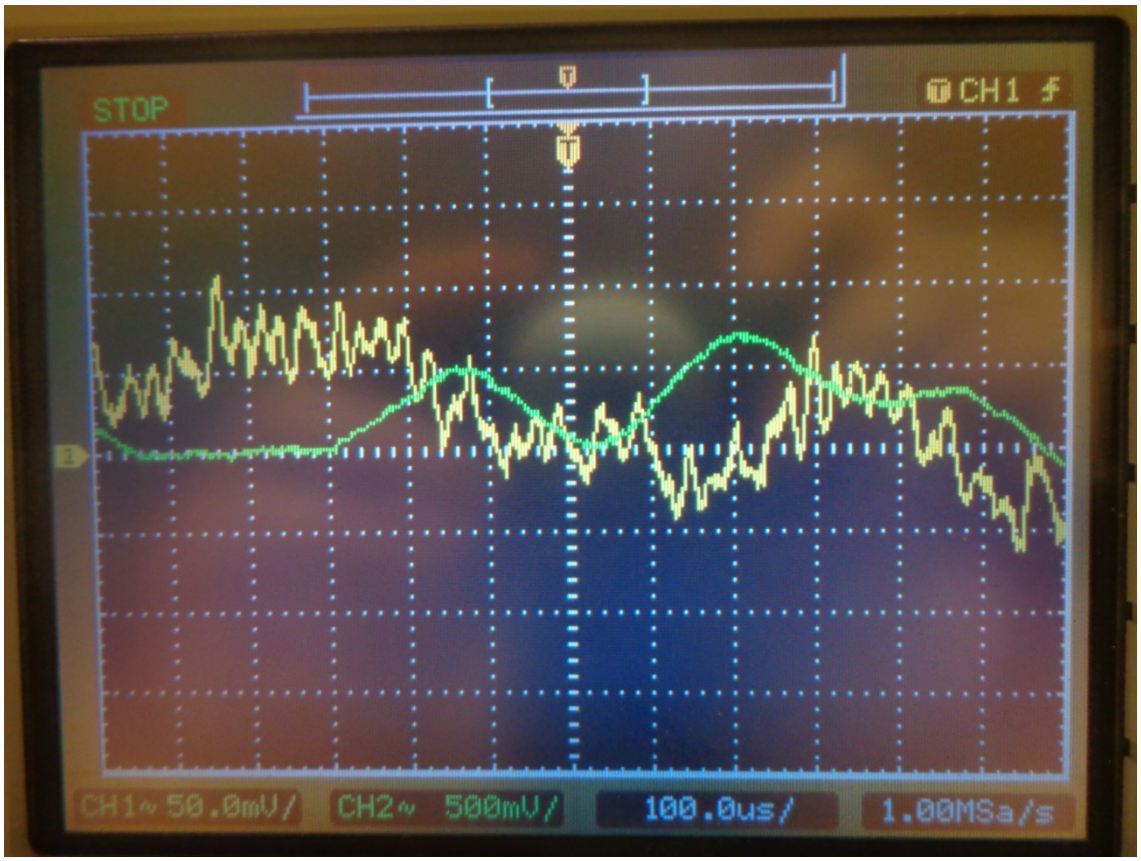
Kuviossa 34 on oskilloskoopilla suoritettu testitulos. Vihreällä värillä on merkitty signaaligeneraattorin signaali, joka on testihetkellä noin 250 mV. Keltaisella on merkitty mikropiiristä ulostuleva signaali. Se on noin 3 V. Kyseinen mikropiiri vahvistaa sisään menevää signaalia. Onnistuneita testituloksia olivat seuraavat: signaali oli siniaallon muotoinen ja signaalihuiput olivat ehjiä, eivätkä toisin sanoen olleet leikkaantuneita.




Kuvio 34. Network Line Input -testi

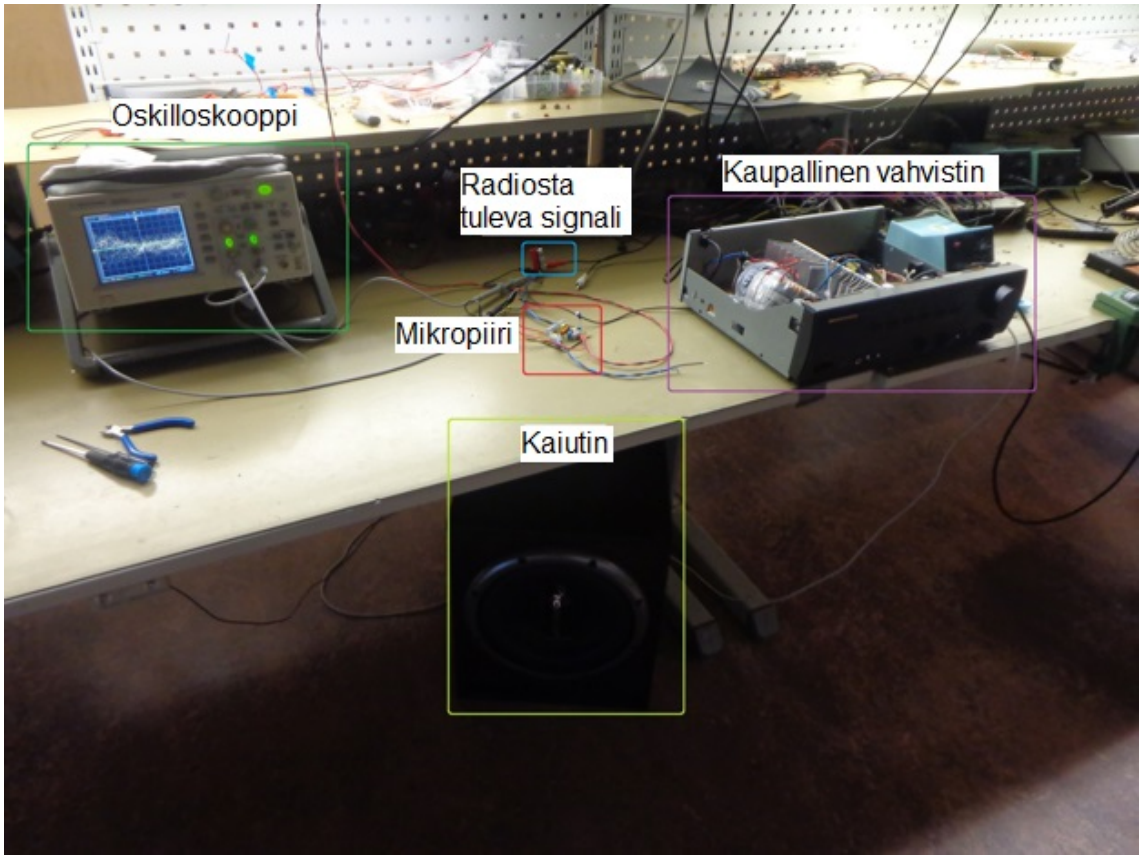
Lisäksi tehtiin testi musiikkisignaalilla, jossa haluttiin testata kuinka hyvä on radiosta ulostuleva signaali. Radiosta saatiin kuulumaan musiikkia, vaikkakin ääni katkoi välillä. Äänen häiriöille on kaksi vaihtoehtoista syytä. Ensimmäinen selitys on, että sisään tuleva signaali oli liian vahva. Toinen selitys on se, että mikropiirin toimii 240 Hz–4 kHz taajuusalueella, kun taas radiosta tulevan musiikin

signaali on noin 20 Hz–20kHz. Kuviossa 35 on oskilloskoopilla mitattu tulos musiikin signaalista. Keltaisella värillä on merkitty sisään menevän musiikin signaali. Vihreällä värillä on merkitty ulostuleva signaali.




Kuvio 35. Musiikin signaalista tehty testi

Kuviossa 36 näkyvät testiolosuhteet. Testin tavoitteena oli saada radiosignaali kuulumaan mikropiirin kautta kaiuttimesta. Testissä kytkettiin oskilloskoopin sisään menevään signaaliin sekä ulostulevaan signaaliin, jotta nähtäisiin syötettävän ja ulostulevan signaalin muoto. Radiosignaali tulee suoraan radiosta halkaisijaltaan 6.35 mm kuulokkeiden liittimen kautta. Siten se tulee johtimen kautta RCA-liittimessä. RCA-liittimestä on juotettu johto mikropiirillä sekä oskilloskoopille. Mikropiiri vahvistaa ensin signaalia. Tämän jälkeen signaali kulkee päätevahvistimen kautta. Päätevahvistimeen on kytketty tehokas kaiutin, josta syntyy radion ääni. Kyseinen testi onnistui: radiosignaali saatiin kaiuttimesta ulos. Ongelmana oli se, että signaali josta kuuluu radion ääni oli välillä katkonaista.

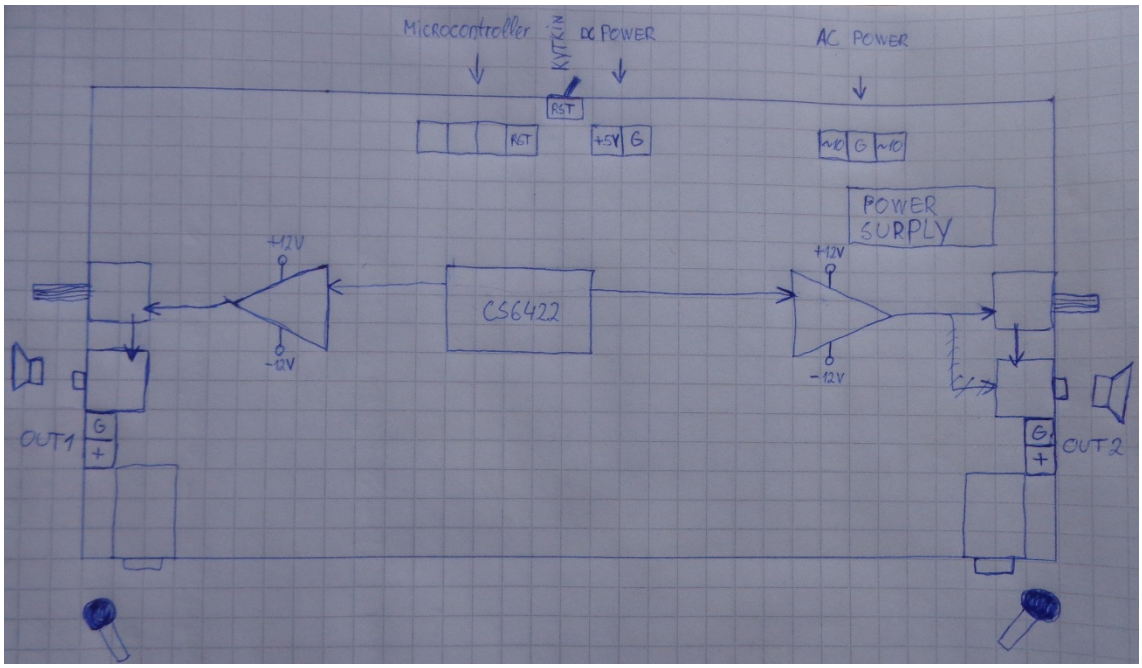



Kuvio 36. Radiosignaalin testaamisessa käytettyjä välineitä

## 6.7 Toisen prototyypin testaaminen

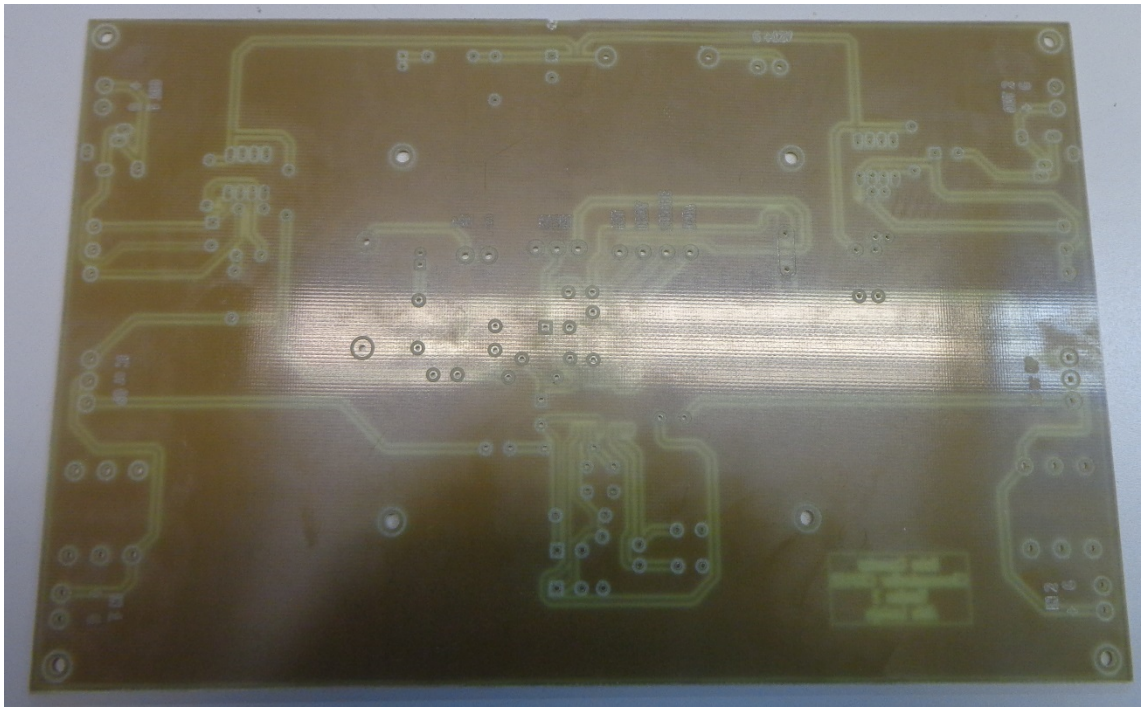
Kaiunpoiston mikropiiriä tutkittiin edelleen, jonka jälkeen päädyttiin seuraavaan ratkaisuun: Suunniteltaisiin uusi piirilevy, jossa mikropiiristä tulevat signaalit menisivät suoraan operaatiovahvistimiin. Ratkaisu helpotti mittaamista ja testaamista, koska johdottamista on vähemmän. Kuviossa 37 on kytkentäkaavio, jonka mukaisesti tehtiin toinen prototyyppilevy. Kuvan keskellä on mikropiiri CS6422. Mikropiiristä kaksi ulostulevaa signaalia on kytketty suoraan molempiin operaatiovahvistimiin. Operaatiovahvistimien tehtävänä on vahvistaa ulostulevaa signaalia, toisin sanoen ulostulevaan signaaliin voi kytkeä kuulokkeet tai pienen kaiuttimen. Kuviossa ennen kuulokkeita tai kaiutinta näkyy potentiometri, jolla voi säätää äänen voimakkuutta. Signaali kulkee mikropiiriin 6.35 mm:n liittimen kautta. Tarkoitus oli käyttää tavallisia karaokemikrofoneja. Lisäksi mikropiirille suunniteltiin ohjelmistopinnit, joitten avulla voi muuttaa mikropiirin alkuasetuksia.

Kuviossa on esitetty myös käyttöjännitteet. Mikropiiri CS6422 käyttää +5V DC- ja operaatiovahvistimet käyttävät +9 – +15V DC-jännitettä.

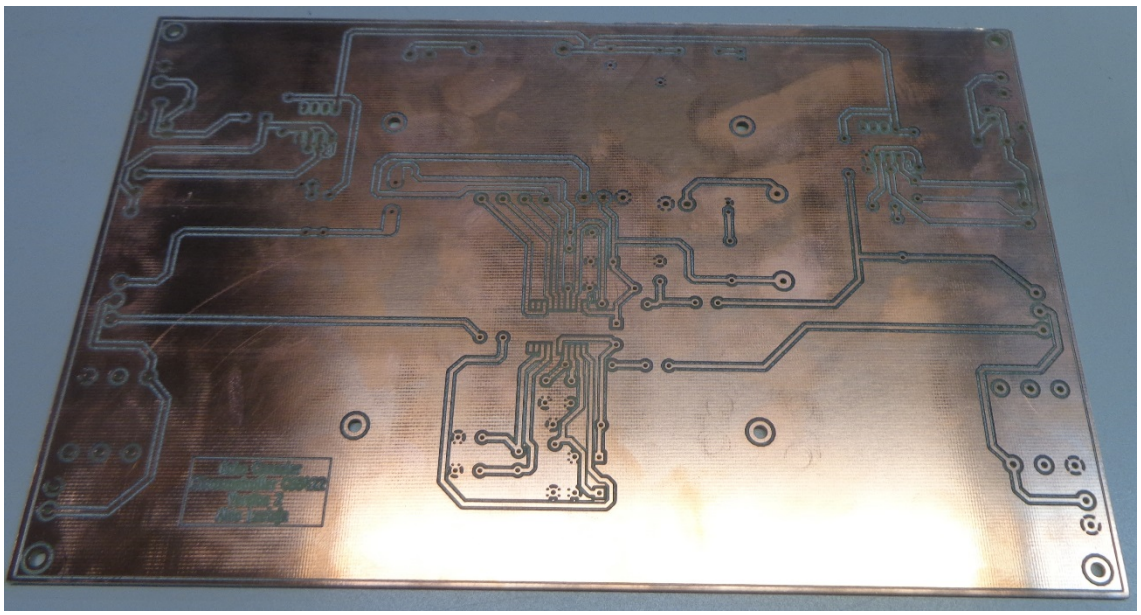



Kuvio 37. Luonnos kytkentäkaaviosta

Kuvioissa 38 ja 39 on jyrsitty toinen protolevy, joka on kooltaan 216 mm x 138 mm. Levystä voi huomata, että siinä on käytetty enemmän tilaa kuin ensimmäisessä prototyypissä. Mikropiiri sijaitsee levyn alapuolella (Bottom Layer) keskellä. Kuviossa vasemmalla puolella levyä on ensimmäisen kanavan sisäänmeno- ja ulostuloliittimet. Vasemmalla näkyy myös operaatiovahvistin, joka vahvistaa ulostulevaa signaalia. Oikea puoli on identtinen vasemman puolen kanssa.



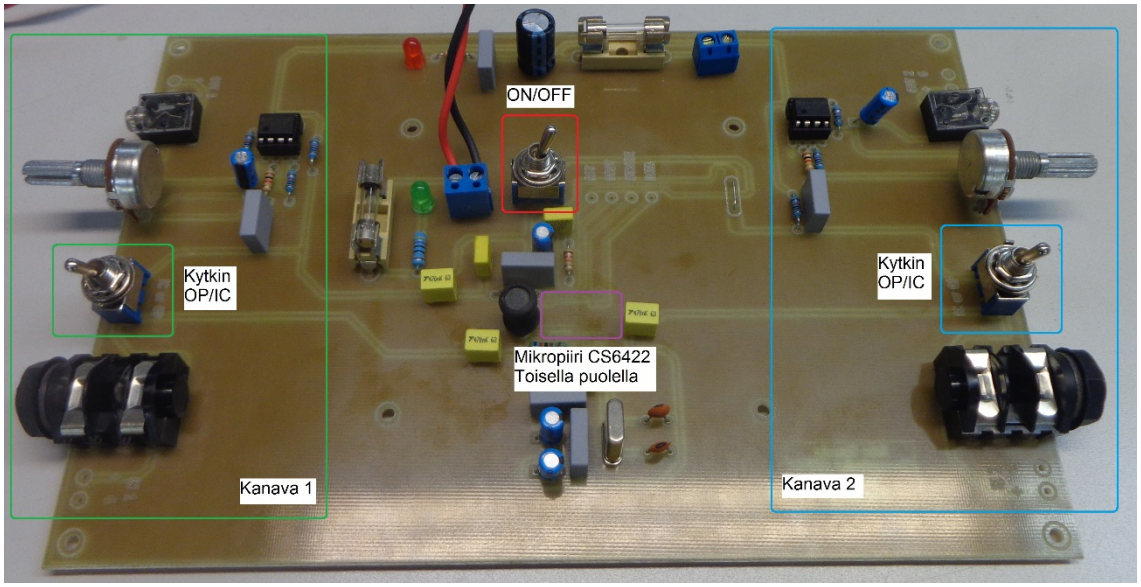
Kuvio 38. Piirilevyn yläpuoli (Top Layer)



Kuvio 39. Piirilevyn alapuoli (Bottom Layer)

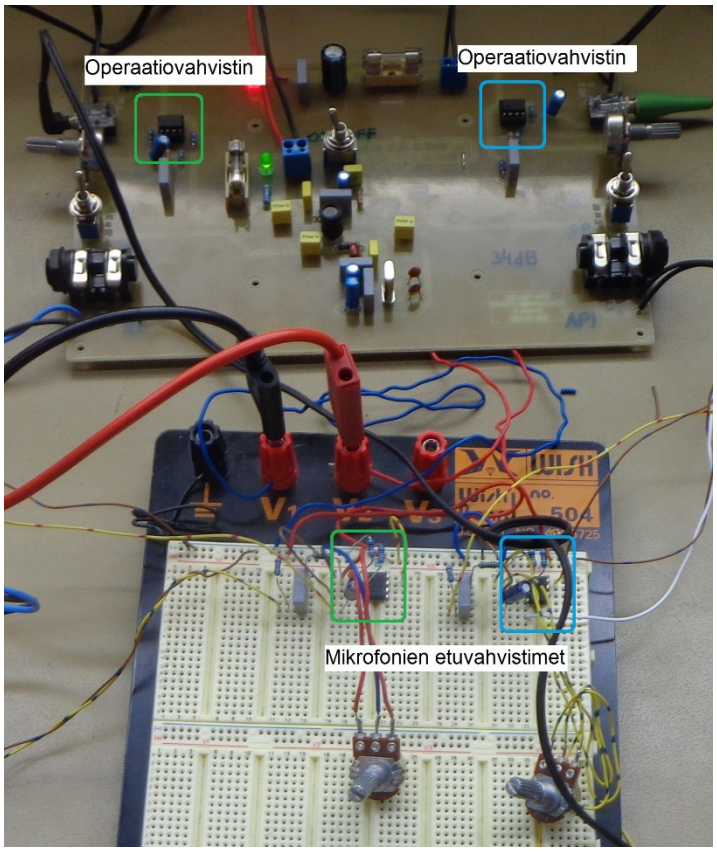
Kuviossa 40 on toinen protolevy. Se on valmis suorittamaan sähköisiä testejä. Punaisella värillä on merkitty ON/OFF-kytkin, jolla saa kytkettyä ja katkaistua

virrat mikropiirille. Kuviossa vasemmalla puolella vihreällä värillä on merkitty kanava 1 ja sinisellä värillä oikealla puolella kanava 2. Molemmilla kanavilla on kytkin OP/IC. Kytkimen avulla voi lähettää sisään menevää signaalia suoraan operaatiovahvistimeen (OP) tai kaiunpoisto-mikropiirin CS6422 (IC) läpi. Violetilla värillä on merkitty mikropiirin sijainti. On huomattavaa, että se on toisella puolella levyä.




Kuvio 40. Toinen valmis protolevy

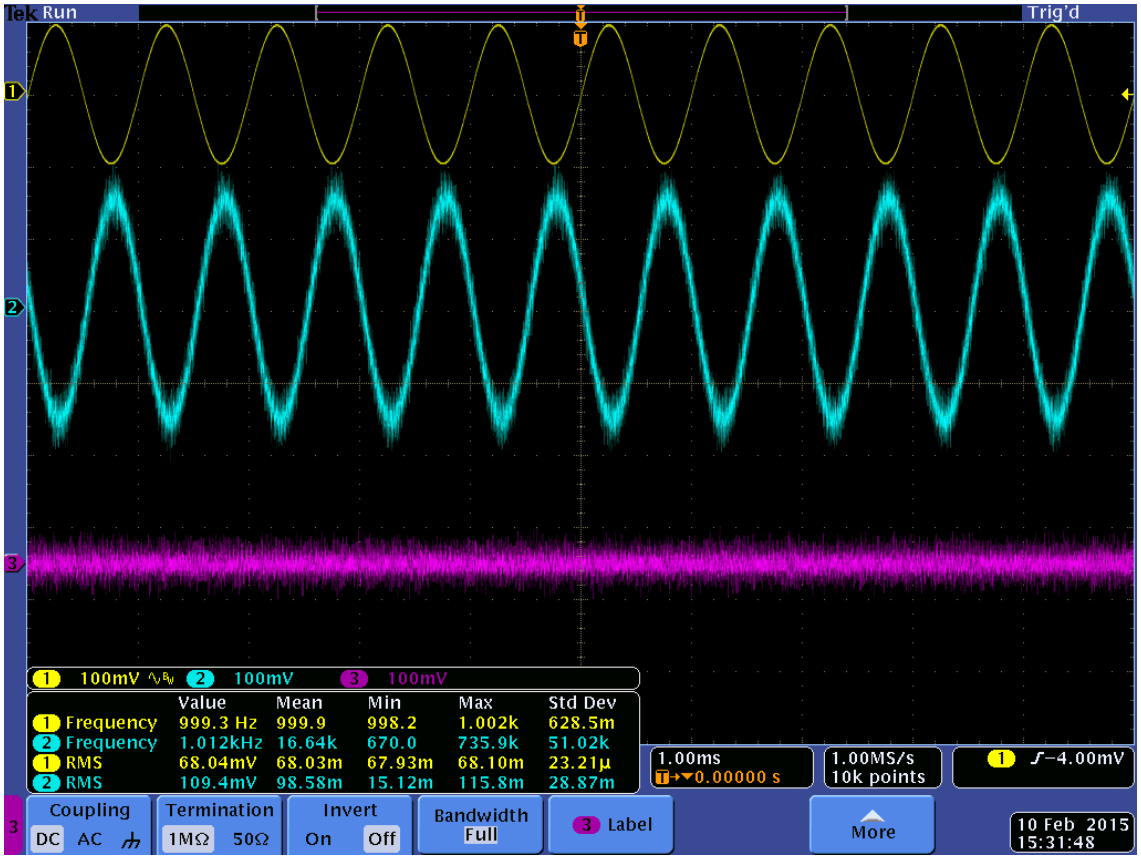
Kuviossa 41 kuvataan toisen protolevyn testaamista. Testaamisen aikana ilmeni sellainen ongelma, että mikrofonista tuleva signaali oli liian heikko eikä se toiminut suoraan kytkettynä. Sen takia rakennettiin mikrofonin molemmille kanaville etuvahvistimet. Toisessa testissä signaali kulkee mikrofonista mikrofonin etuvahvistimeen. Sen jälkeen on mahdollista OP/IC-kytkimen avulla siirtää signaalia eteenpäin operaatiovahvistimella ja siitä edelleen kuulokkeisiin tai kaiuttimiin. Toinen vaihtoehto on siirtää signaali CS6422 mikropiiriin ja sitä kautta operaatiovahvistimeen. Sieltä signaali kulkee samalla tavalla kuulokkeisiin tai kaiuttimiin. Kyseisen testin ongelma oli, että siinä edellytettiin paljon manuaalista kytkemistä ja rakentamista sekä tarvittiin paljon sähkökaapeleita. Tämän takia testaaminen vaikeutui ja hidastui. Tästä huolimatta onnistuttiin toteuttamaan tärkeitä sähkötestejä, joiden avulla saatiin uutta tietoa mikropiirin toiminnasta. Toisella protolevyllä oli vikaa potentiometreissä, koska ne toimivat väärään suuntaan. Toinen vika oli OP/IC-kytkimessä, joka toimi väärään suuntaan.



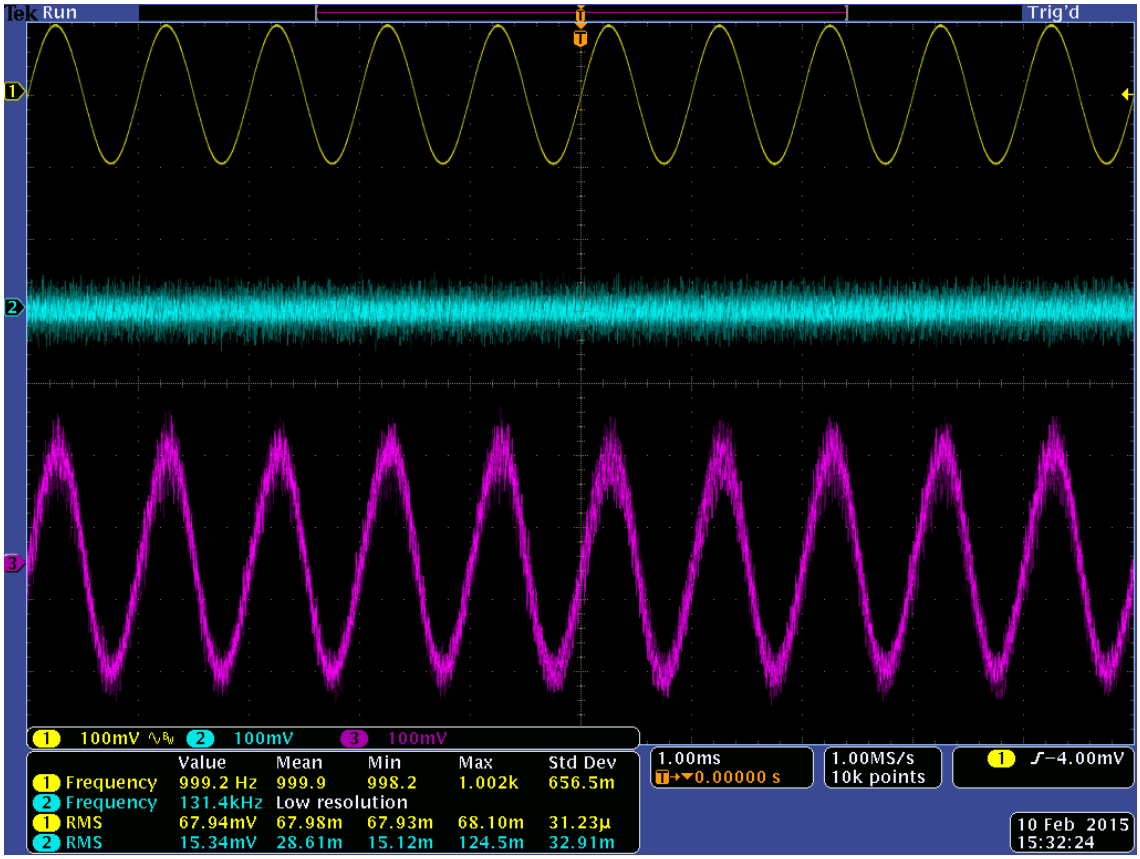

Kuvio 41. Toisen protolevyn testaaminen

Seuraavaksi aloitettiin mittaamaan signaaleja oskilloskoopilla. Mikrofonien tilalle kytkettiin signaaligeneraattori. Signaaligeneraattorin asetukset säädettiin 100 mV ja 1 kHz siniaallon muotoiseksi signaaliksi. Kuvioissa 42 ja 43 on keltaisella värillä kuvattu signaaligeneraattori signaali. Sinisellä värillä on merkitty ensimmäisen kanavan ulostulosignaali. Ulostulevan signaalin jännite on noin 200 mV. Ero sisäänmenosignaaliin on se, että vaihekulma on noin 180 astetta. Ulostuloon oli kytketty pieni kaiutin, josta saatiin 1 kHz:n ääni. Toinen kanava (merkitty punaisella värillä) ei tullut ulossignaalia.

Testissä olivat molemmat kanavat päällä ja ulostuleva signaali ilmeni vain yhdellä kanavalla kerrallaan. Mikropiiri toimi ikään kuin Half-Duplex-tilassa. Se tarkoittaa, että puhe tai signaali kulkeutuu mikropiirin vain yhteen suuntaan kerrallaan. Mikrofonien etuvahvistimien avulla onnistui signaalin kulkusuunnan muuttaminen eri suuntaan. Jos ensimmäisen kanavan potentiometrit asetettiin nollaksi samalla kun toisen kanavan potentiometri oli päällä, saatiin molemmat kanavat toimimaan mutta ei samaan aikaan. Kuviossa 42 on esitetty ensimmäisen kanavan testaus ja kuviossa 43 toisen kanavan testaus.




Kuvio 42. Ensimmäisen kanavan testaus

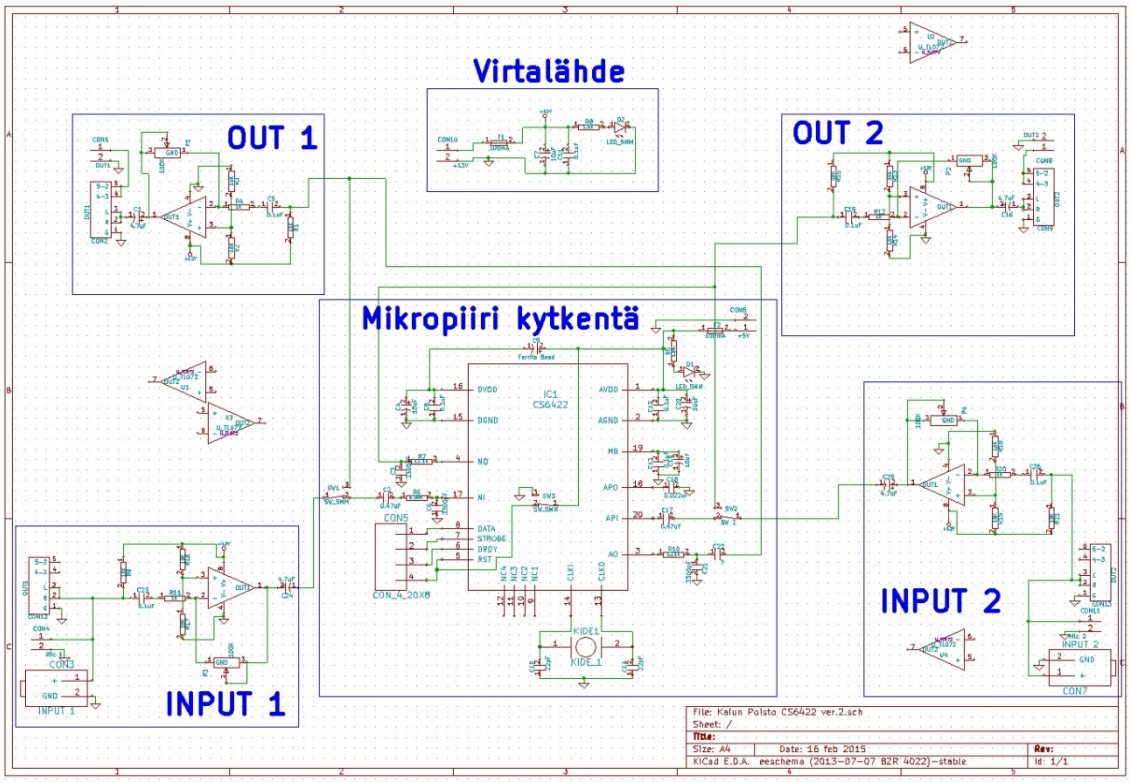



Kuvio 43. Toisen kanavan testaus

## 6.8 Kolmannen prototyypin valmistaminen ja testaaminen

Kuviossa 44 on kolmannen prototyypin kytkentäkaavio, joka on tehty KiCad-ohjelmalla. Ensimmäisen ja toisen prototyypin tekemisen aikana esiintyi jonkin verran virheitä. Tämän jälkeen suunniteltiin uusi versio piirilevystä, jossa ei ollut edellisissä levyissä ilmenneitä vikoja. Uudessa versiossa on neljä operaatiovahvistinta, mikropiirikytkentä, virtalähteelle tarvittavat komponentit ja sisäänmeno- ja ulostuloliitimet.

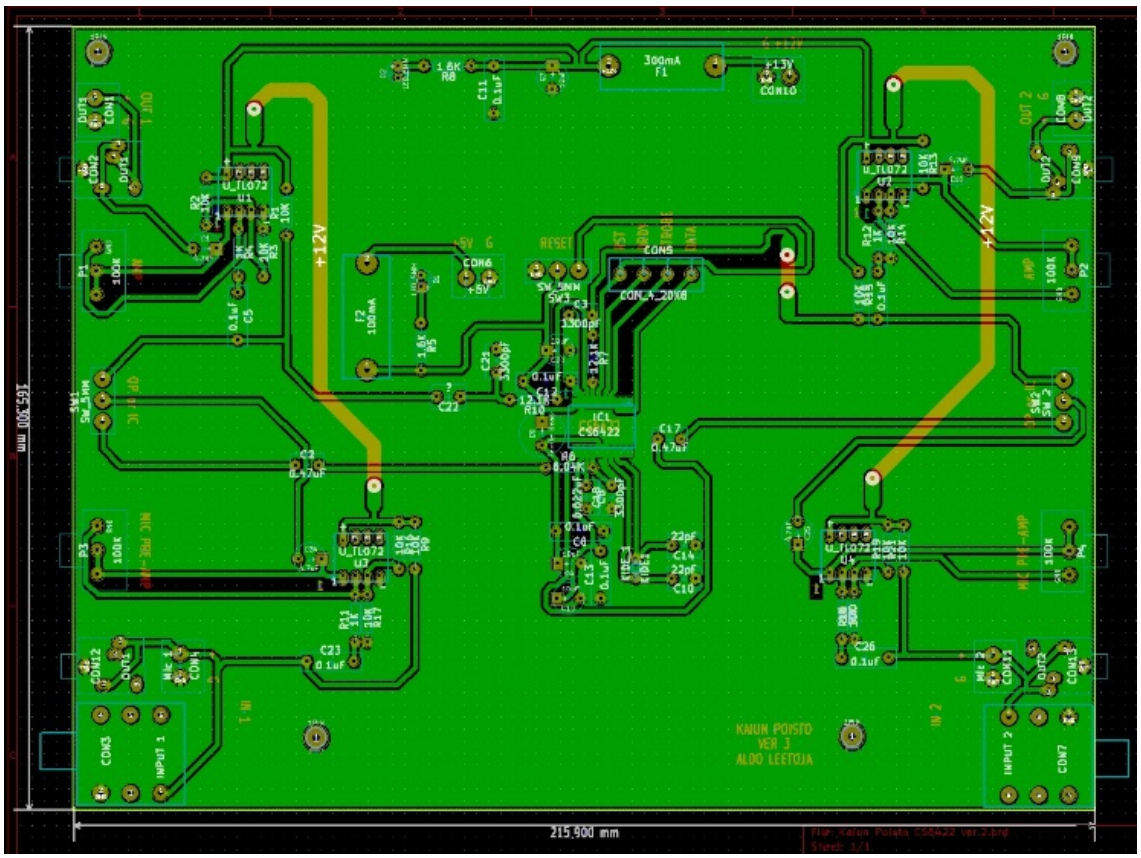
Uudessa piirilevyssä on muokattu potentiometrit, jotta äänen voimakkuuden säädin toimii oikein päin. Lisäksi on muutettu OP/IC-kytkimen kytkeytymisen suunta. Sisäänmenoon ja ulostuloon on asennettu kolme eri liitintä. Ensimmäisen liittimen tarkoitus on, että pelkällä johtimella on mahdollista liittää mikrofoni tai kaiutin. Lisäksi on suunniteltu 6.35 mm:n liitin ja 3.5 mm:n liitin. Ne monipuolistavat piirilevyä, siten että signaali on mahdollista syöttää eri liittimien kautta eli käyttää eri mikrofoneja. Ulostulo on suunniteltu samalla tavalla, toisin sanoen on mahdollista kytkeä kuulokkeet suoraan 3.5 mm:n liittimellä. Lisäksi on suunniteltu liitin, jolla voi kytkeä kaiuttimet johtimien avulla. Tässä versiossa on korjattu 0.1 µF kondensaattorien jalkojen väli, jotta kyseiset komponentit mahtuvat hyvin paikalleen.




Kuvio 44. Kolmannen prototyypin kytkentäkaavio KiCad-ohjelmalla

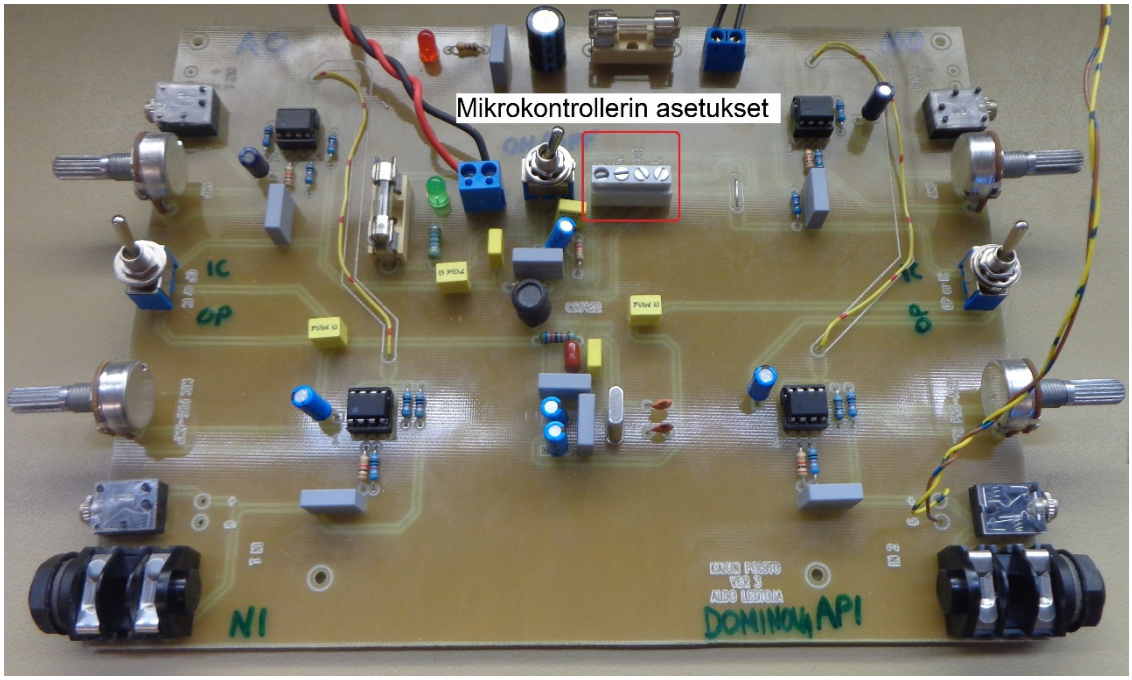
Kuviossa 45 on KiCad-ohjelmalla tehdyt kuparikierrokset. Kolmannen prototyypin valmistamisessa käytettiin isoa levytilaa. Näin komponenttien juottaminen helpottui ja levyn rakenteen ymmärtäminen olisi mahdollisemman yksinkertaista. Levyn koko oli 165 mm x 215 mm. Valmistuksessa käytetiin yksipuolista piirilevyä, mutta kuviossa on punaisella merkitty kohta, jossa on kolme hyppylankaa.

Kuvion 45 keskellä on CS6422-mikropiiri ja lisäksi mikropiirille kuuluvat komponentit. Kuviosta voi nähdä neljä operaatiovahvistimen paikkaa. Vasemmalla reunalla on ensimmäisen kanavan liittimet, kytkin ja potentiometrit. Oikealla reunalla on toisen kanavan liittimet, kytkin ja potentiometrit. Levylle suunniteltiin kaikki johtimet 1 mm:n leveästä kuparista. Kaikki vapaa tila suunniteltiin sähköisen maan tasoksi, mikä poistaa häiriöitä. Levy käyttää kahta eri käyttöjännitettä: Mikropiiri käyttää +5 V DC ja operaatiovahvistimet käyttävät +9–+15V DC. Levylle lisättiin molemmille käyttöjännitteille oma sulake, jotta mikropiiri tai operaatiovahvistimet eivät rikkoonnu. Operaatiovahvistimen käyttöjännitettä osoittaa punainen led-valo ja mikropiirin käyttöjännitettä vihreä led-valo. Led-valot näyttävät, ovatko käyttöjännitteet kunnossa.

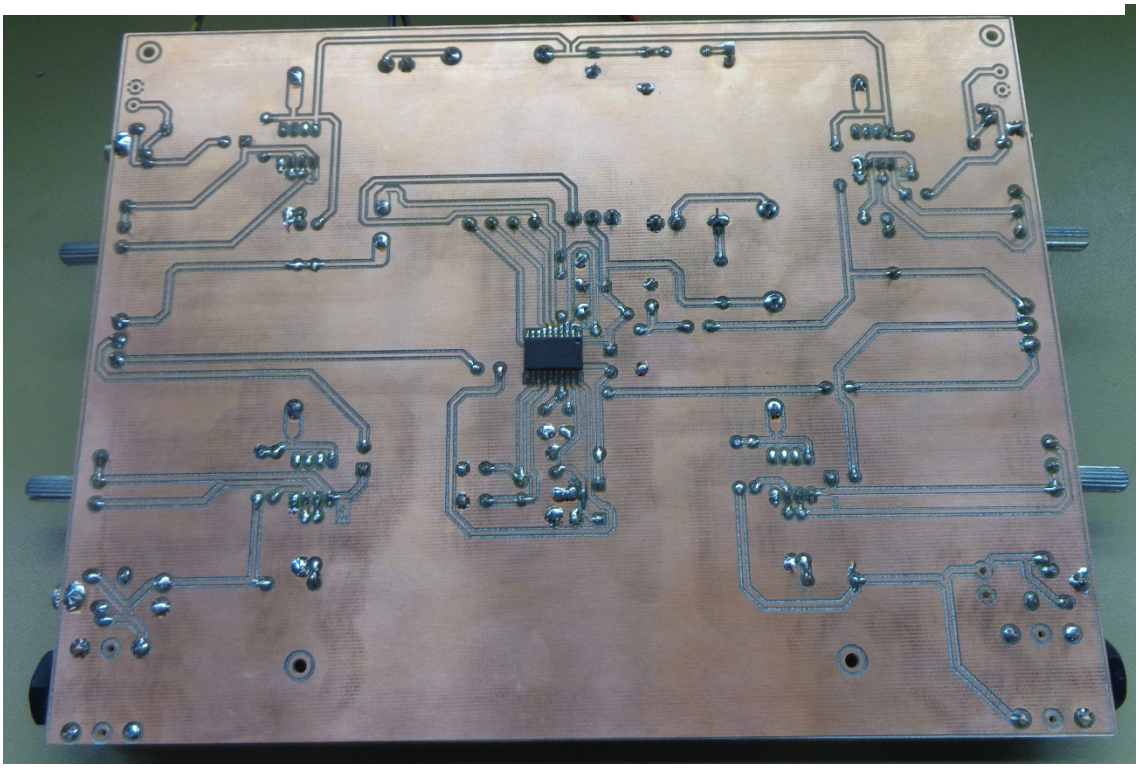



Kuvio 45. Kolmannen prototyypin kuparikerrokset (Layout) KiCad-ohjelmalla

Kuvioissa 46 ja 47 on kolmas protolevy, joka on valmis sähkötestiin. Levy oli hyvin suunniteltu eikä tarvinnut ylimääräisiä sähkökaapeleita. Sähkötestissä esiintyi taas aiemmin mainittu *Half-Duplex*-toiminta. Sen takia tutkittiin mikrokontrollerin asetuksia ja selvisi, että mikropiiri pitäisi ohjelmoida digitaalisesti muuttamalla alkuasetuksia.




Kuvio 46. Kolmas prototyyppi valmiina testattavaksi



Kuvio 47. Kolmannen protolevyn alapuoli

## 6.9 Mikropiirin alkuasetusten muokkaaminen

Kolmannen protolevyn suunnitellussa otettiin huomion pinnit, joiden avulla on mahdollista muuttaa mikropiirin alkuasetuksia. Pinnien tilalle asetettiin ruuvimeisselin liittimet, joiden avulla on mahdollista kiinnittää johdot. Kuviossa 48 on esimerkki, kuinka mikropiirin alkuasetuksia voi muuttaa.

STROBE:n tulisi olla kanttiaallon muotoinen signaali ja viimeisen bitin jälkeen pitäisi olla neljä lisäpulssia. DATA-bitti muuttaa alkuasetuksia. Punaisella ympyrällä on merkitty bitti numero 14 (HDD). Se on alkuasetuksella 0, mutta se pitäisi muuttaa asetukseen 1. DRDY:n alkuasetus pitäisi olla alussa 1, ja DATA-bittien syöttämisen aikana 0 ja sen jälkeen uudestaan 1. Kuviossa 48 on kuvattu rekisterikartta, joka muistuttaa matriisia. Kuviossa mikropiirille rakennettiin kuusi kerroksinen rekisteri. Viimeiset neljä bittiä kertovat mikropiirille, mitä rekisteritasoa aloitetaan muokkaamaan. Bittijonon avulla on mahdollista kytkeä pois päältä mikrofonin etuvahvistin ja muuttaa signaalin vahvistustehoa ja muita ominaisuuksia.

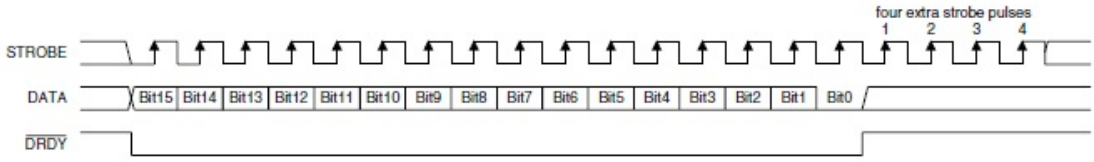



**Figure 7. Microcontroller Interface**

| # | b15 | b14 | b13 | b12 | b11 | b10 | b9 | b8 | b7 | b6 | b5 | b4 | b3-0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Mic 1 | HDD 0 | GB 10 | | RVol 0100 | | | | TSD 0 | ACC 00 | | TSMde 0 | 0000 |
| 1 | THDet 00 | | Taps 10 | | TVol 1010 | | | | RSD 0 | NCC 00 | | AuNECD 0 | 0010 |
| 2 | RHDet 00 | | RSThd 00 | | NseRmp 00 | | HDly 00 | | HHold 0 | TDSRmp 0 | RDSRmp 0 | IdlTx 0 | 0100 |
| 3 | TSAtt 00 | | PCSen 0 | TDbtS 000 | | | RDbtS 00 | | TSThd 00 | | TSBias 00 | | 0110 |
| 4 | AErle 00 | | AFNse 00 | | NErle 00 | | NFNse 00 | | RGain 00 | | TGain 00 | | 1000 |
| 5 | HwID 0 | TD 0 | APCD 0 | NPCD 0 | APFD 0 | NPFD 0 | AECD 0 | NECD 0 | ASdt 00 | | NSdt 00 | | 1010 |

**Table 2. MCR Control Register Mapping**

Kuvio 48. Mikropiirin alkuasetuksen muokkaaminen

Kuviossa 49 on Rekisteri 0 -asetukset. (*)-merkillä on merkitty mikropiirin alkuasetukset. Punaisella ympyrällä on merkitty paikat, jotka pitäisi muuttaa. Alku-

asetuksella *Half-DuplexDisable* (HDD) on 0, eli Half-Duplex-moodi on päällä. Jos moodin kytkee pois päältä, jolloin bitti numero 14 vaihtuu numeroon 1, alkaa Full-Duplex -moodi toimimaan. Se tarkoittaa sitä, että signaali liikkuu molempien suuntiin yhtä aikaa. Jos signaali on ihmisen puhetta, on mahdollista puhua molemmille henkilöille yhtä aikaa.

Lisätestinä muutettiin mikrofonin etuvahvistimen bittinumero 15 nollaksi. Tulos oli seuraava: RESET-toiminnon jälkeen molemmat kanavat toimivat Half-Duplex-moodissa. Kun bittijono syötettiin mikropiirille, yksi kanava jäi hiljaiseksi. Edellä mainitussa testissä haluttiin selvittää, toimiiko bittijonon syöttäminen mikropiirille.

*3.3 Register 0*

| b15 | b14 | b13 | b12 | b11 | b10 | b9 | b8 | b7 | b6 | b5 | b4 | b3 | b2 | b1 | b0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mic | HDD | GB | | RVol | | | | TSD | ACC | | TSMde | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 10 | | 0100 | | | | 0 | 00 | | 0 | | | | |
| A | | | | 4 | | | | 0 | | | | 0 | | | |

| Bits | Name | Function | Word | Operation |
|---|---|---|---|---|
| 15 | Mic | Microphone preamplifier enable | 0<br>1* | disable mic preamp<br>enable mic preamp |
| 14 | HDD | Half-Duplex Disable | 0*<br>1 | enable half-duplex<br>disable half-duplex |
| 13-12 | GB | Graded Beta | 00<br>01<br>10*<br>11 | 0.00 dB/ms<br>0.75 dB/ms<br>0.38 dB/ms<br>0.19 dB/ms |
| 11-8 | RVol | Rx Volume control | 0000<br>0001<br>---<br>0100*<br>---<br>1010<br>1011<br>---<br>1101<br>1110<br>1111 | +30 dB<br>+27 dB<br>---<br>+18 dB<br>---<br>+0 dB<br>-3 dB<br>---<br>-9 dB<br>-12 dB<br>mute |
| 7 | TSD | Tx Suppression Disable | 0*<br>1 | enable Tx suppression<br>disable Tx suppression |
| 6-5 | ACC | AEC Coefficient Control | 00*<br>01<br>10<br>11 | Normal<br>Clear<br>Freeze<br>reserved |
| 4 | TSMde | Tx Suppression Mode | 0*<br>1 | enable noise guard<br>disable noise guard |

* Denotes reset value

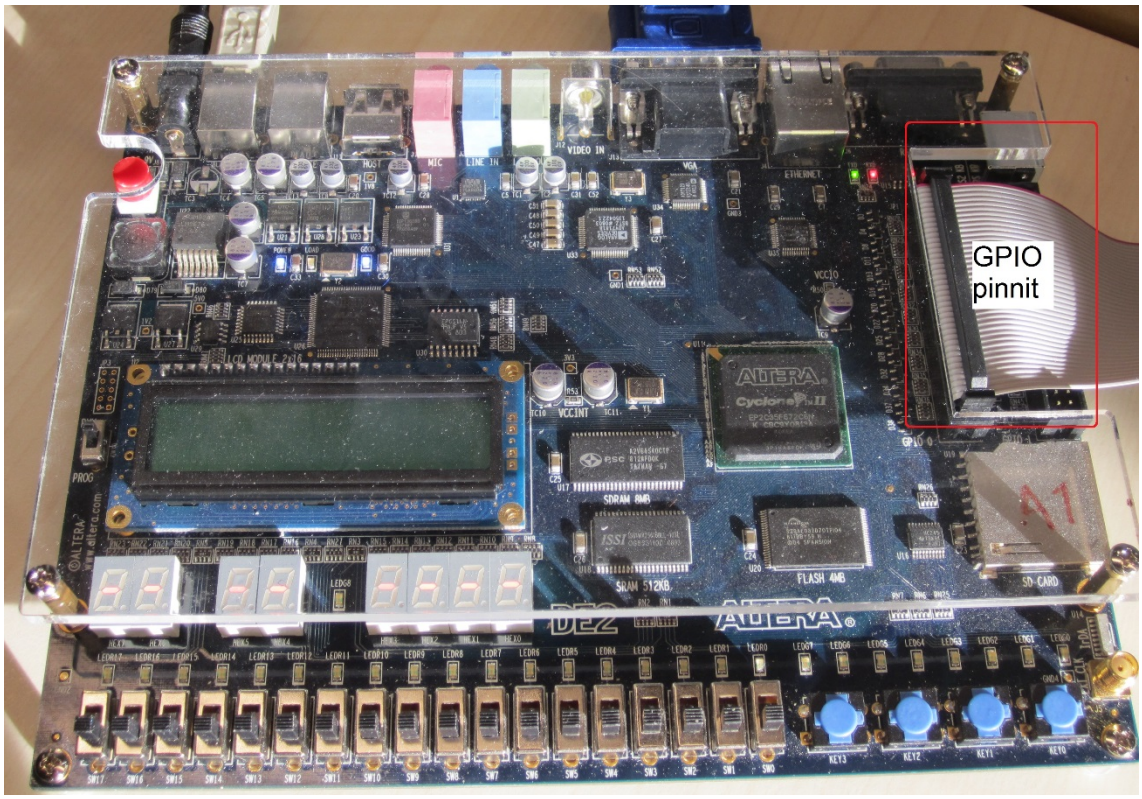
**Table 3. Register 0 Bit Definitions**

Kuvio 49. Tarkemmat tiedot rekisterin 0-asetuksista

## 6.10 Digitaalisen bittijonon muodostaminen

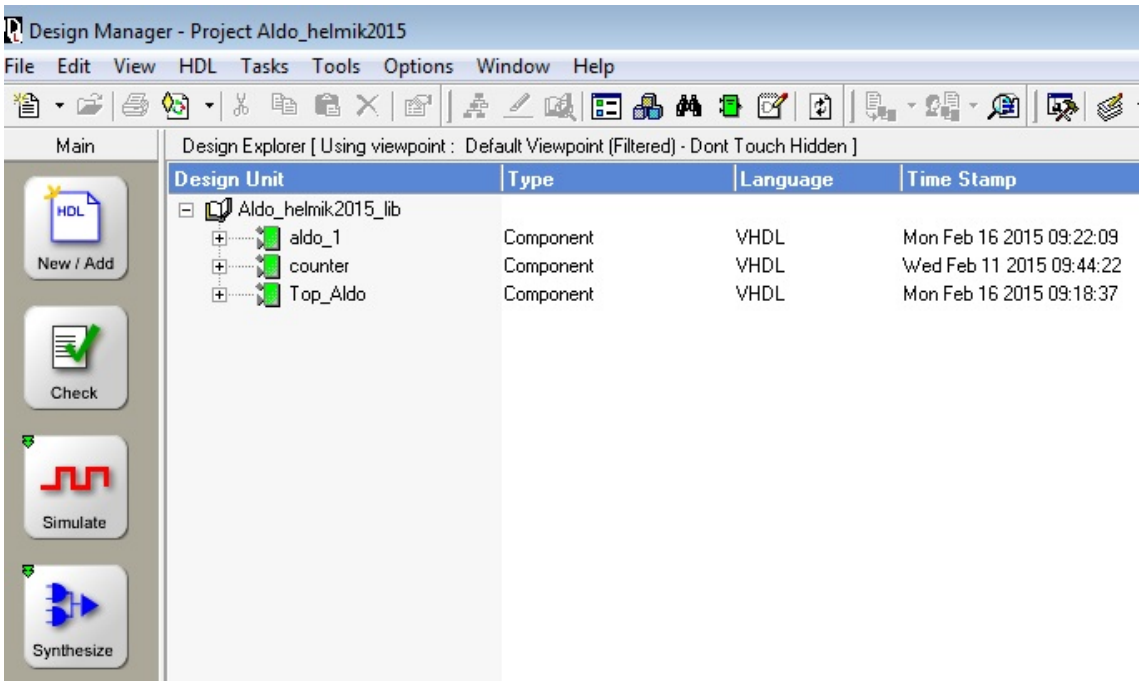
Bittijonon muodostamisessa käytettiin Altera DE2 -alustaa (kuvio 50). Tällä alustalla on mahdollista tehdä graafista ohjelmointia. Bittien määrät ja kuviot tehdään graafisesti. Alustassa on RAM- ja ROM-muisti. Koska RAM-muisti on lyhytaikainen muisti, sähkökatkoksen aikana ohjelma häviää. ROM-muisti on pitkäaikainen muisti, joka ei sähkökatkoksen aikana häviä. GPIO-pinnejä käytettiin bittikuvion siirtämisessä. Tässä tarvittiin kolme pinniä. Lisäksi tarvittiin yksi +5 V:n käyttöjännitteinen pinni sekä yksi maatason pinni.

Alusta on käytöltään monipuolinen: tietoa on mahdollista siirtää paikasta toiseen. Kuviossa 50 oikealla alhaalla on neljä sinistä painonappia, joita käytetiin bittijonon siirtämiseksi ja resetoimiseksi. Niiden vieressä on 18 liukukytkintä, joita on mahdollista käyttää. Lisäksi alustalla on 7-segmentin led-näyttö ja LCD-näyttö. Kyseisiltä näytöiltä on mahdollista nähdä haluttu tieto. Kuvion yläpuolella on erilaisia liittimiä: USB-liitin, MIC-liitin, kuulokkeitten liitin, VGA-liitin ja sarjaporttiliitin. Niitä kaikkia voi käyttää signaalin käsittelyssä.



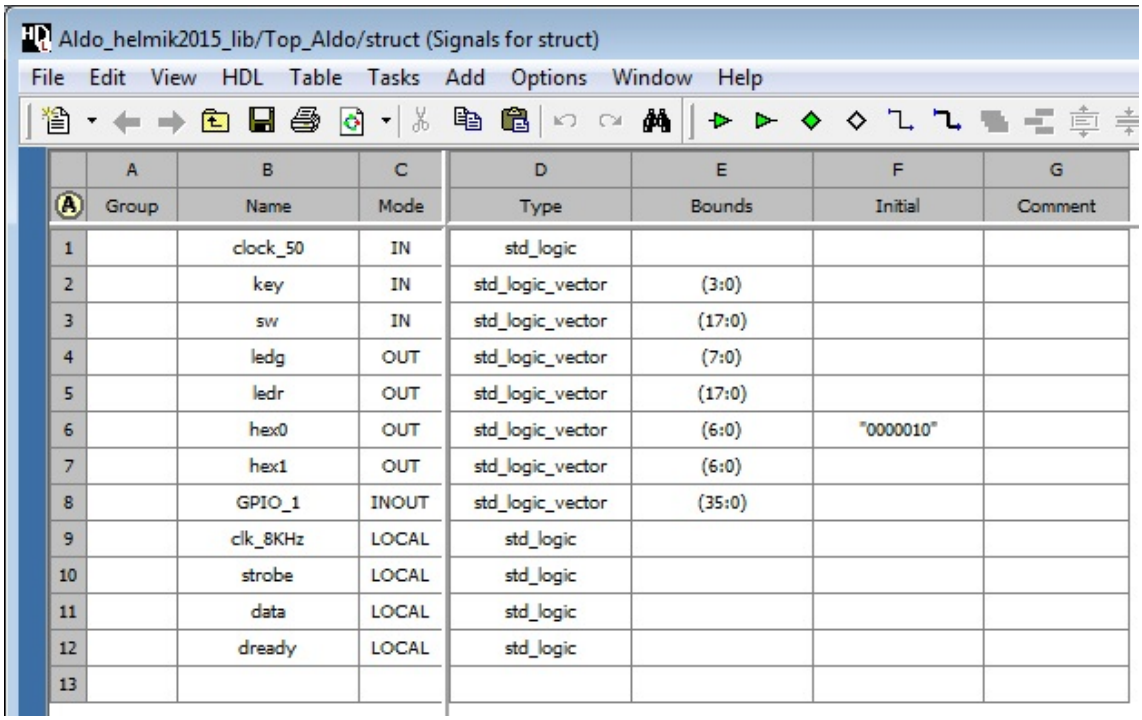

Kuvio 50. Altera DE2 -alusta

Tässä kappaleessa kuvataan, kuinka bittijono muodostettiin mikropiirin alkuasetusten muokkaamisen varten. Kuviossa 51 on ohjelman HDL Designer pääikkuna. HDL Designer -ohjelmalla on mahdollista ohjelmoida Altera DE2 -alusta. Ohjelmistomuoto on graafinen, ja se muodostetaan pallo- ja lohkokaavion avulla. HDL Designer -ohjelman etuna on, että ohjelmistokieliä ei tarvitse hallita. Kuviossa 51 esitetystä pääikkunasta näkee kolme tiedostoa: *aldo_1*, *counter* ja *Top_Aldo*




Kuvio 51. HDL Designer -pääikkuna

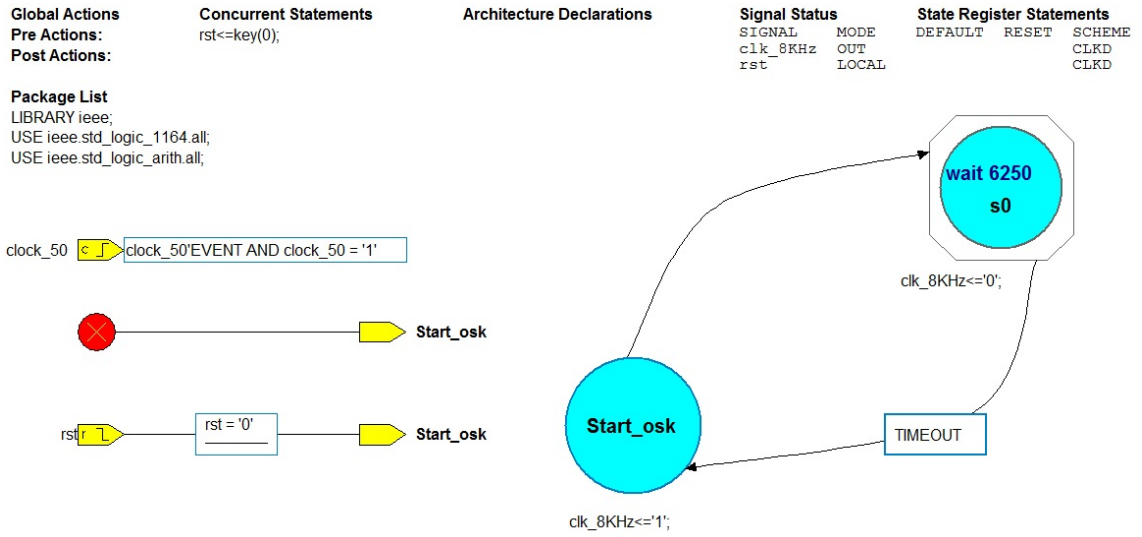
Kuviossa 52 on päätason (*Top_Aldo*) struktuuri määrittely. Päätason tulee olla valmis ensimmäisenä. Kuvioon 52 on merkitty käytetyt portit.




| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Group | Name | Mode | Type | Bounds | Initial | Comment |
| 1 | | clock_50 | IN | std_logic | | | |
| 2 | | key | IN | std_logic_vector | (3:0) | | |
| 3 | | sw | IN | std_logic_vector | (17:0) | | |
| 4 | | ledg | OUT | std_logic_vector | (7:0) | | |
| 5 | | ledr | OUT | std_logic_vector | (17:0) | | |
| 6 | | hex0 | OUT | std_logic_vector | (6:0) | "0000010" | |
| 7 | | hex1 | OUT | std_logic_vector | (6:0) | | |
| 8 | | GPIO_1 | INOUT | std_logic_vector | (35:0) | | |
| 9 | | clk_8KHz | LOCAL | std_logic | | | |
| 10 | | strobe | LOCAL | std_logic | | | |
| 11 | | data | LOCAL | std_logic | | | |
| 12 | | dready | LOCAL | std_logic | | | |
| 13 | | | | | | | |

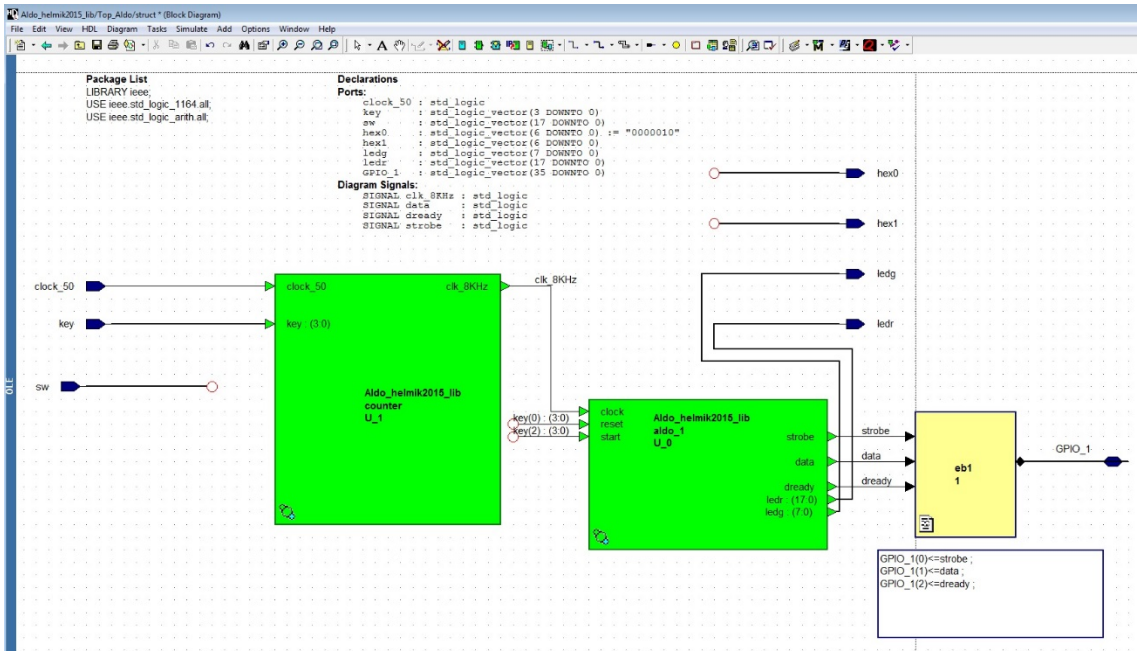
Kuvio 52. Struktuurimäärittely

Kuviossa 53 on tiedosto *counter*, jonka avulla säädetään yhden bitin jakson pituus. Mikropiiri tarvitsee yhden bitin ajaksi 150 µs. Kuviosta 55 voi nähdä, miten on säädetty bittiaika. Tämä on tärkeimpiä asioita, kun kirjoitetaan digitaalista koodia.




Kuvio 53. Kellobitin säätäminen

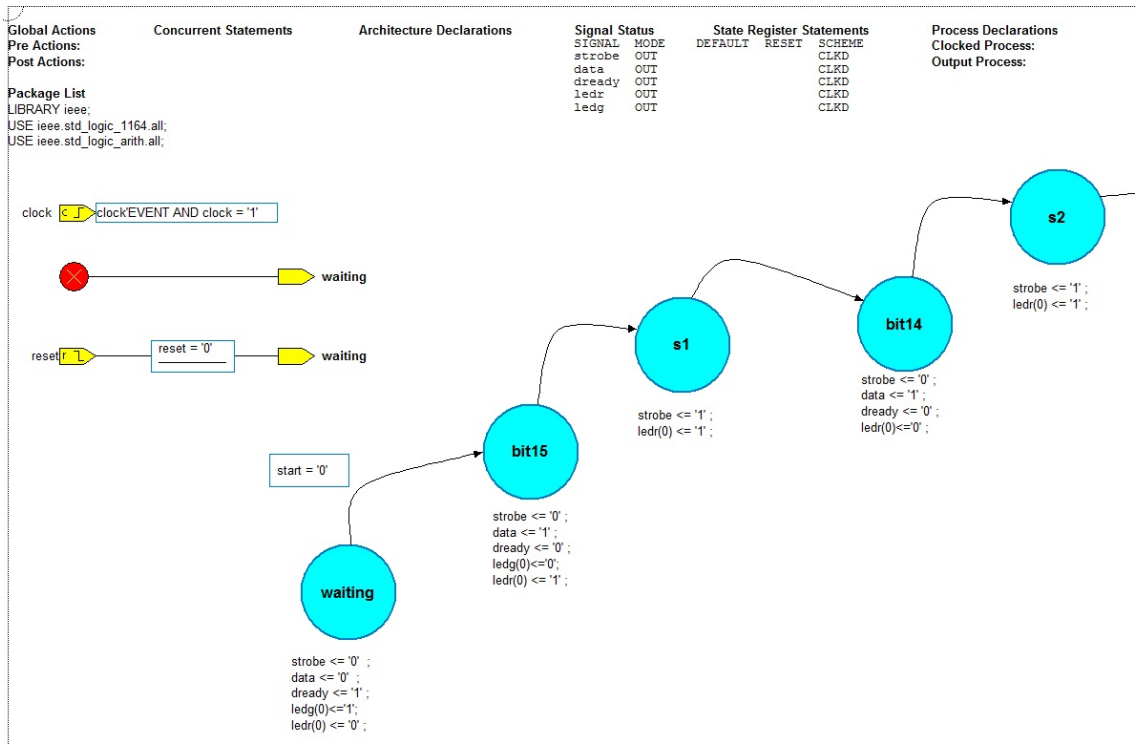
Kuviossa 54 on tiedosto nimeltään *Top_Aldo*. Se on ohjelman ylin taso, josta nähdään sisäänmenot ja ulostulot. Lisäksi kuviosta voi nähdä tiedon liikkumisen suunnat. Kunkin vihreän neliön sisällä on pallokaaviot. Vasemmanpuoleisessa neliössä on kellotahdin säätäminen ja oikeanpuoleisessa neliössä on bittijonon muodostaminen.




Kuvio 54. Graafisen ohjelman ylin taso

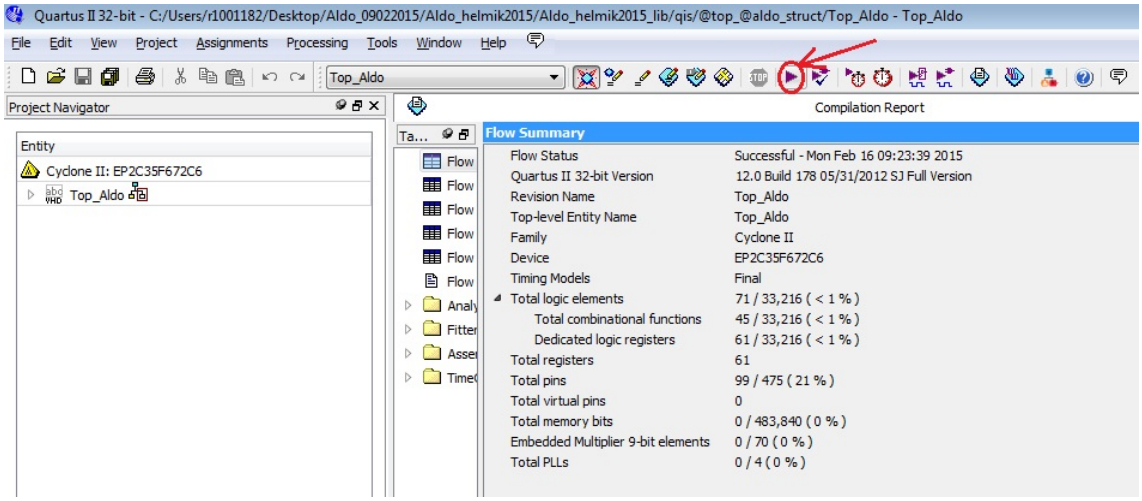
Kuviossa 55 kuvataan bittijonon muodostaminen. Kuviosta voi nähdä bitin 15 ja bitin 14 muokkaamisen. Samanlainen muokkaamisen kaava jatkuu bittiin 0 asti. Lisäksi STROBE:ssa on neljä lisäpulssijaksoa. Bitti 14 oli tärkeä kohta, jossa DATA haluttiin muuttaa bitiksi1. Bitti 14 sisältävän sinisen pallon alapuolelle on merkitty pienillä kirjaimilla data <= ’1’.

Painettaessa sinistä painonappia numero 2 alusta lähettää bittijonon GPIO-portin kautta mikropiirille. Alusta käyttää GPIO-pinnejä 1, 2, 3, 11 ja 12. Ohjelmassa luotiin myös RESET-nappi. RESET tarkoittaa sitä, että ohjelma ”hyppää” ensimmäisessä Waiting-nimisessä pallokaaviossa. RESET-ominaisuus antaa mahdollisuuden lähettää ohjelma uudestaan mikropiirille.



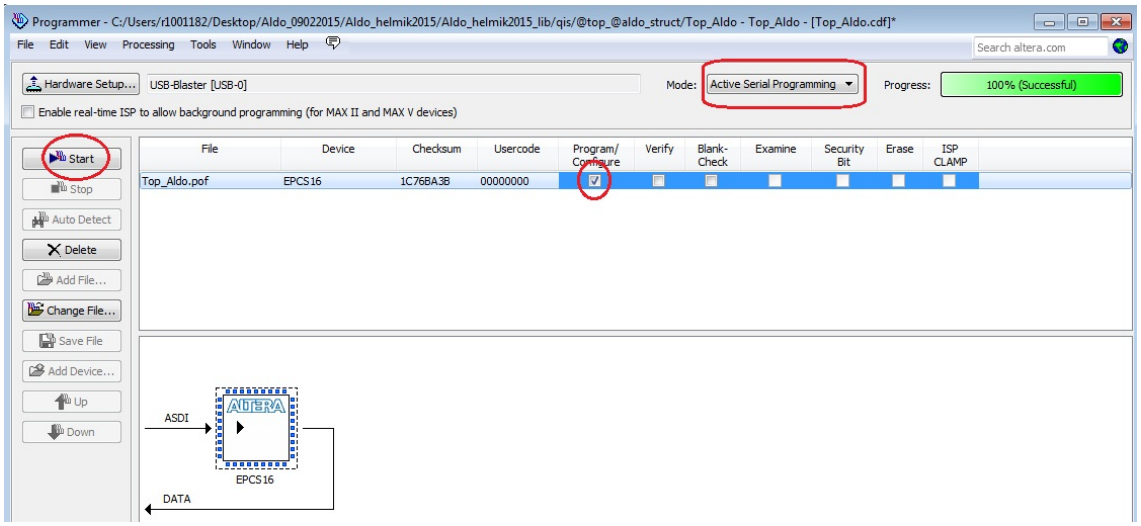

Kuvio 55. Bittijonon pallokaavio

Jos ohjelma on luotu HDL Designer -ohjelmalla, on tarve käyttää Quartus-ohjelmaa. Se tekee pallokaaviosta kirjallisen koodin sekä tarkistaa ohjelmassa tapahtuneita vikoja. Kuviossa 56 on punaisella värillä merkitty, mitä painiketta pitäisi painaa, jotta se alkaa kääntämään koodia. Varoituksista huolimatta ohjelma yleensä toimii. Varoitus *error* tarkoittaa, että koodissa on vakava vika, joka pitäisi korjata. *FlowSummary*:sta voi nähdä tärkeimmät tiedot.



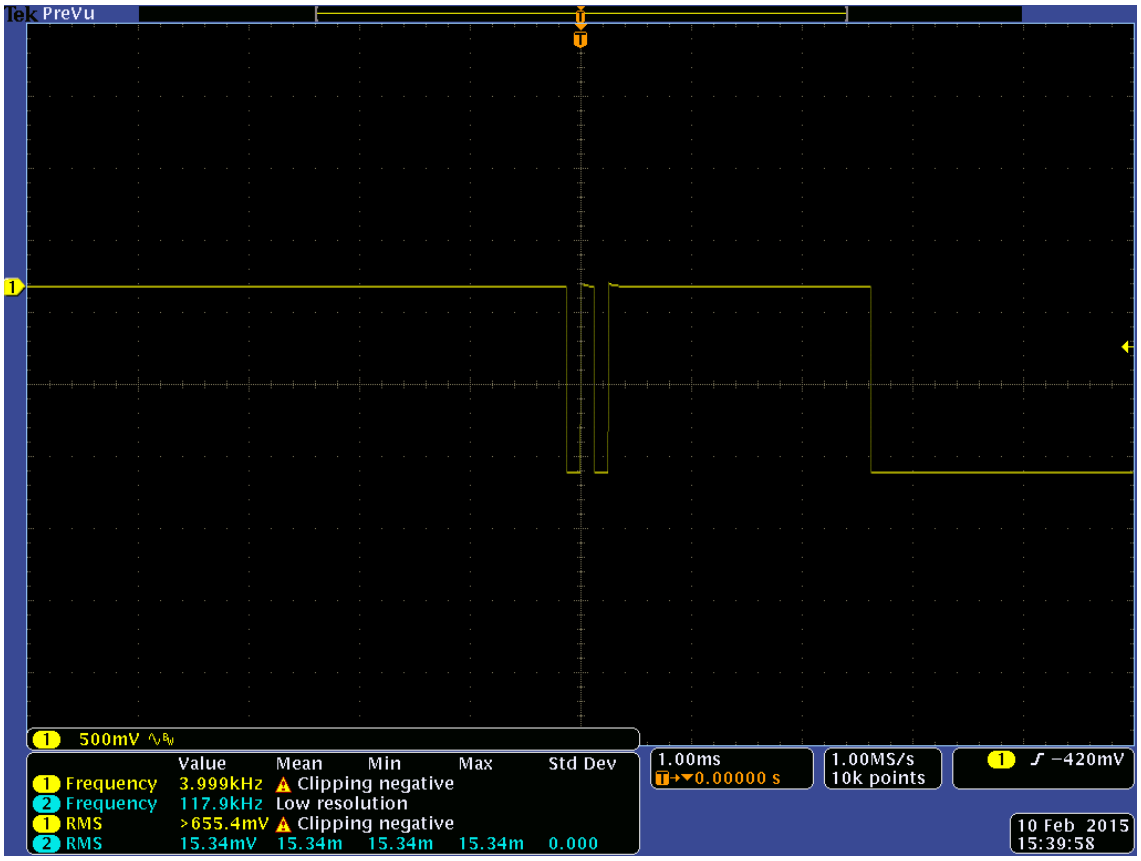

Kuvio 56. Quartus

Jos Quartus käännös on onnistunut ilman *error*-varoituksia, on mahdollista käyttää seuraavaa ohjelmaa nimeltään *Programmer* (kuvio 57). *Programmer*-ohjelma siirtää tehdyn ohjelman Altera DE2 -alustalle. Programmer-ohjelman avulla on mahdollista tallentaa tietoa Altera DE2 -alustan RAM- tai ROM-muistiin. Tällä kertaa ROM-muisti piti ohjelmoida. Kuviosta näkee asetukset, joiden avulla voi ohjelmoida ROM-muistin.



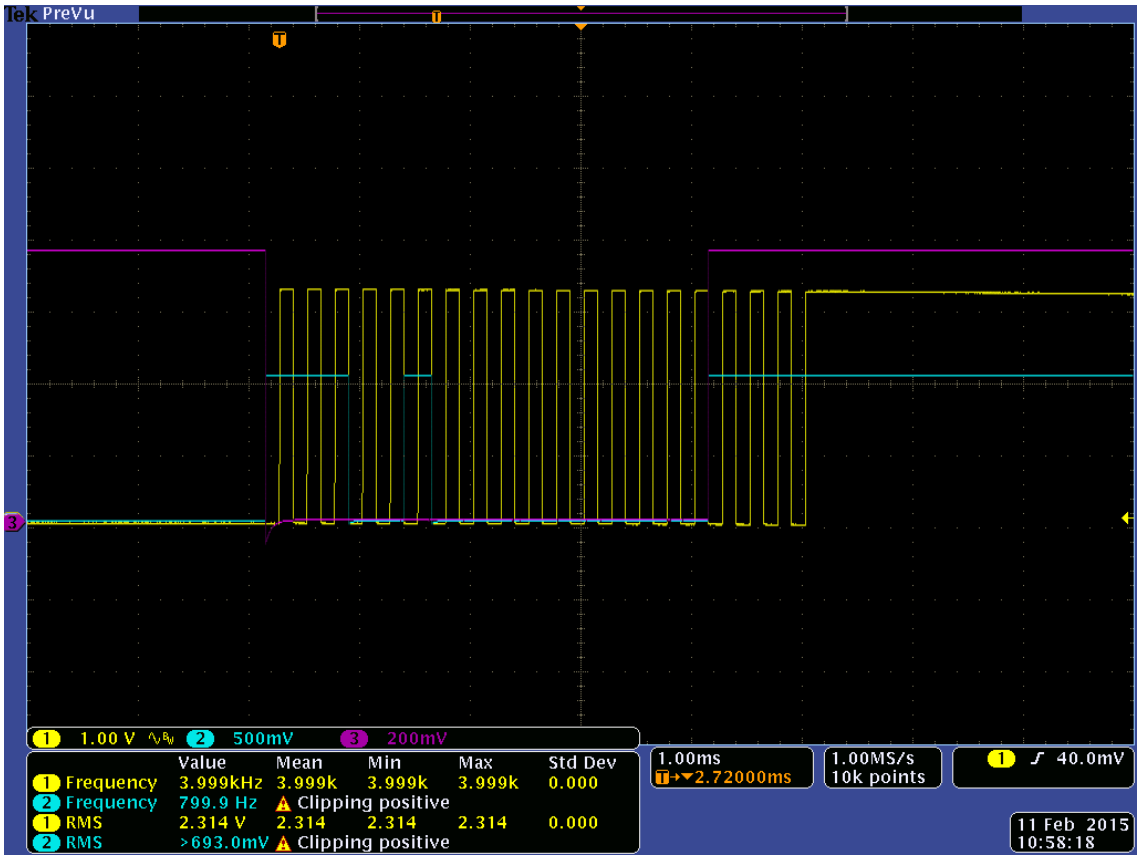

Kuvio 57. Ohjelma *Programmer*

Kuviossa 58 on ensimmäinen STROBE:n bittijonon kuva. Kuviosta voi nähdä että bitti käy alhaalla kaksi kertaa. Teoriassa STROBE- signaalin pitäisi käydä alhaalla 20 kertaa. Vikaa tutkittiin HDL Designer -ohjelmasta ja huomattiin, että signaalin prosessin asetus oli: ”*3* prosessia päällä*” (3 processing mode).* Se muutettiin asetukseksi ”1 prosessi päällä*” (1 processing mode),* jonka jälkeen vika korjaantui. Luotaessa uusi pallokaavio prosessin asetus on oltava aina ”3 prosessia päällä*”.*



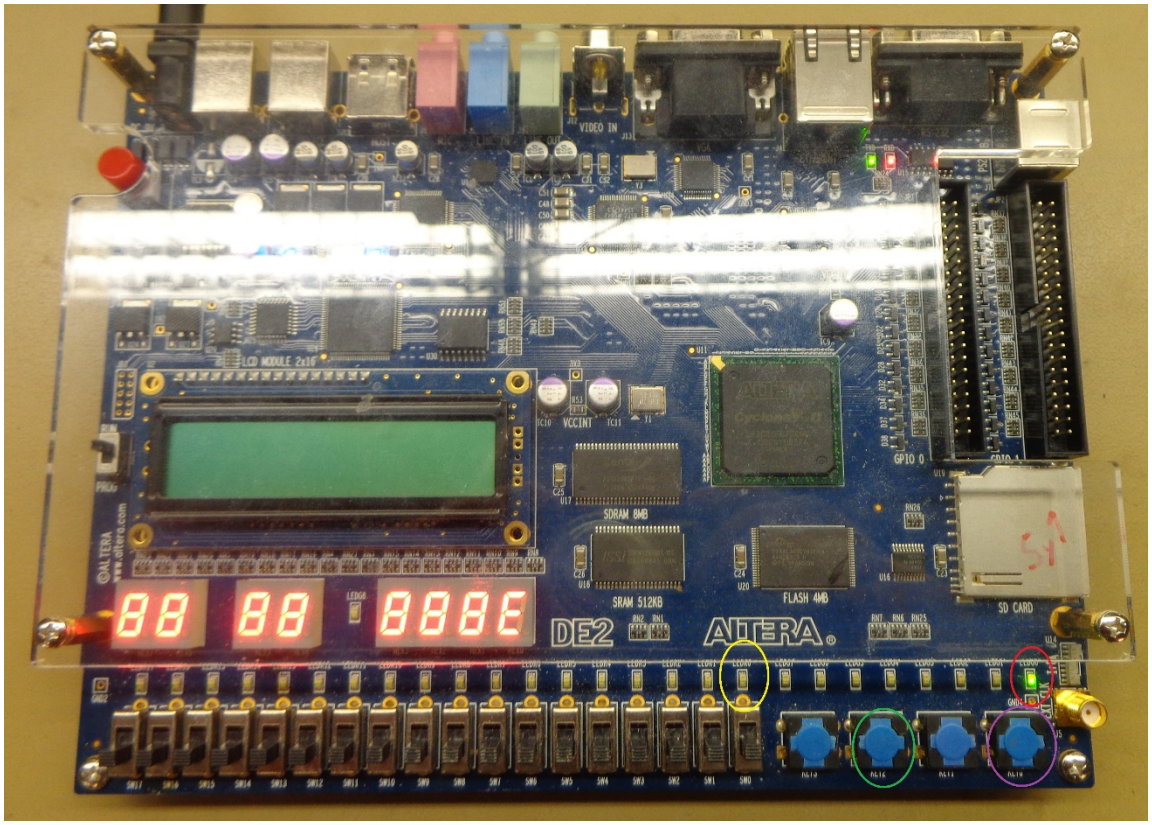

Kuvio 58. Oskilloskoopin kuva STROBE-signaalista

Kuviossa 59 on uusi tieto bittijonosta. Kuvion perusteella bittijono on oikean muotoinen. Keltaisella värillä merkittyä STROBE-signaalia on 20 jaksoa. DRDY-signaali on merkitty punaisella värillä, ja se on alhaalla silloin kun DATA-signaalia syötetään. DATA-signaali on merkitty sinisellä värillä, ja siitä voi nähdä että ensimmäiset kolme bittiä sekä kuudes bitti ovat tasolla 1. Tärkeää oli muuttaa bitin 14 (Half-Duplex Disable HDD) asetukset ykköseksi. Tärkeää oli myös testata bitti numero 15 (Microphone preamplifier enabled). Jos bitti 15 muutettiin nollaksi, yksi kanava lakkasi toimimasta.



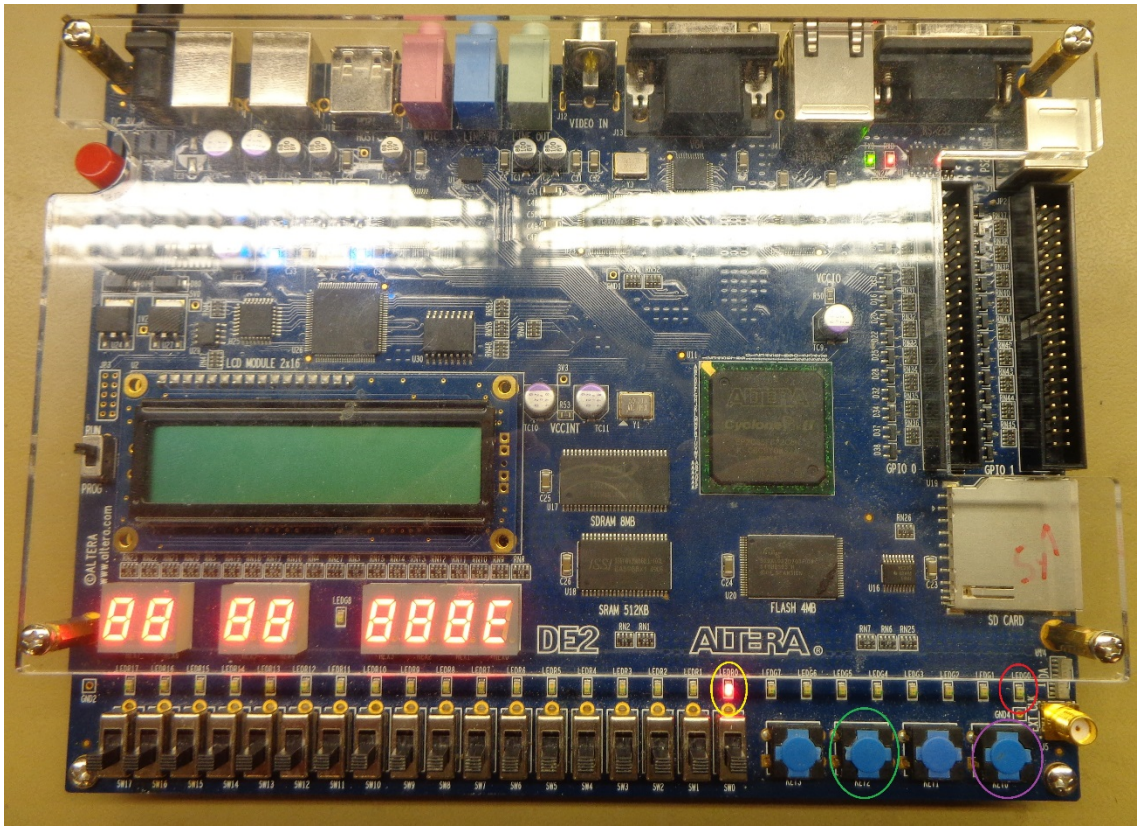

Kuvio 59. Bittijono kuvattuna oskilloskoopilla

Kuviossa 60 kuvataan Altera-alustan toimintaa. Erivärisillä ympyröillä on merkitty tarvittavat kytkimet ja ledit. Punaisella värillä on merkitty vihreä ledi. Se tarkoittaa, että ohjelma on odotustilassa. Jos painetaan vihreällä merkittyä nappia, se lähettää bittijonon GPIO-väylän kautta. Keltaisella ympyrällä on merkitty punainen ledi. Se alkaa palaa, jos painetaan vihreällä ympyrällä merkittyä nappia. Kuviossa näkyy myös RESET-nappi, joka on merkitty violetilla. Painettaessa ESET-nappia ohjelma siirtyy alkuun ja odotustilaan (*Waiting*).




Kuvio 60. Altera DE2 -alustan bittijonon lähetysohjelma odotustilassa

Kuviossa 61 on Altera-alustalta lähetetty bittijono. Kuviosta voi havaita, että punainen led-valo palaa.

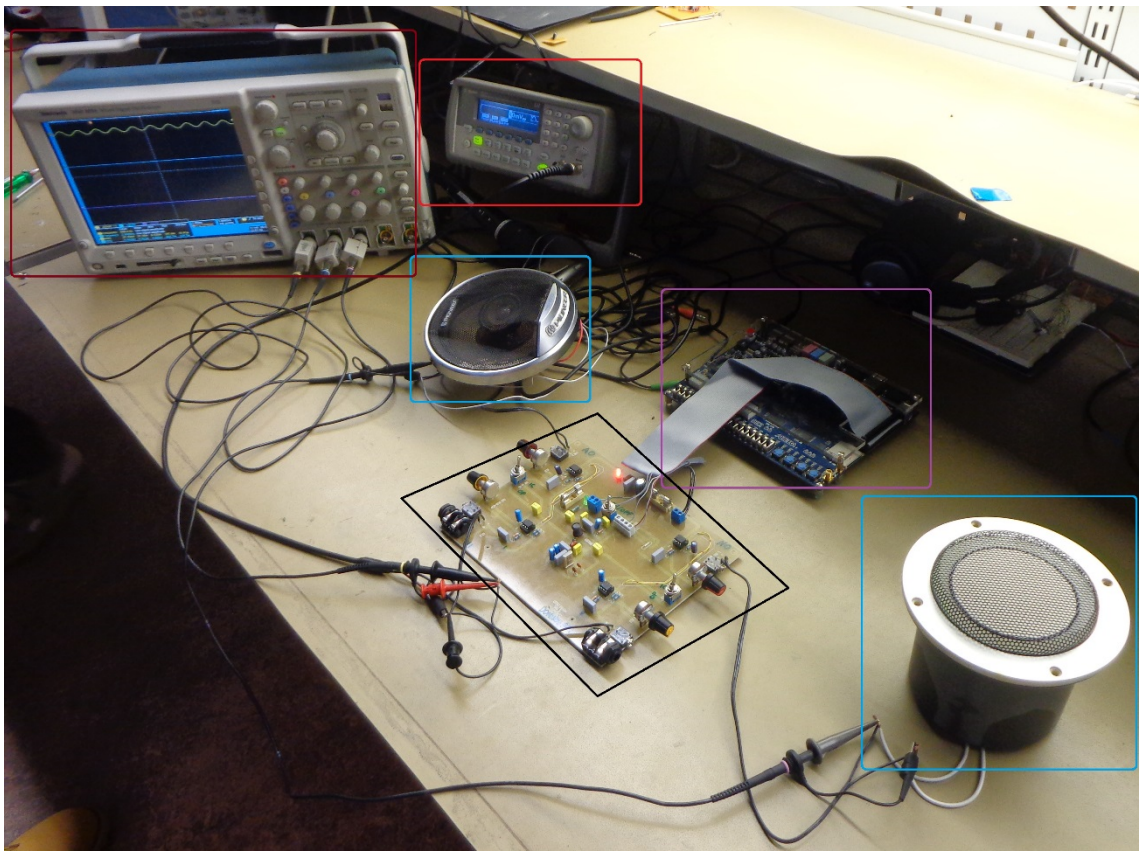



Kuvio 61. Altera DE2 -alustan bittijono on lähetetty

## 6.11 Kolmannen prototyypin testaus

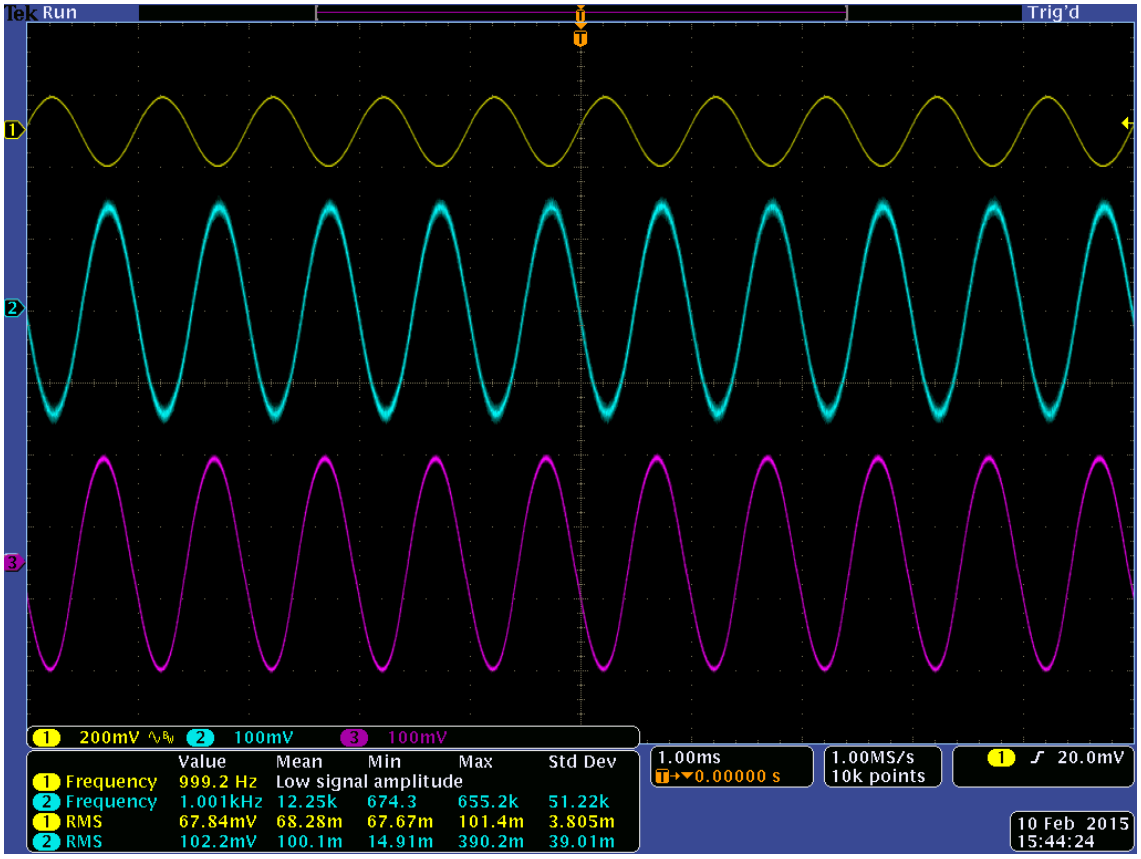
Kuviossa 62 on yleinen kuvaus testaamisesta. Eri laitteet on merkitty eri värein. Punaisella värillä on merkitty signaaligeneraattori, josta otettiin testattavaksi tarvittava siniaaltosignaali. Siniaaltosignaali oli kytketty mikrofonien tilalle.
Mustalla värillä on merkitty kaiunpoistolaite. Signaali voi kulkea kahdella eri tavalla: 1) signaali menee suoraan operaatiovahvistimen kautta, jolloin esiintyy kaikua tai 2) signaali kytketään CS6422- mikropiirin läpi, mikä estää kaikua. Kaiunpoistolaitteessa on potentiometrit äänensäätöä varten. Lisäksi siinä on ledit, jotka osoittavat, että virta on päällä.

Violetilla värillä on merkitty Aldera DE2 -alusta, josta syötetään bittijono mikropiirille. Bittijono muuttaa mikropiirin alkuasetuksia. Tummanpunaisella värillä on merkitty oskilloskooppi, joka mittaa sisään menevät ja ulostulevat signaalit. Oskilloskoopilla mitataan kaiuttimesta tulevat signaalit.
Kaiuttimet on merkitty sinisellä värillä. Yksi kaiutin on kanavan 1 ulosmenoa varten ja toinen kaiutin on kanavan 2 ulosmenoa varten.



Kuvio 62. Kolmannen prototyypin testaus

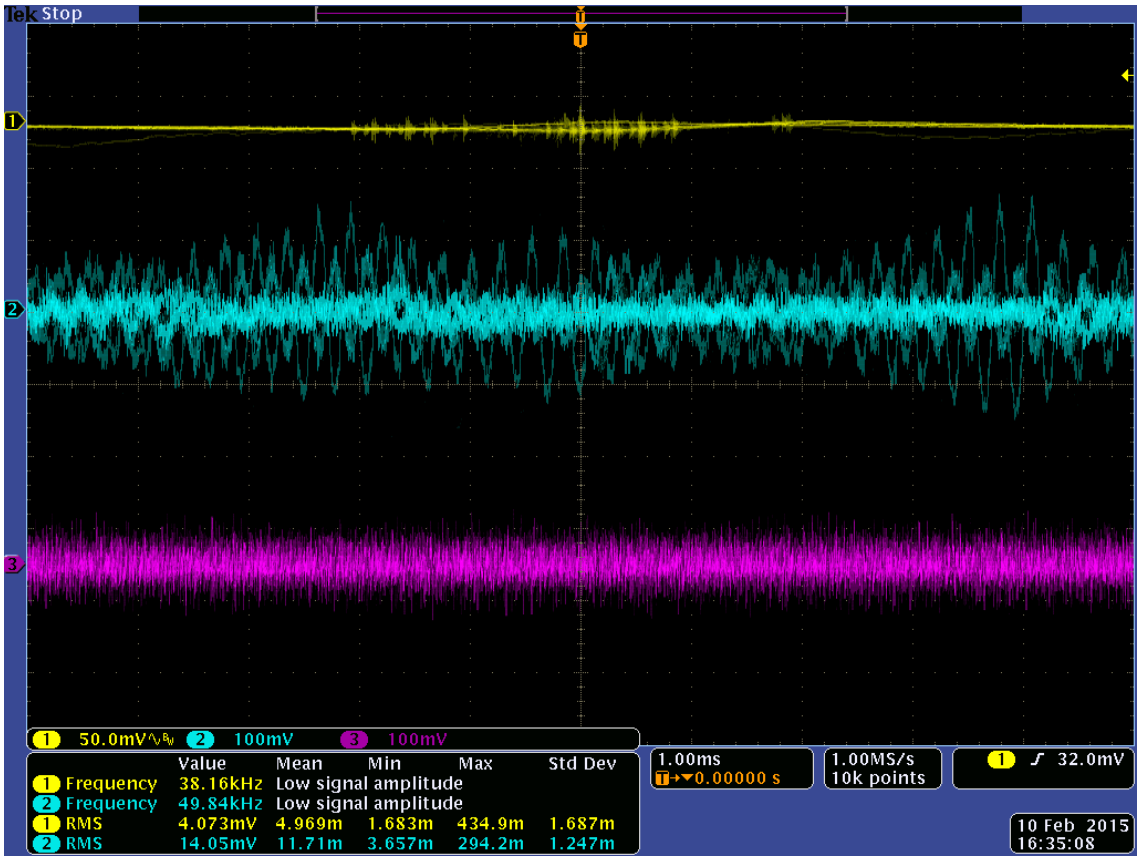
Kuviossa 63 on oskilloskoopin mittatulos. Tavoite oli saada kuva näkyviin siten, että signaalit ovat selkeästi siniaalto-muotoisia. Keltaisella on kuvattu signaaligeneraattorin signaali, joka on mikropiiri-CS6422 sisään menevä signaali 100 mV:n ja 1 kHz:n signaali. Sinisellä värillä on merkitty kanavan 1 ulostuleva signaali ja punaisella kanavan 2 ulostuleva signaali. Molemmat ulostulevat signaalit ovat siniaallon muotoisia. Ero alkuperäisestä signaalista on vain se, että vaihekulma on noin 180 astetta. Tästä ei aiheudu kuitenkaan ongelmaa, koska yhden kHz:n ääni kuulostaa kaiuttimen tai kuulokkeiden kautta hyvältä.




Kuvio 63. Oskilloskoopin mittaus: sisäänmeno, kanava 1 ja kanava 2

Kuviossa 64 on ihmisäänellä tehty testi. Mikrofonista otettiin sisäänmenosignaali, joka on kuviossa merkitty keltaisella. Ulostuleva signaali on merkitty sinisellä ja punaisella. Testissä kuului ääni hyvin molempiin suuntiin. Volume-säätimet on testihetkellä säädetty eri voimakuudelle, minkä vuoksi signaalit näyttävät erikokoisilta. Ennen testiä syötettiin mikropiirille alkuasetusten bittijono, mikä aktivoi Full-Duplex-moodin.

Testi toistettiin myös niin, että mikrofonit asetettiin kaiuttimen eteen. Yleensä kuuluu äänekäs piippaus, kuten konsertissa mentäessä mikrofonin kanssa liian lähellä kaiutinta. Piippausta ei esiintynyt silloin, kun signaali meni mikropiirin läpi. Mutta jos signaali kytkettiin suoraan operaatiovahvistimeen, kuului voimakas piippaus. Tämä tarkoittaa sitä, että kaiunpoistoprosessi toimii erinomaisesti.




Kuvio 64. Mikrofonilla tehty testi

# 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kaiunpoistojärjestelmä. Järjestelmän avulla mikrofonin kautta tulevasta ihmisäänestä saataisiin selkeämpi ja taustamelua voitaisiin vähentää. Järjestelmää voi hyödyntää esimerkiksi kuulo-ongelmaisten henkilöitten apuvälineitten kehittämisessä.

Ensimmäisen prototyypin rakentaminen onnistui toisella kerralla. Tuloksena oli siisti, pienikokoinen piirilevy. Piirilevyllä ei esiintynyt oikosulkuja. Tällä prototyypillä tehtiin tarvittavat mittaukset ja testaukset. Haasteena oli, että prototyypin testaamiseksi piti kytkeä johtoja, mikä teki testaamisesta monimutkaisen. Yleensä ensimmäistä prototyyppiä tehdessä piirilevyn koko suunnitellaan mahdollisimman isoksi, jonka tarkoituksena on estää rakentamisen aikana mahdollisesti syntyvät viat. Toinen ja kolmas piirilevy suunniteltiin ensimmäistä prototyyppiä monta kertaa isommaksi ja niitten rakentamiseen käytettiin enemmän komponentteja.

Komponentit ja niiden järjestys tarkistettiin testauksen aikana useaan kertaan. Sähkötestauksessa käyttöjännite kytkettiin oikeaksi. Toiselle ja kolmannelle prototyypille suunniteltiin indikaattorit. Niiden avulla nähdään, onko virta kytkettynä päälle. Signaali otettiin signaaligeneraattorista ja ulostuloon kiinnitettiin kaiuttimet. Ensimmäisen testin tulos oli negatiivinen: Kaiuttimesta ei kuulunut ääntä eikä kohinaa. Vika oli väärin pinnein kytketty sisäänmeno ja ulostulo. Toisessa testauksessa saatiin yksi kanava toimimaan. Kolmannessa testissä saatiin molemmat kanavat toimiviksi. Alussa kanavat toimivat *Half-Duplex*-moodissa, mikäli sisäänmenoon oli kytketty mikrofonit.

Kolmannessa testissä oli kaksi ihmistä, jossa toinen puhui ja toinen kuunteli. Molempien puhuessa yhtä aikaa toisen ääni kuului, mutta toisen ei. Myöhemmin mikropiiri saatiin toimimaan *Full-Duplex*-moodissa, mikä tarkoittaa sitä että kaksi ihmistä voi puhua ja kuunnella yhtä aikaa. Mikropiirille oli tätä ennen syötettävä alkuasetukset ja muutettava bitti numero 14 ykköseksi. Kyseinen bitti aktivoi *Full-Dublex*-moodin.

Piirilevyn suunnittelun alussa mikrokontrolleriliittimet STROBE, DATA, DRDY ja RESET olivat vielä tuntemattomia. Mutta työn ja testaamisen edetessä kyseiset liittimet tulivat tutuksi. Lisäksi saatiin uutta tietoa mikrokontrolleripinnien (Line IN ja Line Out) toiminnasta.

Opinnäytetyön aikana opin käyttämään piirilevyjen suunnitteluun tarkoitettuja ohjelmia (Kicad, CircuitCam ja Boardmaster) sekä suunnittelemaan pintaliitoskomponentti (SMD). Mikropiiri CS6422 oli pintaliitoskomponentti. Nyt osaan käyttää aiempaa paremmin LPFK S62-jyrsintäkonetta. Lisäksi opin juottamaan normaaleja komponentteja ja pintaliitoskomponentteja. Lisäksi opin tekemään digitaalisen bittijonon, jossa käytettiin AlteraDE2 -alustaa ja HDL Designer -ohjelmaa. Niiden ohella tutustuin Quartus- ja Programmer-ohjelmiin. Quartus-ohjelma kääntää graafisen koodin kirjalliseksi ja Programmer siirtää tietoa Altera DE2 -kortille. Programmer-ohjelmasta opin siirtämään tietoa RAM- ja ROM-muistiin.

Jatkossa on tarkoitus testata vielä uudelleen *Full-Duplex* -moodi ihmispuheella. Kaiunpoistolaitetta voisi testata pitemmällä etäisyydellä, noin 10 m välimatkalla. Mikropiirissä on paljon säädettäviä alkuasetuksia, jotka voisi vielä selvittää tarkemmin. Jatkossa voisi testata kauinpoistolaitetta sellaisten henkilöitten kanssa, joilla on tarvetta tällaiselle laitteelle. Lisäksi voisi muokata piirilevyä pienemmäksi ja koteloida se.

LÄHTEET

Adaptive Digital. 2015. Viitattu 16.3.2015
http://www.adaptivedigital.com/product/echo_cancel/echo_explain.htm
Askozia. 2014. Viitattu 16.3.2015
https://askozia.com/voip/what-is-echo-cancellation/
Circuits Doday. 2014. Viitattu 16.3.2015
http://www.circuitstoday.com/working-of-amplifiers
DatasheetCatalog. 2015. Viitattu 9.1.2015
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/C/S/6/4/CS6422.shtml
Nlaec. 2013. Viitattu 16.3.2015
http://www.lms.lnt.de/files/research_topics/NLAEC_web_en.png
Sähkö II. Telefooni ja sen käyttäminen 1900. Viitattu 29.1.2015
http://archive.org/stream/ShkIi-TelefooniJaSenKyttmi-
nen/sahko2#page/n47/mode/2up